

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Eemeli Vainio

SÄHKÖASEMIEN HUOLTO JA KUNNOSSAPITO

Työn tarkastajat: Professori, TkT Jarmo Partanen

 Tutkijaopettaja, TkT Jukka Lassila

Työn ohjaaja Verkostopäällikkö, Insinööri Tero Ovaskainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Eemeli Vainio

Sähköasemien huolto ja kunnossapito

Diplomityö

2017

88 sivua, 5 kuvaa ja 3 taulukkoa

Tarkastajat: Professori, TkT Jarmo Partanen
Tutkijaopettaja, TkT Jukka Lassila

Hakusanat: Sähköasema, huolto, kunnossapito

Keywords: Power station, service, maintenance

Sähköverkon komponentit kuluvat käytöstä ja käyttöympäristöstä niille aiheutuvien rasiusten vuoksi. Sähköjakeluverkon toimintavarmuuden ja turvallisuuden ylläpito, sekä sähkön laadun ja toimitusvarmuuden takaaminen sähkön käyttäjille luovat yhdessä komponenttien kulumisen kanssa tarpeen sähköjakeluverkon komponenttien huollolle ja kunnossapidolle.

Tässä diplomityössä käydään aluksi läpi sähkölaitteistojen huollon ja kunnossapidon määritelmät standardien ja muiden julkaisujen mukaan, sekä millaisia huolto- ja kunnossapitotoimenpiteitä jakeluverkolle tehdään ja miksi. Kunnossapidon määräysperusteet asettava, vuoden 2017 alusta voimaan tullut sähköturvallisuuslaki 1135/2016 asetukseen käsitellään omana alalukuna. Laissa esille tulee verkonhaltijan velvollisuus kunnossapidon toimenpiteiden suorittamiseen ja erilaiset pakolliset viranomaistarkastukset sekä verkonhaltijan kunnossapitosuunnitelma. Nämä käsitellään erikseen lain tarkastelun jälkeen.

Määräysperusteiden jälkeen läpikäydään kunnossapidettävien sähköasemakomponenttien ja jännitetyövälineiden teoriaa. Tämän jälkeen työn varsinaisessa tutkimusosuudessa tutkitaan Outokummun Energia Oy:n sähköasemien huollon ja kunnossapidon tämänhetkistä tilaa nykytila-analyysin avulla. Nykytila-analyysissä tarkastellaan yhtiön kunnossapitosuunnitelman huoltovälejä ja aikaisempien tarkastusten raportteja havaittujen vikojen näkökulmasta. Komponenttien huollon perusteita varten tutkitaan laitteiden huolto-ohjeita, käydään läpi alan asiantuntijoiden suosituksia laitteiden kunnossapidosta, sekä tarkastellaan aihepiiriin liittyvien tutkimusten tuloksia.

Kerätyn aineiston avulla pohditaan ja tehdään perusteltuja kehitysehdotuksia yhtiön huolto- ja kunnossapitotoimintaan. Työn tuloksena Outokummun Energia Oy:n sähköasemien komponenttien huolto- ja kunnossapitotoimenpiteille saatiin laadittua konkreettisia parannusehdotuksia.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Eemeli Vainio

Power station service and maintenance

Master's thesis

2017

88 pages, 5 pictures, 3 tables

Examiners: Professor, D.Sc. Jarmo Partanen
Associate Professor, D.Sc. Jukka Lassila

Keywords: Power station, maintenance, service

Electric grid components wear out due to the operation environment stress and the usage stress. Need for grid maintenance and service is due to maintaining service reliability and safety of the grid as well as quality of electricity and delivery reliability for customers.

First in this master's thesis terms "service" and "maintenance" are defined according to standards and other suitable literature, and then it's explained what kind of service and maintenance operations are made to the electric grid and why. The Finnish electric safety law 1135/2016 sets ground rules for electric grid maintenance and service operations and is therefore covered in its own subsection. Mandatory inspections by public authority and grid owner maintenance plan are being then addressed.

Power station and electric working equipment theory is addressed after covering all the maintenance terms and ground rules set by the law. The situation of service and maintenance plan is then studied in the company Outokummun Energia Oy with some present state analysis. Service time intervals and former inspections reports are studied from the present maintenance plan and documents. Service catalogs, industry specialist's opinions and topic related literature and studies are researched for the new basis of components new maintenance plan and schedule.

Finally, all the information gathered it is analyzed and some well-reasoned improvement suggestions for the company's maintenance plan are made with the help of all that gathered information available.

ALKUSANAT

Parhaimmat kiitokset koko Outokummun Energian henkilöstölle opiskelujen aikaisista työvuosista ja opeista, mitä olette minulle silloin antaneet. Erityiskiitos verkostopäällikkö Tero Ovaskaiselle, joka mahdollisti tämän työn toteutuksen käytännössä. Lisäksi kiitokset kaikille läheisille elämän opeista ja kiitokset kaikille muille niille henkilöille, jotka jollain tavalla ovat osalliseksi tämän työn tekemisprosessia kotona tai työpaikalla joutuneet tahi jopa päässeet.

Eemeli Vainio

Lappeenrannassa 19.12.2017

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	8
1.1	Outokummun Energia Oy	9
2	Jakeluverkon komponenttien huolto ja kunnossapito	10
2.1	Huollon ja kunnossapidon määritelmät	10
2.2	Laki ja asetukset sekä niitä tukevat ohjeet huollosta ja kunnossapidosta	12
3	Viranomaisen toimesta suoritettavat tarkastukset	18
3.1	Varmennustarkastus	18
3.2	Määräaikaistarkastus	21
4	Verkonhaltijan kunnossapitosuunnitelma	24
5	Sähköaseman kunnossapidettävät komponentit	26
5.1	110 kV:n kojeistorakenteet	27
5.1.1	Katkaisijat	27
5.1.2	Erottimet	29
5.1.3	Mittamuuntajat	30
5.2	20 kV:n kojeistorakenteet	31
5.2.1	Katkaisijat	33
5.2.2	Erottimet	34
5.3	Päämuuntajat	35
5.4	Relesuojaus	37
5.4.1	Päämuuntajan relesuojaus	38
5.4.2	110 kV:n siirtojohtojen relesuojaus	39
5.4.3	20 kV:n keskijännitejohtojen relesuojaus	41
5.5	Maasulun kompensointilaitteisto	43

5.6	Akusto	44
6	Jännitetyövälineet	45
6.1	Jännitteenkoetin.....	45
6.2	Siirrettävät työmaadoitusvälineet ja oikosulkuvälineet.....	46
7	Nykytila–analyysi ja kunnossapitotarkastusten perusteet.....	47
7.1	Sähköaseman kuukausi- ja vuositarkastukset	48
7.2	Lämpökuvaukset	49
7.3	110 kV katkaisijat.....	49
7.3.1	110 kV:n katkaisijoiden huolto- ja kunnossapitoperusteet	50
7.4	110 kV erottimet.....	53
7.4.1	110 kV:n erottimien huolto- ja kunnossapitoperusteet	53
7.5	110 kV:n mittamuuntajat.....	55
7.5.1	110 kV:n mittamuuntajien huolto- ja kunnossapitoperusteet	55
7.6	20 kV:n kojeistot	56
7.6.1	20 kV:n kojeistojen huolto- ja kunnossapitoperusteet	57
7.7	Päämuuntajat	58
7.7.1	Päämuuntajien huolto- ja kunnossapitoperusteet.....	59
7.8	Akustot ja varaajat.....	61
7.8.1	Akustojen ja varaajien huolto- ja kunnossapitoperusteet.....	62
7.9	Maasulun kompensointilaitteistot	64
7.9.1	Maasulun kompensointilaitteistojen huolto- ja kunnossapitoperusteet	64
7.10	Relekoestukset.....	66
7.10.1	Relekoestuksien perusteet.....	67
7.11	Jännitetyövälineet ja muut varusteet	68
7.11.1	Jännitetyövälineiden ja suojarusteiden tarkastusperusteet	68

8	Pohdinta ja kunnossapidon kehitysehdotukset.....	72
8.1	Sähköasemien kuukausitarkastukset ja lämpökuvaukset	72
8.2	110 kV:n katkaisijat	73
8.3	110 kV:n erottimet	75
8.4	110 kV:n mittamuuntajat.....	76
8.5	20 kV:n kojeistot	76
8.6	Päämuuntajat	77
8.7	Akustot ja varaajat.....	78
8.8	Maasulun kompensointilaitteistot	79
8.9	Relekoestukset.....	80
8.10	Jännitetyövälineet ja muut varusteet	81
8.11	Yleisiä ohjeita.....	81
9	Yhteenveto	82
10	Lähteet.....	84

1 JOHDANTO

Tässä diplomityössä käydään läpi sähköjakeluverkon huoltoon ja kunnossapitoon liittyvät lain ja asetusten asettamat määräykset, sekä muut ohjeet ja suositukset. Näiden määräysten ja ohjeiden puitteissa tarkastellaan huollon ja kunnossapidon toteutumista Outokummun Energia Oy:n sähköasemilla. Nykytilanteen analysoinnin ja laitteiden huolto-ohjeiden perusteella mietitään, mitä parannuksia huollon ja kunnossapidon toteuttamiseen olisi tehtävissä.

Tarve sähköjakeluverkon komponenttien huoltoon ja kunnossapitoon tulee verkon toimintavarmuuden ylläpitämisestä ja sähkön laadun sekä toimitusvarmuuden takaamisesta. Verkon komponentit kuluvat ympäristön aiheuttamien rasitusten vuoksi siinä missä mikä tahansa muukin kappale ja siksi niille onkin hyvä tehdä aika ajoin tarkastuksia ja sen perusteella huoltaa ja uusita niitä. Näin verkko pidetään toimintakykyisenä pidempään ja verkon toimitusvarmuus paranee. Komponenttien huolto ja kunnossapito ovat lähellä myös verkon pitkän tähtäimen suunnittelua, kun mietitään verkon toimintakyvyn pitämistä tai parantamista ja vaihtoehtoina ovat joko huolto tai koko verkon osan uusiminen.

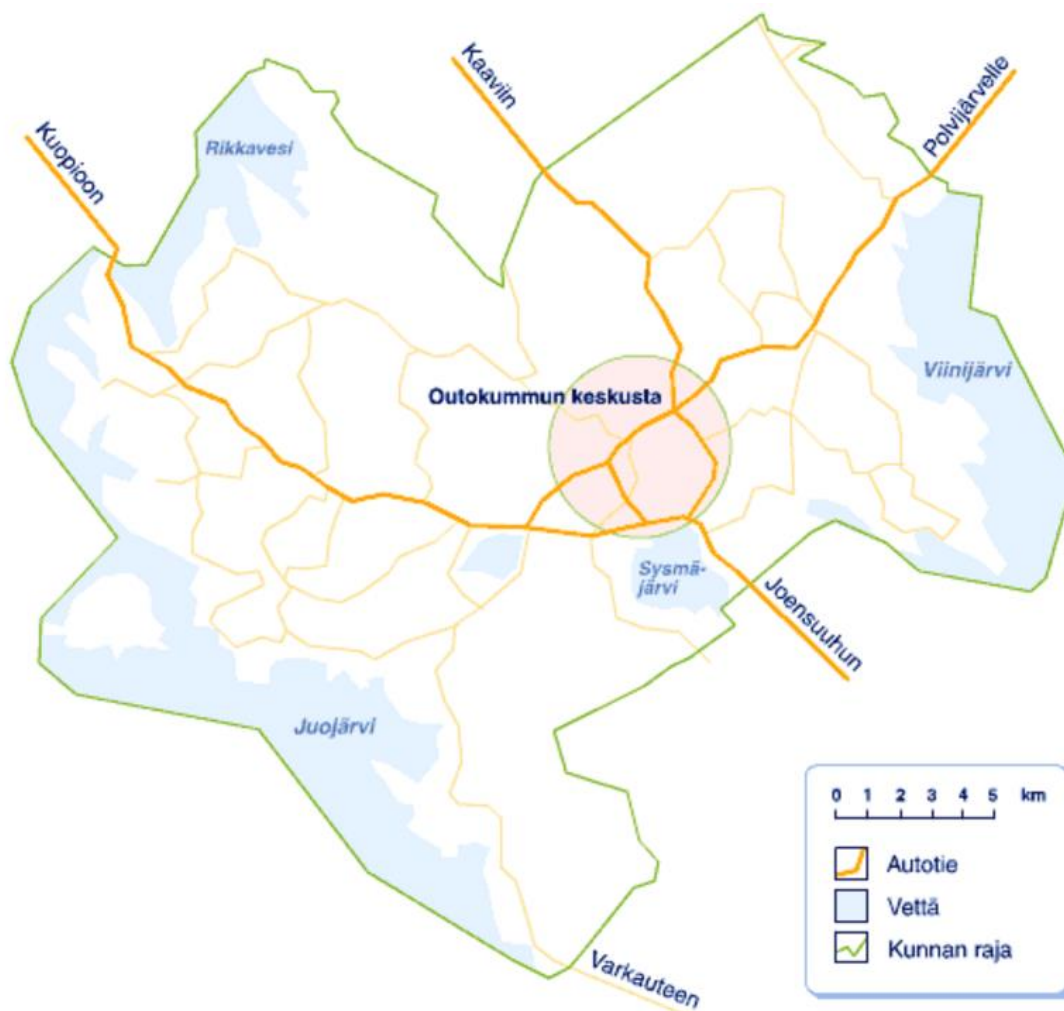
Aihe rajataan koskemaan tiukan aikataulun puitteissa sähköasemien ja jännitetyövälineiden huolto- ja kunnossapitotoimenpiteitä. Työn teettäjä haluaa painottaa näitä osa-alueita tässä työssä, koska sillä itsellään on tarvittava, mutta vähintään auttava osaaminen ja tiedot muilla verkon osa-alueilla. Muita osa-alueita ei tässä työssä käsitellä eikä työssä perehdytä verkon kunnossapitoon osana pitkän tähtäimen suunnittelua.

Työn ensimmäisenä tavoitteena on tehdä kattava selvitys suurjännitteisen ja keskijännitteisen jakeluverkon komponenttien kuntotarkastuksista sähköasemien ja jännitetyökalujen osalta määräysten, ohjeiden sekä tutkimusten ja asiantuntijalausuntojen mukaisesti ja analysoida Outokummun Energian kunnossapitoraporttien ja nykyisen kunnossapitosuunnitelman tietojen perusteella mitä kehitystoimenpiteitä Outokummun Energian tekemään huolto- ja kunnossapitotoimintaan voitaisiin tehdä. Toisena tavoitteena on yhdenmukaistaa yhtiön ennalta hajanaista kunnossapitosuunnitelmaa käytännössä. Käytännön osioon tässä työssä kuuluu myös huolto ja kunnossapito-ohjeiden tekeminen eri komponenttiryhmillä yhtiön käyttöön. Lisäksi tarkastellaan, mitä kunnossapitotoimenpiteitä jännitetöissä käytettäville työvälineille pitää tehdä ja lisätään ne yhtiön kunnossapito-ohjeistuksiin.

1.1 Outokummun Energia Oy

Outokummun Energia Oy on Outokummun kaupungin omistama energiayhtiö. Yhtiö on aloittanut toimintansa jo vuonna 1944 Kuusjärven kunnallinen sähkölaitos–nimellä ja vuonna 2000 yhtiön liiketoiminnat yhdistettiin nykyisenlaiseksi. Nyt yhtiön liiketoimintaan kuuluvat sähkönsiirto, sähkönmyynti ja kaukolämpö. (Outokummun Energia 2017)

Outokummun Energialla on tällä hetkellä noin 900 kilometriä sähköverkkoa, jonka läpi kulkee suunnilleen 160–200 gigawattituntia sähköenergiaa vuosittain. Sähkönkäyttöpaikkoja jakeluverkkoalueella on noin 5500. Jakeluverkkoalue on esitetty kuvassa 1–1. (Outokummun Energia 2017)



Kuva 1-1 Outokummun Energia Oy:n sähkönjakeluverkon toimialue. (Outokummun Energia 2017)

2 JAKELUVERKON KOMPONENTTIEN HUOLTO JA KUNNOSSAPITO

Sähkönjakeluverkon toiminnan kannalta on tärkeää pitää verkko toimintakykyisenä, mikä onnistuu parhaiten tekemällä verkon komponenteille määräajoin tarkastuksia ja koestuksia, sekä muita huolto- ja kunnossapitotoimenpiteitä. Näillä toimenpiteillä ehkäistään verkon vikaantumista, korjataan verkkoa ja varmistetaan sähkön luotettava ja turvallinen jakelu. (Vanha 2012)

Sähköverkon laitteiden ja komponenttien huoltamisen tarve johtuu niiden käytönaikaisesta kulumisesta, sekä vikojen ja muun käyttöympäristön aiheuttamasta rasituksesta. Verkon komponentit ikääntyvät ja kuluvat epämääräistä tahtia riippuen komponentista ja siihen vaikuttavista käyttöympäristön aiheuttamista pääosin kemiallisista, mekaanisista, termisistä ja sähköisistä rasituksista. Komponentteihin kohdistuvat rasitukset aiheuttavat materiaalien ominaisuuksien heikkenemistä ja lopulta komponenttien rikkoutumisen, joten niiden kuntoa on hyvä seurata. (Heikkilä 2009)

Tässä kappaleessa käydään läpi lain ja asetusten sekä niitä tukevien ohjeistuksien vaatimat yleiset viranomaismääräykset komponenttien kunnonseurannalle. Lisäksi määritellään huolto ja kunnossapito käsitteinä sekä mitä jakeluverkon kunnossapito tarkoittaa.

2.1 Huollon ja kunnossapidon määritelmät

Standardissa SFS 5825 määritellään sähkölaitteistojen kunnossapito toistuviksi toimenpiteiksi, kuten korjaaminen tai uusiminen, joiden tavoitteena on pyrkiä säilyttämään kohde ja siihen kuuluvat laitteet sekä varusteet sellaisessa tilassa, että ne täyttävät asiaankuuluvat vaatimukset. Hoito ja huolto tarkoittavat sähkölaitteistojen kunnan ja turvallisuustason ylläpitoa valvonnan ja ohjauksen avulla, sekä teknisiä, että hallinnollisia toimenpiteitä kohteen pitämiseksi käyttökunnossa tai sen palauttamiseksi käyttökuntoon (Tiainen 2017a, SFS 5825 2006).

Sähköturvallisuuden kannalta kunnossapito määritellään standardissa SFS 6002. Standardissa määritellään, että kunnossapidon tarkoituksena on sähkölaitteiston pitäminen vaaditussa kunnossa. Kunnossapito on joko ennakoivaa, kun tehdään rutiinitarkastuksia tai korjaavaa, kun laitteita kunnostetaan laiterikon jälkeen. Kunnossapitotyö tehdään tilanteesta riippuen joko jännitteisenä,

jännitteisten osien lähellä työskennellen tai jännitteettömänä. Kunnossapidosta vastaa sähkölaitteiston käyttöä valvova henkilö, joka hyväksyy kaikki kunnossapitokäytännöt.

Tukes-ohjeessa 16 luokkien 2 ja 3 sähkölaitteistojen huolto ja kunnossapito määritellään siten, että sähkölaitteiston, kuten jakeluverkon kuntoa, sekä turvallisuutta on seurattava ja havaitut puutteet on korjattava. Sähkölaitteiston kunnossapitoon kuuluu suojauksien, ilmajohtojen turvaetäisyyksien ja johtokatuojen, pylväiden kunnon, sähkötilojen lukituksen ja vaarasta varoittamisen sekä maadoitusten kunnonseuranta ja siihen puuttuminen, mikäli jokin osa-alue vaatii toimenpiteitä. (Tukes-ohje 16 2017)

Jakeluverkon huolto ja kunnossapito ovat osa verkkoyhtiön verkosto-omaisuuden hallintaprosessia ja niiden tavoitteena pitkällä aikavälillä on verkon kokonaiskustannusten minimointi, verkosto-omaisuuden paras mahdollinen tuotto, sekä pitää verkko käyttökuntoisena. Kunnossapito jaetaan joko korjaavaan tai ehkäisevään kunnossapitoon. (Lakervi, Partanen 2008)

Ehkäisevässä kunnossapidossa ideana on kunnossapitää verkkoa tarkastusten ja huoltojen avulla. Ehkäisevä kunnossapito jaetaan kunnonseurantaan perustuvaan kunnossapitoon ja aikaperusteiseen kunnossapitoon. Komponentille pystytään tekemään sille räätälöity kunnossapitosuunnitelma miettimällä komponentin todellista tärkeysastetta verkon käyttövarmuuden ja komponentin kunnon näkökulmasta. (Lakervi, Partanen 2008)

Korjaavassa kunnossapidossa ajatuksena on korjata tai vaihtaa komponentteja sitä mukaa, kun niitä rikkoontuu. Tämänkaltaista kunnossapitoa tehdään tavallisesti vain vähän niille verkon komponenteille, jotka vaikuttavat merkittävästi käyttövarmuuteen. Laajemmassa mittakaavassa toteutettuna henkilöstöresurssit ja materiaaliressurssit pitää olla tarkasti mitoitettu, ettei pääse syntymään tilannetta, jossa sähkönjakelu vaarantuu riittämättömän valmistautumisen takia. Sähköturvallisuuslailla verkkoyhtiöitä ohjataan kuitenkin enemmän ehkäisevään kuntotilan seurantaan perustuvaan kunnossapitoon, joskin väistämättä verkossa aina tapahtuu myös korjaavaa kunnossapitoa, esim. kun sääolosuhteiden takia avojohdoille voi tulla ennakoimattomia vikoja ja vaurioita. (Lakervi, Partanen 2008)

2.2 Laki ja asetukset sekä niitä tukevat ohjeet huollosta ja kunnossapidosta

Uusi sähköturvallisuuslaki 1135/2016 tuli voimaan vuoden 2017 alusta ja korvaa siten vanhan lain 410/1996, sekä siihen liittyvät asetukset ja päätökset uusien asennusten osalta. Laki velvoittaa sähkölaitteiston haltijan suorittamaan kunnossapitoa laitteistoilleen. Sähkölaitteistojen säännöllisen kunnossapidon tarkoituksena on ylläpitää sähköturvallisuutta esim. ehkäisemällä sähkön aiheuttamia tulipaloja ja sähkötapaturmia varmistamalla samalla sähkölaitteiden häiriötön ja turvallinen käyttö. Hyvällä ja säännöllisellä kunnossapidolla tarkoitetaan laitteistojen kunnan seuraamista tarkastuksin ja koestuksin, sekä näissä ilmenneiden vikojen dokumentoimisesta ja korjaamisesta. (Tukes 2017a)

Sähköturvallisuuslain 47 pykälän mukaan sähkölaitteiston haltija vastaa laitteiston turvallisuudesta ja sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta, sekä näitten ylläpitoon tarvittavasta kunnossapidosta. Laitteiston haltijan on huolehdittava, että laitteiston kuntoa ja turvallisuutta tarkkaillaan ja, että puutteet ja viat korjataan riittävän nopeasti. Käytännössä sähkönjakeluverkkoyhtiössä näistä vastuussa oleva henkilö on lain 62 pykälän mukaan sähkökäytönjohtaja. (Sähköturvallisuuslaki 2016)

Sähköturvallisuuslakia sovelletaan sähkön jakeluverkkotoiminnassa lain toisen pykälän ensimmäisessä momentissa kerrotulla tavalla: ”Tätä lakia sovelletaan sähkölaitteisiin ja -laitteistoihin, joita käytetään sähkön tuottamisessa, siirrossa, jakelussa tai käytössä ja joiden sähköisistä tai sähkömagneettisista ominaisuuksista voi aiheutua vahingon vaara tai häiriötä.” (Sähköturvallisuuslaki 2016)

Sähköturvallisuuslain tarkoituksena on pitää sähkölaitteistojen käyttö turvallisena, kuten lain yleisten säännösten ensimmäisen pykälän ensimmäisessä momentissa sanotaan ”Tämän lain tarkoituksena on varmistaa sähkölaitteen ja -laitteiston käytön pitäminen turvallisena ja estää sähkön käytöstä aiheutuvien sähkömagneettisten häiriöiden haitalliset vaikutukset sekä turvata sähkölaitteen tai -laitteiston sähkövirran tai magneettikentän välityksellä aiheuttamasta vahingosta kärsineen oikeudet. Lisäksi lain tarkoituksena on varmistaa sähkölaitteiden vaatimustenmukaisuus ja vapaa liikkuvuus.” Ensimmäisen pykälän toisen momentin mukaan laissa säädetään myös sähkölaitteistoille ja sähkölaitteille asetettavista vaatimuksista ja vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta, sekä valvonnasta. (Sähköturvallisuuslaki 2016) Täten sähköturvallisuuslaki asettaa

päällimmäisenä vaatimukset sähköturvallisuuden ohella sähköverkon laitteiden kunnossapidolle ja sen valvonnalle.

Lain kuudennessa pykälässä asetetaan seuraavat yleiset vaatimukset koskien sähkölaitteiden ja -laitteistojen suunnittelua, rakentamista, valmistamista ja korjaamista.

- 1) Sähkölaitteistosta tai -laitteesta ei saa aiheutua hengenvaaraa tai omaisuudenvaaraa.
- 2) Sähkölaitteistosta tai -laitteesta ei saa aiheutua sähköisesti tai sähkömagneettisesti kohtuutonta häiriötä.
- 3) Sähkölaitteiston tai -laitteen toiminta ei saa häiriintyä helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.

Mikäli nämä vaatimukset eivät täyty, niin sähkölaitteistoa tai -laitetta ei saa tuoda markkinoille, luovuttaa toiselle tai ottaa käyttöön. (Sähköturvallisuuslaki 2016)

Lain 31 pykälän toisessa momentissa määrätään, että sähkölaitteistojen on täytettävä kuudennessa pykälässä asetettujen vaatimusten lisäksi olennaiset turvallisuusvaatimukset. Nämä olennaiset turvallisuusvaatimukset koskevat suojausta sähköiskuilta, tulipaloilta ja kuumuudelta, sekä suojausta muilta haittavaikutuksilta ja erityisolosuhteiden ja -laitteistojen vaatimuksia. Tämän lisäksi turvallisuusvaatimukset koskevat myös eri laitteistojen keskinäistä yhteensopivuutta, sekä muita yleisiä rakennevaatimuksia ja tarpeellisia merkintöjä ja asiakirjoja. (Sähköturvallisuuslaki 2016)

Sähkölaitteiston turvallisuusvaatimukset täyttyvät, kun se suunnitellaan, rakennetaan ja korjataan pykälässä 33 tarkoitettuja standardeja tai vastaavia julkaisuja käyttäen. Pykälässä 33 todetaan, että sähköturvallisuusviranomaisen julkaisee luettelon niistä standardeista, joita noudattamalla sähkölaitteisto täyttää laissa edellä esitetyt vaatimukset. Mikäli standardeja ei ole olemassa tietyille sähkölaitteiston osalle, voidaan silloin käyttää standardeihin verrattavissa olevia julkaisuja. (Sähköturvallisuuslaki 2016)

Suomessa sähköturvallisuusviranomaisena toimii Tukes – Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Tukesin teollisuusyksikkö valvoo muun muassa sähkönjakeluverkkojen ja kiinteistöjen sähkölaitteistojen asentamista, käyttöä ja tarkastamista. Tukes edistää sähköturvallisuutta

valvonnan, viestinnän ja kehitysohjelmien kautta, sekä julkaisee ja päivittää sähköalalle turvallisuusohjeita ja muuta alaan liittyvää tietomateriaalia. (Tukes 2017b)

Tukesin julkaisemassa ohjeessa ”Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit (S10-2017)” luetteloidaan standardit ja ohjeet joita noudattamalla sähkölaitteisto täyttää sille asetetut vaatimukset. Sähköjakeluverkkojen tarkastus- ja kunnossapitotoiminnassa relevantteja standardeja ovat sähkölaitteistojen turvallisuutta koskevat standardit: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset, SFS 6001 Suurjännitesähköasennukset, SFS-käsikirja 604-2 (2009) Räjähdyksenvaaralliset tilat. Osa 2: Sähköasennukset, tarkastus ja huolto, SFS-EN 50191 (2011) Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö, SFS-EN 50272-2 (2001) Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Paikalliset, sekä SFS-EN 50341-1 (2014) + SFS-EN 50341-2-7 (2105) Vaihtosähköilmajohdot yli 1 kV jännitteillä. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Yhteiset määrittelyt, Osa 2-7 Suomen kansalliset velvoittavat määrittelyt. Lisäksi sähkötyöturvallisuutta koskeva standardi SFS 6002 (2015) Sähkötyöturvallisuus. (Tukes-ohje 19 2017)

Valtioneuvoston asetuksella 1434 sähköturvallisuuslain kolmannessa pykälässä tarkoitetuista sähkölaitteistoista säädetään asetuksen kolmannessa pykälässä lain turvallisuusvaatimus standardeista tai vastaavista julkaisuista poikkeaminen. Pykälän mukaan poikkeamisesta laaditaan selvitys, missä tulee esittää kuvaukset minkälaisilla ratkaisuilla turvallisuusvaatimukset täytetään, sekä tilaajan antama suostumus standardeista poikkeamiseen. Selvityksen laatijan tulee allekirjoittaa selvitys ja se liitetään käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan. (Asetus 1434 2016)

Sähköturvallisuuslain pykälän 43 mukaan sähkölaitteisto saadaan ottaa käyttöön vasta sitten, kun on selvitetty, ettei laitteistosta aiheudu pykälässä kuusi tarkoitettua vaaraa tai häiriötä. Tämä selvitys ennen laitteen käyttöönottoa on nimeltään käyttöönottotarkastus ja se on tehtävä myös laitteen muutos- ja laajennustöille. Käyttöönottotarkastuksesta huolehtii yleensä laitteiston rakentaja ja siitä on laadittava käyttöönottotarkastuspöytäkirja. Käyttöönottotarkastuksen tekee pykälässä 75 tarkoitettu valtuutettu laitos tai tarkastaja. Valtioneuvoston asetuksella määrätään käyttöönottotarkastuspöytäkirjan sisällöstä ja mitä tarkoitetaan vähäisellä työllä, mistä ei tarvitse tehdä käyttöönottotarkastuspöytäkirjaa. (Sähköturvallisuuslaki 2016)

Valtioneuvoston asetuksessa 1434 säädetään käyttöönottotarkastuspöytäkirjan sisällöstä, että siitä pitää käydä ilmi” kohteen yksilöintitiedot, sähkölaitteiston rakentajan ja sähkötöiden johtajan nimi ja yhteystiedot, selvitys sähkölaitteiston säännösten ja määräysten mukaisuudesta, sovelletut standardit, mahdollisten poikkeamien osalta sähköturvallisuuslain 34 §:n mukaisen selvityksen olemassaolo, yleiskuvaus käytetyistä tarkastusmenetelmistä sekä tarkastusten ja testausten tulokset. Tarkastuksen tekijän on allekirjoitettava tarkastuspöytäkirja tai varmennettava se muulla vastaavalla luotettavalla tavalla.” (Asetus 1434 2016)

Asetuksessa säädetään myös vähäisiksi katsottavat työt käyttöönottotarkastuksessa. Pykälässä 5 määritellään vähäisiksi katsottavat työt, joita ei edellytetä pistettäväksi käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan. Tällaisia töitä ovat työt joista voi aiheutua vain vähäistä vaaraa ja häiriötä, asennuksen nimellisjännite on enintään 50 voltia vaihtojännitettä tai 120 voltia tasajännitettä, yksittäisen komponentin vaihto/lisäys tai siihen verrattavissa oleva työ, yksittäisten kojeiden syöttöön liittyvät muutostyöt enintään 1000 voltin nimellisjännitteellä, enintään 1000 voltin kytkinlaitoksiin kohdistuvat muutostyöt mikäli nimellisarvot eivät muutu ja sellaisen tilapäislaitteiston asennuksesta, joka on koottu standardien mukaisista työmaakeskuksista. (Asetus 1434 2016)

Sähkölaitteistoille tehdään käyttöönottotarkastuksen lisäksi varmennus- ja määräaikaistarkastuksia. Sähköturvallisuuslain 44 pykälän mukaan näiden tarkastusten vaatimusten sekä kunnossapito-ohjelmaa koskevien vaatimusten mukaan sähkölaitteistot luokitellaan eri luokkiin 1–3. Sähkönjakeluverkko luokitellaan luokan 3c sähkölaitteistoksi, mutta verkossa oleviin pienjännitesähköasennuksiin, kuten muuntoasemien omakäyttösähkönsyöttöön luokitteluna käytetään tapauksesta riippuen luokkaa 2c. (Sähköturvallisuuslaki 2016, Tukes-ohje 16 2017)

Huolimatta siitä mihin luokkaan 1,2 tai 3 sähkölaitteisto kuuluu, on sille tehtävä aina varmennustarkastus käyttöönottotarkastuksen lisäksi pykälän 45 mukaan. Varmennustarkastus tulee tehdä aina myös sähkölaitteiston merkittävälle laajennus- ja muutostöille. Sähkölaitteiston rakentaja huolehtii ensisijaisesti laitteiston varmennustarkastuksesta tai mikäli laiminlyö tämän velvollisuuden tulee laitteiston haltijan huolehtia siitä. Asetuksessa 1434 säädetään merkittäviksi laajennus- ja muutostöiksi käyttöönottotarkastuksessa vähäisiksi katsottavat työt, nimellisjännitteeltään enintään 1000 voltin muutos- tai laajennustyö, jossa työalueen

ylivirtasuojaus on enintään 35 ampeeria, jos käytönohjaajaa ei vaadita ja muutoin 250 ampeeria, tai kytkinlaitokseen kohdistuva muutos- taikka laajennustyö, kun kytkinlaitoksen nimellisarvoja ei muuteta, (Sähköturvallisuuslaki 2016, Asetus 1434 2016).

Varmennustarkastus on tehtävä ennen sähkölaitteiston käyttöönottamista tai tietyn ajan kuluessa sen jälkeen. Varmennustarkastuksessa on todettava pistokokein tai jollain toisella soveltuvalla tavalla, että laitteisto täyttää sähköturvallisuudelle ja sähkömagneettiselle yhteensopivuudelle asetetut vaatimukset ja että sille on tehty käyttöönottotarkastus. Varmennustarkastuksesta laaditaan sähkölaitteiston haltijalle tarkastustodistus pykälän 46 mukaan. (Sähköturvallisuuslaki 2016)

Varmennustarkastuksen ajankohtaa ja tarkastustodistuksen sisältöä tarkennetaan asetuksessa 1434. Asetuksen seitsemännessä pykälässä määrätään, että varmennustarkastus on tehtävä kolmen kuukauden kuluessa sähkölaitteiston käyttöönotosta tai sähkönjakeluverkoilla viimeistään rakentamista seuraavan kalenterivuoden kuluessa. Käyttöönottotarkastuksessa vähäisiksi katsottaville töille varmennustarkastus on tehtävä ennen käyttöönottoa. Asetuksen kahdeksannessa pykälässä yksilöidään, että tarkastustodistuksesta tulee näkyä kohteen tiedot, tarkastusmenetelmät ja selvitys määräysten täyttymisestä. (Asetus 1434 2016)

Lain 49 pykälässä määrätään, että sähkölaitteistoille on suoritettava määräaikaistarkastukset huolto- ja kunnossapito-ohjelman mukaisesti ja, että määräaikaistarkastuksen suorittamisväli on luokan 3 laitteistoille eli jakeluverkoille viiden vuoden välein. Luokan 1 ja 2 laitteistoille määräaikaistarkastusväli on kymmenen vuotta. Sähkölaitteiston haltija on vastuussa määräaikaistarkastusten suorittamisesta. Lain 50 pykälässä määrätään, että määräaikaistarkastuksessa varmistetaan sähkölaitteen turvallinen käyttö ja, että kunnossapidon taso on riittävä turvallisuuden ylläpitämiseksi. Lisäksi varmistetaan, että laitteistolle on tehty kunnossapito-ohjelman mukaiset toimenpiteet ajallaan ja, että laitteiston hoitoon ja käyttöön tarvittavat välineet ja piirustukset ovat saatavilla. Tarkistetaan myös, että laitteiston muutos- ja laajennustyöstä on asianmukaiset pöytäkirjat saatavilla. (Sähköturvallisuuslaki 2016)

Määräaikaistarkastuksesta on tehtävä tarkastuspöytäkirja ja laitteistoon asennettava merkintätarra tehdystä tarkastuksesta. Laitteiston haltijan on säilytettävä tarkastuspöytäkirja, (Sähköturvallisuuslaki 2016). Määräaikaistarkastuspöytäkirjasta on löydyttävä merkinnät

tarkastusta koskevasta laitteistosta sekä siinä havaituissa puutteissa, (Asetus 1434/2016). Välitöntä vaaraa aiheuttavista puutteista on ilmoitettava kirjallisesti laitteiston haltijalle ja ilmoituksesta on lähetettävä jäljennös Tukesille. Tukes – ohjeessa 16 eritellään tiedot mitä ilmoituksesta on löydettävä ja kuinka puutteet luokitellaan. Välitöntä vaaraa aiheuttavat puutteet tulee korjata välittömästi ja uusintatarkastus suoritetaan kolmen kuukauden kuluttua alkuperäisestä tarkastuksesta. (Tukes-ohje 16/2017)

Sähkölaitteiston kunnossapidosta määrätään sähköturvallisuuslain pykälässä 48. Luokkien 2 ja 3 laitteistoille vaaditaan kunnossapito-ohjelma, jonka noudattamisesta sähkölaitteiston haltija on vastuussa. Siten jakeluverkkoyhtiöllä tulee olla kunnossapitosuunnitelma sähkölaitteistoilleen, koska sähkönjakeluverkko kuuluu luokkaan 3. Luokan 1 sähkölaitteistoille voidaan kunnossapitoon soveltaa valmistajien tai suunnittelijan laitteille antamia huolto-ohjeita. (Sähköturvallisuuslaki 2016)

3 VIRANOMAISEN TOIMESTA SUORITETTAVAT TARKASTUKSET

Viranomaismääräykset laissa, asetuksissa ja Tukesin ohjeissa eivät aseta suoritettaville varmennus- ja määräaikaistarkastuksille yksityiskohtaisia menettelytapoja. Käytännössä tarkempia ohjeita tarkastuksiin annetaan Sähkötieto ry:n julkaisemissa ST-kortiston ohjeissa, jotka perustuvat SFS 6001 ja SFS 5825 standardeille sekä sähköturvallisuuslakiin ja asetuksiin.

Ennen verkostosuosituksista on löytynyt kattavat ohjeistukset jakeluverkon kunnossapitoon ja huoltoon kuntotarkastusten avulla, mutta nykyisin nämä yleisohjeet korvautuvat valmistajien ja suunnittelijoiden antamalla ohjeistuksilla, kuten edellä on sanottu. Suurjännitestandardi SFS 6001 asettaa vaatimukset suurjännitesähköasennuksille ja ohjeita asennusten tekemisen ja turvallisen käytön takaamiseksi. Varmennustarkastuksia käsittelevä standardi SFS 5825 määrittelee tarkastuskohteet erilaisten sähkölaitteistojen varmennustarkastuksille. ST-korteissa 51.23 ja 51.24 on käytännössä tiivistetty lain antamat velvoitteet ja annettu ohjeistuksia määräaikaistarkastusten tekemisestä niiden ja standardien mukaan. Käydään läpi mitä varmennus- ja määräaikaistarkastuksissa käytännössä tehdään.

3.1 Varmennustarkastus

Kuten laissa määrätään, niin varmennustarkastuksessa on tarkoituksena todentaa tehty käyttöönottotarkastus ja varmistaa, että laitteisto täyttää sille asetetut turvallisuusmääräykset. Käyttöönottotarkastuksen todentaminen tapahtuu tarkastamalla pöytäkirjoista asianmukaiset merkinnät aistinvaraisista ja mittaamalla suoritetuista tarkastuksista. Tarkastaja tarkastaa merkintöjen ja mittaustulosten luotettavuuden ja vaatimustenmukaisuuden, minkä lisäksi laitteiston käyttö- ja hoitodokumenttien on löydyttävä kohteesta ja niiden on vastattava asennusta, minkä tarkastaja varmistaa myös. (Tiainen 2017b)

Laitteiston turvallisuusmääräysvaatimukset tarkastetaan varmennustarkastuksessa aistinvaraisesti ja mittauksilla. Standardin 5825 mukaan suurjännitesähkölaitteistoilla eli sähköverkkojen komponenteilla silmämääräiset ja mittaavat tarkastukset tehdään pistokokein. Tarkastuksissa kiinnitetään huomiota seuraaviin kohtiin, mitkä ovat standardissa lueteltu. (SFS 5825 2006)

1. Eristys

Laitteista tarkastetaan mittaamalla niiden eristystasot sekä jännitteisten osien vähimmäisetäisyydet joko silmämääräisesti tai mittaamalla.

2. Laitteet

Tarkastusten kohteena ovat laitteiden vaatimustenmukaisuus ja asennukset. Lisäksi tarkistetaan kaapeleiden asennukset. Tarkastukset tehdään silmämääräisesti.

3. Asennukset

Tarkastetaan koteloimattomat sekä koteloidut asennukset aistinvaraisesti. Tarkastetaan samalla tavalla rakennuksia koskevat vaatimukset ja masto- sekä pylväsasennukset.

4. Turvatoimenpiteet

Suojaukset sähköiskuilta, tulipaloilta sekä neste- ja kaasuvuodoilta tarkastetaan silmämääräisesti.

5. Apu- ja ohjausjärjestelmät

Tarkastetaan asennukset silmämääräisesti.

6. Maadoitusjärjestelmät

Tarkastetaan maadoitusjärjestelmän mitoitus, rakenne ja kosketusjännitevaatimusten toteutuminen. Lisäksi tarkastusten kohteena on yhteinen maadoitus, laajat maadoitusjärjestelmät sekä maadoitusten mittaukset ja tarkastukset dokumentoineen. Tarkastukset suoritetaan aistinvaraisesti ja mittauksin.

Erikseen määrätään standardissa myös ilmajohtojen tarkastuksista seuraavasti.

1. Mitoitukset

Tarkastetaan johtimien mekaaninen ja sähköinen mitoitus mittaamalla. Lisäksi tarkastetaan pylväiden mitoitus ja orsien, eristimien sekä harusten mitoitukset silmämääräisesti ja myös mittaamalla.

2. Johdon sijainti ja siitä johtuvat rakennevaatimukset

Johdolla tarkastetaan aistinvaraisesti sen asennusympäristö sekä rakenne ja yhteispylväsrakenteet.

3. Muut vaatimukset

Harusten suojaus ja sen merkinnät, kuten varoituskilvet ja tunnistusmerkinnät tulee tarkastaa silmämääräisesti. Silmämääräisesti tarkastetaan myös ilmajohtoon kuulumattomien laitteiden sijainti.

4. Maadoitukset

Maadoituksista tarkastetaan silmämääräisesti kytkennät ja mitataan maadoitus- ja kosketusjännitteet. Tarkastetaan mittaamalla myös maadoituspotentiaalini leviäminen.

5. Ylivirtasuojaus

Ylivirtasuojaus testataan mittaamalla tai koestamalla.

Työturvallisuuden erityisvaatimukset tarkastetaan silmämääräisesti.

1. Kojelistot ja jakokeskukset

Tarkastetaan osittaisen kosketussuojauksen toteutuminen sekä keskuksen hoitotila ja hoitoa varten varatut välineet. Tarkastetaan lisäksi lisämerkintämahdollisuudet esim. takajännitteelle ja työmaadoitusjärjestelmät.

2. Poistumistiet

Poistumistiemerkinntät.

Näistä mittauksin suoritetuista tarkastuksista osa on vaikeammin toteutettavissa ja osaa ei kannata sähkönjakelussa tarkastuksen vuoksi esiintyvän katkon vuoksi suorittaa. Silloin pitää paneutua tarkasti käyttöönottotarkastuksen mittauspöytäkirjoihin ja tutkia niiden tulosten kattavuus ja oikeellisuus. Mikäli näissä tuloksissa ilmenee epä johdonmukaisia tuloksia verraten laitteistojen ominaisarvoihin tai ne eivät vastaa vaadittuja normeja, niin tulee mittauksia suorittaa lisää. (Tiainen 2017b)

Varmennustarkastukseen kuuluu myös poikkeavien toimintatapojen arviointi. Tarkastaja arvioi ilmoitettujen toimintatapojen turvallisuustason kohteissa ja raportoi mikäli vaatimukset eivät täyty. Tarkastustodistukseen on kirjattava poikkeavien toimintatapojen käyttö asennuksissa. (Tiainen 2017b)

Varmennustarkastuksesta tehtävän pöytäkirjan sisällöstä määrätään valtioneuvoston asetuksessa 1434, mutta standardissa 5825 annetaan vielä tarkemmat ohjeet tarkastusmallista. Lisänä asetuksessa mainittuihin merkintöihin tulee tarkastuspöytäkirjaan merkitä myös sijainti, missä laitteisto sijaitsee ja sen rakentanut sähköurakoitsija. (Tiainen 2017b)

3.2 Määräaikaistarkastus

Määräaikaistarkastukset ovat väline valvoa sähkölaitteistojen käytön sähköturvallisuutta. Määräaikaistarkastuksilla valvotaan sähkölaitteiston haltijan velvollisuutta noudattaa sähkölaitteistojen huolto- ja kunnossapito-ohjelmia sekä laitteiden käyttö- ja huolto-ohjeita. Ja kuten luvussa kaksi todettiin myös, niin määrä-aikaistarkastusvelvollisuus perustuu sähköturvallisuuslakiin.

Määräaikaistarkastuksen sisällön määrää kolme pääkohtaa.

1. Aikaisemmissa käyttöönotto-, varmennus- ja määräaikaistarkastuksissa on todettu sähkölaitteiston sähköturvallisuuden taso.
2. Sähkölaitteiston haltijan vastuulla on sähköturvallisuuden ylläpito noudattamalla kunnossapito-ohjelmia ja tehtäviä tarkastuksia. Määräaikaistarkastus ei voi korvata tehtäviä kunnossapidon tarkastuksia.
3. Laitteiston määräaikaistarkastuksen tekijän on saatava varmuus olennaisten sähköturvallisuusvaatimusten täyttymisestä. (Tiainen 2017a)

Määräaikaistarkastuksen sisältö on aina määritettävä tapauskohtaisesti, sillä tarkastettavat kohteet vaihtelevat. Minimissään tarkastus koostuu aiemmin tehtyjen tarkastusten dokumentoinnin tarkastuksesta sekä kunnossapito-ohjelman omaavalle laitteistolle tehdään myös vaatimustenmukaisuuden toteava tarkastus pistokokein, jos kunnossapito-ohjelman noudattaminen pystytään toteamaan luotettavasti. Jos näistä dokumenteista ei voida sähköturvallisuuden vaatimusten täyttymistä luotettavasti todeta, niin suoritetaan kattavampi tarkastus, johon sisällytetään pistokokeita eri komponenteille jokaisella tarkastuksen osa-alueella ja suojalaitteiden toiminnan kannalta epäedullisimmassa pisteessä. (Tiainen 2017a)

Käytännössä määräaikaistarkastus tapahtuu siten, että aluksi sovitaan tarkastuksen ajankohta. Sähkölaitteiston haltijan on valmisteltava saataville aikaisemmat tarkastuspöytäkirjat, huolto- ja kunnossapito-ohjelmat sekä muu mahdollisesti tarpeellinen dokumentointi, kuten ohjekirjat. Jos tarkastuksesta tulee aiheutumaan haittaa sähkölaitteiston käyttäjille, tulee heitä tiedottaa etukäteen. (Tiainen 2017a)

Tarkastuksen aluksi selvitetään tarkastuksen tarkoitus ja sitä mahdolliset rajoittavat tekijät. Käydään läpi edellisen tarkastuksen jälkeiset muutos- ja laajennustyöt, sekä käyttöönotto-, varmennus- ja määräaikaistarkastuspöytäkirjat. Tutkitaan myös tehdyt kuntotarkastuspöytäkirjat. Näistä todetaan huolto- ja kunnossapito-ohjelman noudattaminen. Lisäksi tarkastaja tiedustelee laitteiston käytössä sähköturvallisuuteen liittyvistä havainnoista, kuten suojauksen epätavallisista toiminnoista tai vastaavista tapahtumista. (Tiainen 2017a)

Dokumenttien tarkastuksen jälkeen tarkastetaan käytön turvallisuus. Sähköjakeluverkoille määräaikaistarkastus suoritetaan pistokokein muuntamoilla, sähköasemilla sekä muissa verkon osissa. Erityisiä jakeluverkkojen tarkastuskohteita ovat:

- Sähköasemat, niiden huolto- ja kunnossapito sekä käyttövälineistö. Pääulkoasemien kunnossapitovalaistuksen toimivuus ja asemien aidat sekä ympäristö.
- Johtoalueiden puusto ja kasvillisuus sekä verkon pylväiden ja siihen liittyvien komponenttien kunto.
- Ilmajohtojen sijoittelu ympäristöön nähden.
- Verkosto-, maadoitus- ja suojauskaavioiden paikkansapitävyys ja saatavuus.
- Oikosulkuvirtatietojen saatavuus ja paikkansapitävyys. (Tiainen 2017a)

Sähköasemien ja muuntamoiden tarkastuksessa tulee mukana olla sähkökäytönjohtajan. Näistä tiloista tarkistetaan aina seuraavat asiat:

- Viranomaisilmoitukset sähkölaitteistojen muutos- tai laajennustöistä. Käytönjohtaja tulee ilmoittaa myös.
- Kunnossapito-ohjelmien noudattaminen siltä osin kuin tarkastuksia ja testauksia tehdään suunnitelman mukaisesti. Maadoitusjärjestelmän mittauksien suorittaminen ja vaatimustenmukaisuus sekä järjestelmän määräystenmukaisuus tarkastetaan. Lisäksi tarkastetaan maadoitusten ja potentiaalintasausten kunto aistinvaraisesti.
- Tarkastetaan muuntajien huolto- ja kunnossapitosuunnitelman toteutuminen sekä muuntajien siisteys, öljytaso ja öljyn lämpötila, eristimien ehjyys, ilmankuivain ja korroosiot.

- Tarkastetaan asemien ja muuntamoiden siisteys silmämääräisesti. Kokeillaan muuntamon varavalaistuksen ja yllämmönpoiston toimivuus. Tarkastetaan muuntamon palosuojauksesta palo-osastointi, sijoitus ja palokatkot.
- Muuntajan suurjännitekojeiston kunto tarkastetaan tutkimalla yleinen siisteys, eristimet, kaapelipäätteet, erottimien kunto, liittimien lämpötilat ja katkaisijoiden releasettelut sekä niiden ajantasaiset merkinnät.
- Laitteiston huolto- ja käyttövälineiden määräystenmukaisuuden, eli sopivuuden käytettäville jännitteille ja oikosulkuvirroille, tarkastaminen. Tällaisia välineitä ovat maadoitusvälineet ja maadoitusliittimet, jännitteenkoetin, sulakkeiden vaihtopihdit, varasulakkeet, erottimien suojalevyt ja ohjaussauvat sekä katkaisijoiden virituskammet. Lisäksi varoitus- ja ohjekilpien paikallaolo sekä vaaditut käytönjohtajan ja palo- sekä pelastustoimen yhteystietojen saatavuus tarkastetaan.
- Suojaus- ja ohjausjärjestelmien akkujen kunto ja sen kunnontarkastusvälineet tarkastetaan.
- Asemilta ja muuntamoilta on löydyttävä ajantasaiset sähkönjakelu- ja maadoituskaaviot sekä maadoitusresistanssien arvot. Lisäksi on löydyttävä ajantasaiset käyttötoimenpiteissä tarvittavat kaaviot ja ohjeet.
- Tiedot liittymän oikosulkuvirrasta on tarkastettava.
- Yleiset työturvallisuuteen liittyvät asiat, kuten sähkötilojen poistumistiet, esteet, lukitukset, suojaetäisyydet, suojapuomit ja kosketusetäisyydet tarkastetaan. (Tiainen 2017a)

Sähkölaitteiston määräaikaistarkastuksesta tehdään pöytäkirja aiemmin kappaleessa 2 mainituin perustein sähköturvallisuuslain mukaan. Pöytäkirjasta on kuitenkin vähintään löydyttävä merkinnät tarkastetusta laitteistosta ja sen haltijasta. Lisäksi merkinnät tarkastusmenetelmistä ja aiempien tarkastuksien asianmukaisuuden arviointi on tehtävä. Itse huolto- ja kunnossapitosuunnitelmasta on tehtävä arviointi dokumentaation tarpeellisuuden ja käyttölaitteiden tarkoituksenmukaisuuden kannalta. On arvioitava myös sähkölaitteiston käytön turvallisuus ja olennaisten turvallisuusvaatimusten toteutuminen. Tehdystä tarkastuksesta on laitettava merkintä laitteistoon ja tehtävä selvitys tarkastettavan laitteiston haltijalle. Selvityksessä on osoitettava havaitut puutteet ja niiden uudelleentarkastus. (Tiainen 2017a)

4 VERKONHALTIJAN KUNNOSSAPITOSUUNNITELMA

Sähköturvallisuuslaki velvoittaa työn 2 kappaleen mukaisesti verkonhaltijoita tekemään kunnossapitosuunnitelman omalle jakeluverkolleen. Kuten velvoittavien tarkastuksien kohdalla, laki ei anna kunnossapitosuunnitelman muodolle tarkempia määrittelyitä. Sähkölaitteistojen huolto- ja kunnossapitosuunnitelman yleiset raamit määritellään Sähkötieto ry:n julkaisemissa ST-korteissa 96.01 ja 96.02. Näissä korteissa keskitytään pääasiassa kiinteistöjen sähkölaitteistojen kunnossapitoon, mutta raameja voi soveltaa myös sähkönjakeluverkoissa.

ST-kortti 96.02 ehdottaa kunnossapitosuunnitelman yhdenlaiseksi rakenteeksi seuraavaa:

- Yleiskuvaus kunnossapidon kohteesta.
- Laitteistoille tehtävät huolto- ja kunnossapitotoimenpiteet.
- Kunnossapitoaikataulu ja seurantaohjelma.
- Kunnossapito-ohjeet eri laitteistoille ja komponenteille.
- Laitteiston huolto- ja kunnossapitohistoria, dokumentointi.
- Tärkeimmät yhteystiedot.
- Tarkastuspöytäkirjat, todistukset ja raportit:
 - ➔ Ulkopuolisten suorittamat tarkastukset ja katselmukset.
 - ➔ Haltijan itse suorittamat tarkastukset.
- Menettelytapa tilapäisasennuksissa.
- Ylläpidettävä laiteluettelo huollettavista laitteistoista.
- Laitteiston käyttöön, huoltoon ja hoitoon tarvittavat piirustukset ja kaaviot.

Luonnollisesti yleiskuvausta tehdessä on kohteen erityispiirteet ja rakenne otettava huomioon, että tiedetään mitä vaatimuksia laitteistoihin kytkeytyy kunnossapitotoimien osalta. Kunnossapitotoimenpiteet ja aikataulu on syytä asettaa laitteistojen käytön ja kulumisen mukaan, sekä kuinka tärkeässä asemassa kyseinen laitteiston komponentti on käytettävyyden ja turvallisuuden kannalta. Tarkastuspöytäkirjat, dokumentointi ja laiteluettelon ylläpitäminen ovat sähkölaitteiston haltijalle ja viranomaiselle työkaluja nähdä miten laitteistoja on huollettu ja mitä laitteistoja sähkölaitteiston haltijan omistukseen kuuluu. (Autio 2002)

Kunnossapitosuunnitelman tavoitteena on sähkölaitteiston turvallinen käyttö, sekä laitteiston oikean ja häiriöttömän toiminnan varmistaminen. Lisäksi kunnossapitosuunnitelmalla ajoitetaan laitteistojen huolto ja kunnossapitotoimenpiteet niille oikeisiin aikoihin. Hyvin tehdyllä kunnossapitosuunnitelmalla saadaan vähennettyä kunnossapidon tarkastuksien avulla havainnoitavien ja korjattavissa olevien vikojen määrää ja siten jatkettua laitteiston elinikää sekä hallittua laitteistojen elinkaaren mukaan aiheutuvia kustannuksia. (Autio 2003)

Jakeluverkkojen kunnossapitosuunnitelma koostuu pääasiassa keskijännitteisten ja pienjännitteisten verkkojen sekä sähköasemien kuntotarkastuksista. Tarkastusten suoritusiheydet tulisi perustua todelliseen tarpeeseen. Tarkastusten ajankohdat ja jaksotuksen jokainen verkkoyhtiö voi itse määrittää itselleen parhaalla mahdollisella tavalla ottaen huomioon edellä mainitut asiat komponenttien tärkeyden, käytettävyyden ja turvallisuuden kannalta. Komponenteille on olemassa myös pääpiirteittäiset verkostosuositukset kuntotarkastusten suorittamisesta, mutta nykyisin tapana on soveltaa valmistajan ohjeita kunkin komponentin kohdalla. (Vanha 2012)

5 SÄHKÖASEMAN KUNNOSSAPIDETTÄVÄT KOMPONENTIT

Sähköasemat ovat verkon solmukohtia, joissa voidaan muuntaa jännitettä, tehdä kytkentöjä ja jakaa sähköenergian siirtoa verkon eri osien välillä. Siitä johtuen sähköasemat voivat olla rakenteeltaan ja käyttöominaisuuksiltaan hyvinkin poikkeavia toisistaan. Keski-jännitejakeluverkkoa syöttävällä sähköasemalla tavallisesti 110 kV:n suuruinen jännite muunnetaan 20 kV:n suuruiseksi jakelujännitteeksi. Sähköaseman ratkaisuihin riippuvat keski-jänniterunkojohtojen pituudet ja mitoitus sekä myös varayhteyksimahdollisuudet ja siellä sijaitsee yleensä suurin osa verkon suoja- ja esteistä ja muusta automaatiosta, joten sähköasemat ovat sillä perusteella sähköjakeluverkon tärkein yksittäinen rakennekokonaisuus. Sähkötoimituksen laadun ylläpitäminen kannustaa ylläpitämään sähköasemien komponenttien kuntoa. (Lakervi, Partanen 2008, Elovaara, Haarla 2011)

Sähköasemilla on useita eri rakennevaihtoehtoja niiden käyttötarkoituksen, sijainnin, laitteiden ynnä muiden vaatimusten takia. Asemien laitteet voidaan jakaa pääpiirteissään neljään eri ryhmään niiden käyttötarkoituksen mukaan. Päälaitteistoja ovat laitteet, joiden kautta sähkö kulkee eli kiskotot, katkaisijat ja erottimet sekä päämuuntaja. Apulaitteistot ovat sähköaseman päälaitteiden toimintoja tukevia laitteistoja, kuten suoja- ja ohjauslaitteistot, omakäyttösähköjärjestelmät, automaatio- ja tasasähköjärjestelmät. Muita laitteita ovat asemien toimintaan ja monitorointiin liittyvät laitteet kuten LVI-järjestelmä, kulunvalvonta- ja paloilmoinjärjestelmät. Rakenteita ovat kiinteät rakennukset, suoja – aidat ja esimerkiksi tiet. (Piironen 2015)

Tyypillisesti sähköasemalla on suurjännitekytkinlaitos, päämuuntajia yksi tai useampi kappale, keski-jännitekytkinlaitos ja apujännitejärjestelmä. Kytkinlaitokset ovat haja-asutusalueella normaalisti ilma-eristeisiä, mutta taajamissa keski-jännite- tai suurjännitekytkinlaitos tai molemmat voivat olla SF₆-eristeisiä tilansäästö- ja ulkonäkösyistä ja siten sijoitettu sisätiloihin. (Lakervi, Partanen 2008)

Outokummun Energialla on kaksi muuntavaa sähköasemaa, toinen asemista on pääteasema ja toinen on johdonvariasema. Lisäksi Outokummun Energia omistaa yhdessä Pohjois-Karjalan Sähkön kanssa Viinijärven sähköaseman, jonka huollon ja kunnossapidon vastuista ei ole vielä tarkemmin sovittu. Tämän työn kirjallisessa osiossa ei siksi tarkemmin paneuduta Viinijärven sähköaseman kunnossapitoon ja komponentteihin. Outokummussa asemien perusratkaisuna on

syöttävän verkon puolella ilmaeristeinen avorakenteinen ulkokojeisto eli kytkinkenttä yksikiskojärjestelmällä ja kahdella päämuuntajalla, päämuuntajat kojeistojen vieressä ja keskijännitepuolella koteloidut ilmaeristeiset sisäkytkinkojeistot yksikiskojärjestelmällä muuntajarakennuksissa.

5.1 110 kV:n kojeistorakenteet

Kojeistot ovat sähköaseman rakennekokonaisuus, johon kuuluvat sähköjen kytkentä-, ohjaus-, suojaus-, ja valvontalaitteet (Haarla, Elovaara 2011). Kuten edellä on mainittu Outokummun Energian sähköasemilla suurjännitekojeistot ovat ilmaeristeisiä, avorakenteisia ulkokojeistoja. Suurjännitekojeistoissa eli tavallisemmin kytkinkentissä tärkeimpiä komponentteja ovat huollon- ja kunnossapidon kannalta katkaisijat, erottimet ja mittamuuntajat. Näille komponenteille laaditaan yleensä omat huolto-ohjelmansa. Tässä kappaleessa tarkastellaan pääpiirteissään edellä mainittujen komponenttien tehtävät, toiminta ja rakenne.

5.1.1 Katkaisijat

Katkaisijat ovat sähkönjakelussa tärkeässä asemassa ja ne ovatkin kojeiston tärkein yksittäinen komponentti, sillä niiden päätehtävä on suojata muita jakeluverkon komponentteja oikosulkuvirtojen vaikutuksilta. Katkaisijoiden toiminnallisesti tärkeimpiä piirteitä on pystyä katkaisemaan vahingoittumatta verkossa esiintyvät suurimmat vikavirrat, jotka voivat olla monta kertaa katkaisijan nimellisvirran suuruisia. Katkaisijan pitää pystyä vahingoittumatta myös sulkemaan vikavirtapiiri. Sähkönjakelun osana katkaisijoiden tehtävä on tarvittaessa muuttaa verkon topologiaa ja ohjata sähkön kulkua verkossa yhdessä muiden kytkinlaitteiden, kuten erilaisten erottimien kanssa. (Elovaara, Haarla 2011)

Katkaisijan suorittamassa katkaisutapahtumassa katkaisijan koskettimet avautuvat ja virta katkeaa. Virta ei kuitenkaan katkea heti koskettimien avautuessa vaan katkaisutapahtuma itsessään on monimutkaisempi. Katkaisijan koskettimien avautuessa koskettimien väliin syntyy valokaari. Valokaari syntyy, kun koskettimet erkanevat ja kosketinpaine pienenee, minkä seurauksena koskettimien kärjet lämpenevät ja lopulta kärkien viimeiset kosketinpisteet sulavat ja muodostavat sulan metallisillan, joka höyrystyy ja syntyy läpilyönti. Metallihöyry ja sitä ympäröivä väliaine ionisoituvat ja syntyy johtavaa kaasuplasmaa, jota pitkin virta kulkee. Suuren virran aikana valokaaren johtavuus on hyvä ja sen ansiosta katkaisijan kärjet voidaan avata niin etäälle

toisistaan, että avausväli kestää täyden jännitteen valokaaren sammuttua. Kun virta pienenee, niin valokaaren vastus kasvaa suuremmaksi mitä lähemmäs virran nollakohtaa mennään ja lopulta valokaari muuttuu johteesta eristeeksi virran nollakohdassa. Katkaisijan kärkien väliin katkaisutapahtumassa syntyvä valokaari siis toimii itse katkaisijana. (Elovaara, Haarla 2011)

Katkaisijat voidaan jakaa katkaisukammioissa käytettävän väliaineen mukaan eri luokkiin seuraavasti:

- Ilmakatkaisijat
- öljykatkaisijat, vähäöljykatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- SF₆ katkaisijat
- tyhjiökatkaisijat

Katkaisijoiden ominaisuudet ovat parantuneet huomattavasti muutamassa kymmenessä vuodessa alati jatkuvan kehitystyön ansiosta. Nykykatkaisijat ovat turvallisia, luotettavia ja tarvitsevat vain vähän huoltoa. Lisäksi niissä on paljon itsediagnostiikkaa ja ne pystyvät moniin itsenäisiin toimintoihin. (Elovaara, Haarla 2011)

Tavallisimpia 110 kV:n jännitetasolla käytettyjä katkaisijoita ovat SF₆-katkaisijat ja toistaiseksi vähäöljykatkaisijat, jotka ovat SF₆-katkaisijan edeltäjiä 110 kV:n jännitetasolla. SF₆-katkaisijassa väliaineena toimii SF₆-kaasu eli rikkiheksafluoridi, joka jäädyttää valokaarta tehokkaasti ja sallii suuremman palaavan jännitteen kuin aiemmat katkaisijatyypit. Täten katkaisijalla saavutetaan myös suurempi katkaisuteho. Varhaisimmissa SF₆-katkaisijoissa on käytetty seoskaasuna tyypeä pakkaskestävyyden parantamiseksi ilman katkaisuominaisuuksien merkittävää heikentymistä. SF₆-katkaisijoiden mekaaninen elin-ikä on noin 5 000–10 000 toimintakertaa ja katkaisukärkien tyyppillinen kestävyys mitoitusvirralla on useita tuhansia toimintakertoja ja 10–20 katkaisua täydellä oikosulkuvirralla. Uusimpien katkaisijoiden huoltovälit voivat olla jo yli 10 vuotta, mikä vaikuttaa koko sähköaseman yleissuunnitteluunkin. (Elovaara, Haarla 2011, Piironen 2015)

Vähäöljykatkaisijassa väliaineena toimii mineraaliöljy. Valokaaren sammutus perustuu öljyn höyrystymiseen erillisissä katkaisukammioissa valokaaren vaikutuksesta ja höyrystymisen seurauksena nousevaan paineeseen, joka synnyttää kaasun ja öljyn virtauksen, mikä edesauttaa valokaaren sammumista. Öljyn virtausta voidaan tehostaa erilaisilla pumpuilla katkaisijassa.

Katkaisijan kärkiä ohjataan yleensä moottorijousiohjaimella. Vähäöljykatkaisijoiden pääasiallinen käyttöalue on 7,2–123 kV ja sillä katkaistavat oikosulkuvirrat sekä kytkentäiheys kohtuullisia. (Elovaara, Haarla 2011)

Outokummun Energialla on sähköasemillaan 110 kV:n kojeistokentissä katkaisijoina kahdessa kentässä SF₆-katkaisijoita ja kahdessa kentässä vähäöljykatkaisijoita. Outokummun Energian SF₆-katkaisijat ovat malliltaan ABB:n LTB katkaisijoita moottorijousiohjaimilla ja ne ovat vuosimalleja 1991 ja 2013. Toiset vähäöljykatkaisijat ovat ASEA:n, (nyk. ABB), HLD katkaisijoita moottorijousiohjaimella vuosimallia 1970 ja toisen vähäöljykatkaisijat ovat Sprecher & Schuh HPF tyyppisiä moottorijousiohjattavia katkaisijoita vuosimallia 1981.

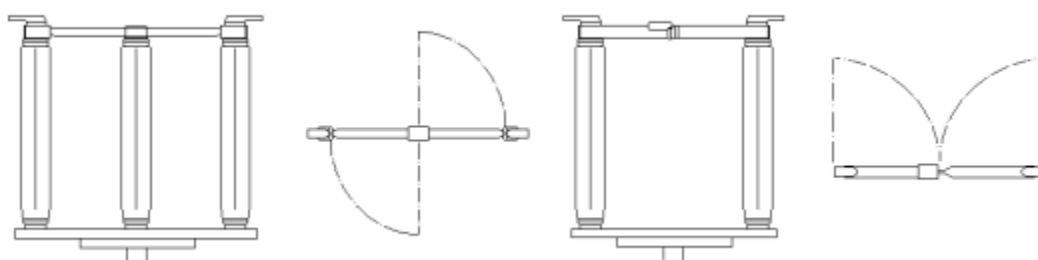
5.1.2 Erottimet

Erottimien tehtävä on erottaa kaksi verkon osaa toisistaan. Erottimella ei katkaista virtaa vaan erottimella erotetaan esimerkiksi vikatapauksessa kaksi verkon osaa toisistaan katkaisijan toimimisen jälkeen korjaus- ja huoltotöitä varten. Erottimelta ei vaadita siten virran katkaisu tai sulkemiskykyä. Erotin muodostaa näkyvän tai mekaanisesti osoitetun luotettavan avausvälin kahden virtapiirin välille. Erottimen jännitelujuuden on oltava suurempi kuin vaiheen ja maan välisen jännitelujuuden, ettei käy läpilyöntiä. Erottimessa on oltava mahdollisuus lukita se auki- ja kiinniasentoon. Suomessa jakeluverkossa, mutta ei yleensä sähköasemalla, on käytössä paljon kuormaerottimia. Ne kykenevät erottamisen ohella myös katkaisemaan kuormitusvirtoja ja pieniä vikavirtoja. (Elovaara, Haarla 2011)

Erottimet ovat rakenteeltaan yksi- tai kolmenapaisia ja ne rakennetaan tai kootaan samalle rungolle. Erottimien eristeet ovat yleensä keskijänniteverkoissa valuhartsia tai suurjännitepuolella silikonipäällysteistä komposiittia. Erottimien kosketinvarsina ovat erotusveitset ja kosketinkärjet, mitä pitkin myös virta kulkee. Erottimien mitoitusvirrat ovat yleensä suuremmat kuin aseman todelliset kuorma- tai oikosulkuvirrat. Mitoitusvirrat voivat olla jopa 3150 A ja oikosulkukestoisuuskin jopa 50 kA. Suomessa erottimien tyypillinen lisävaatimus on kyetä toimimaan jäätävissä olosuhteissa, mikä tarkoittaa käytännössä, sitä että erottimien on pystyttävä murtamaan jopa 20 mm paksu jääkerros kiinni- ja auki-ohjauksessa. Erottimet ovat yleensä malliltaan erilaisia kiertoerottimia, tartuntaerottimia tai veitsierottimia. Kiertoerottimia käytetään eniten sähköasemilla ulkokytkinlaitteistoissa ja veitsierottimia sisäkytkinlaitteistoissa. (Elovaara, Haarla 2011)

Outokummun Energian sähköasemilla ja suurjännitejohdon varrella on yhteensä 33 kappaletta 110 kV:n erottimia. Kaikki erottimet ovat kaksipilarisia kiertoerottimia. Kaikista erottimista kuusi on ABB:n NSA- ja SGF-tyyppisiä erottimia ja 27 kappaletta on Strömbergin (nyk. ABB) OJYD3-tyyppisiä erottimia. Lähes kaikki suurjänniteerottimet ovat moottoriohjattuja asemilla ja pääosa ohjaamattomista erottimista sijaitsee linjan haaraumakodissa linjan varrella.

Outokummun Energian kiertoerottimien rakenne on kuvan 5-1 kaksipilarisen kiertoerottimen rakenteen mukainen. Kolmipilarisia kiertoerottimia ei Outokummun Energialla ole.



Kuva 5-1 Vasemmalla kolmipilarisen kiertoerottimen rakenne ja kosketinvarsien liikkumisperiaate sekä oikealla kaksipilarisen kiertoerottimen rakenne ja kosketinvarsien liikkumisperiaate. (Kuosa 2007)

5.1.3 Mittamuuntajat

Mittamuuntajat mittaavat ensiöpiirin jännitettä tai virtaa. Mittamuuntajien tehtävänä on erottaa mittauspiiri galvaanisesti päävirtapiiristä ja siten muuttaa mitta-alaa ja näin mahdollistaa mittaus- ja suojalaitteiden toiminta ilman ensiöpiirin ylikuormitusten vaikutuksia toisiopiirissä. Mittamuuntajien käyttö mahdollistaa myös mittauskeskuksen sijoittamisen kauemmaksi. (Elovaara, Haarla 2011)

Suurjännite virta- ja jännitemuuntajat ovat ulkoisilta rakenteiltaan samanlaisia. Kummassakin on eristeenä tavallisesti posliinikuori, jonka yläosassa on öljyn- tai SF₆-kaasunpaisuntasäiliö ja sen osoitin. Muuntajissa käytetään siis eristeaineena joko öljyä tai SF₆-kaasua. Rungon alaosassa on tavallisesti paikat toisioliittimille. Virtamuuntajan ensiökäämin ja sydänosien sijoituksesta riippuen muuntaja on joko ”hair pin”- vai ”top core”- rakenteellinen. ”Hair pin”-rakenteellisessa muuntajassa ensiökäämi ja sydänosat sijaitsevat muuntajan alaosassa ja ”top core”-rakenteisessa muuntajassa sen yläosassa. Virtamuuntajalla voi olla useita sydämiä. Jännitemuuntaja voi olla

kapasitiivisesti mittaava, tai induktiivisesti mittaava, mutta sen perusrakenne on verrattavissa kummassakin tapauksessa ”hair pin”-tyyppiseen virtamuuntajaan. (Elovaara, Haarla 2011)

Outokummun Energialla on 110 kV:n ulkokytinkentissä Artechin C 123 öljytäytteisiä virtamuuntajia vuosilta 2010 ja 2012, ABB:n HSE virtamuuntajia vuodelta 2013 ja Strömbergin KOTU 110 virtamuuntajia käyttöönottovuodelta 2006, mutta valmistusvuodeltaan todennäköisesti jo huomattavasti vanhempia. Virtamuuntajissa on sisäisenä eristeenä ja lämmönviejänä öljyä ja öljysäiliö on tyyppityynyllä suljettu kosteuden pääsyn estämiseksi eristeaineeseen. Ulkoisena eristeenä muuntajissa on posliinikuori. Outokummun Energian virtamuuntajat ovat hair pin-rakenteellisia. Virtamuuntajien lisäksi yhtiöllä on toisella asemalla kiskoissa Strömbergin alkuperäiset jännitemuuntajat 1970-luvulta.

5.2 20 kV:n kojeistorakenteet

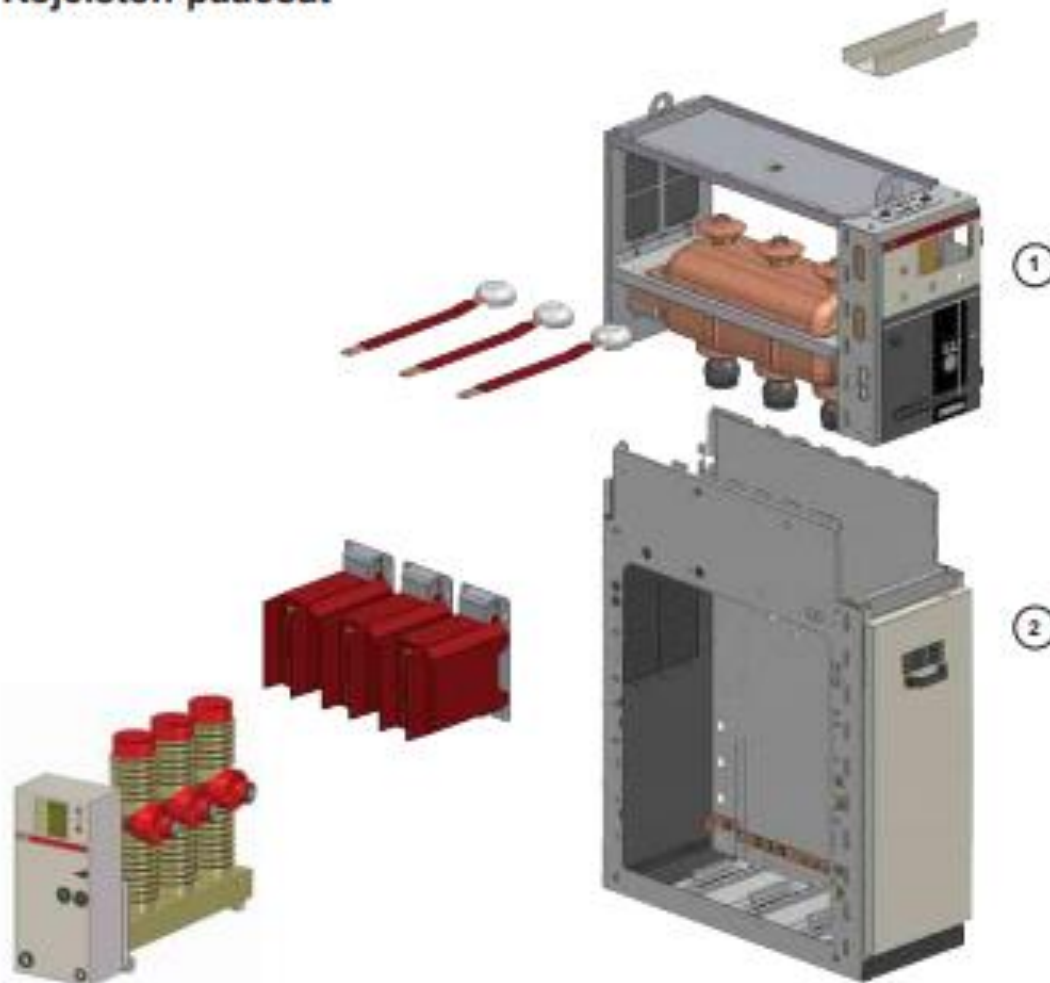
Sähkönsyöttötie päämuuntajalta keskijännitejohtolähdöille on keskijännitekojeistossa. 20 kV:n sisäkytkinlaitokset ovat samanlainen rakennekokonaisuus kuin suurjännitekytkinlaitoksetkin eli ne sisältävät kiskoston, vähintään yhden erottimen, katkaisijan sekä virtamuuntajat tai muut sensorit relesuojausta ja mittareita varten. Jännitemittausta varten kennostossa on yleensä oma kennonsa, koska jännitemittaus suoritetaan kiskosta. Keskijännitekojeisto voi olla ilma- tai SF₆-eristeinen ja se voi sijaita sisällä tai ulkona. Tavallisimmin keskijännitekojeisto sijaitsee sisällä kojeistorakennuksessa sähköasemalla. Vanhemmat keskijännitekojeistot ovat yleensä kiinteitä rakennelmia, kun taas nykyiset kojeistot ovat vaunukatkaisijatyypisiä. (Lakervi, Partanen 2008)

Outokummun Energian keskijännitekojeistot ovat ilmaeristeisiä koteloituja sisäkytkinkojeistoja. Kojeistoja on kahdentyyppisiä: vanhemmat kojeistorungot ovat kiinteitä Strömbergin MEKA-kennotyyppisiä kojeistoja ja uudemmat kojeistot ovat ABB:n Uniswitch-vaunukatkaisijakojeistoja esitettynä kuvassa 5-3. Vanhoihin MEKA-kojeistorunkoihin on vaihdettu jo osittain uusia laitteita, kuten esimerkiksi kaikkiin vanhoihin kiinteisiin kojeistoihin on katkaisijat vaihdettu vuosien 2005 ja 2008 aikana.

Uniswitch

Kojeiston rakenne

Kojeiston pääosat



① Ylämoduuli

- 3-asentoinen SFG-kuormanerotin
- Ohjainlaitte, jossa on mekaaninen asennonosetus
- Koteloitu kokoojakiskotilla
- Integroitu toisiokojeilla toisiokomponenteille
- Lukitusyksikkö
- Kiskotilla
- Johtokouru ohjauskaapeleille

② Alamuoduuli

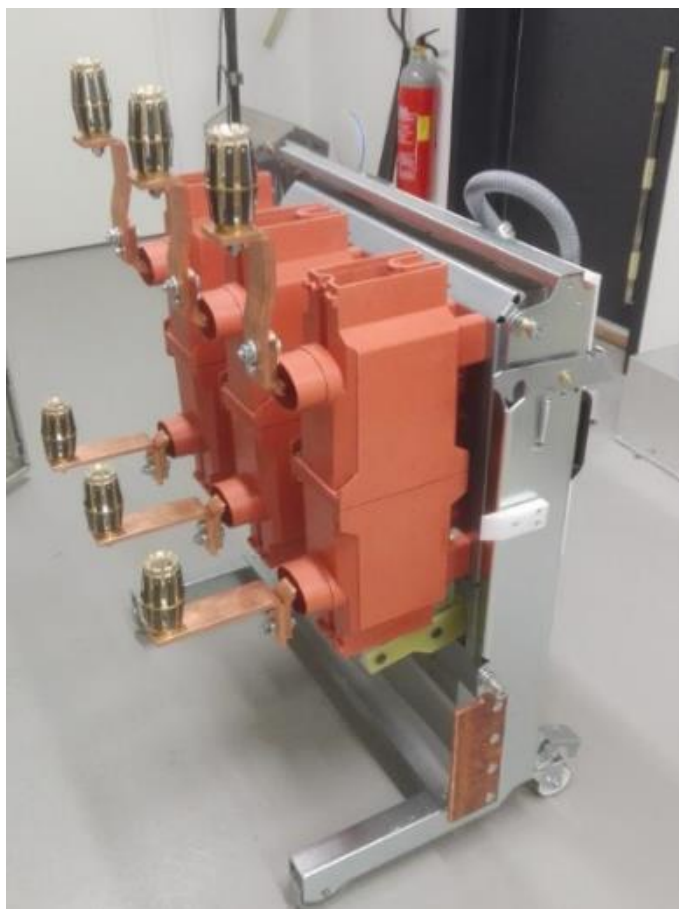
- Kannon runko
- Katkaisija (kiinteä versio)
- Virtamuuntajat
- Maadoituskytkimet
- Jännitemuuntajat
- Kaapeliuukolla ja -tuella varustettu pohjalevy

Kuva 5-2 ABB:n Uniswitch vaunukatkaisijakojeiston rakenne. (ABB 2014)

Keskijännitekojeistoista puhuttaessa niihin viitataan yleensä pelkästään sanalla kojeisto. Huollon- ja kunnossapidon kannalta kojeistoissa tarkasteltavat komponentit ovat katkaisijat, erottimet ja maadoituskytkimet sekä näiden ohjauslaitteet, joten tässä kappaleessa tarkastellaan pääpiirteissään näiden komponenttien tehtävät, toiminta ja rakenne. Maadoituskytkin on käytännössä erotin, joten sen ominaisuuksia ei erikseen tarkastella. Mittamuuntajat ovat keskijännitekojeistoissa huoltovapaita.

5.2.1 Katkaisijat

Keskijännitekojeistojen yhteydessä Outokummun Energialla on kummallakin asemallaan kaikissa lähdöissä AREVA:n HVX tyhjiökatkaisijoita. Tyhjiökatkaisijat ovat vuosimalleiltaan 2005–2012. Osa keskijännitelähtöjen katkaisijoista on uusia vaunukatkaisijoita ja osa integroitu vanhoihin kojeistokennoihin kiinteästi ja ne vaativat siten erillisen erottimen. Kuvassa 5–3 on vaunukatkaisija liittimineen ja virtateineen. Virtatiet kulkevat katkaisukammioiden lävitse.



Kuva 5-3 Vaunukatkaisija virtateineen ja liittimineen.

Tyhjiökatkaisijat ovat rakenteeltaan hyvin yksinkertaisia. Katkaisijassa on periaatteessa vain liikkuva ja paikallaan oleva kärki tyhjiössä. Koska katkaisijan kärkien ympärillä ei ole muuta väliainetta ja katkaisutapahtuma tapahtuu hyvin nopeasti, ei katkaisijan katkaisukyky riipu ollenkaan palaavan jännitteen jyrkkyydestä. Katkaisijan toimintaan vaikuttavat olennaisesti vain katkaisijan kärjissä käytettävien elektrodiaineiden höyrystymispiste sekä terminen johtavuus. Tyhjiökatkaisijan koskettimia on jatkuvasti puristettava ulkoisella voimalla yhteen, että mitoitus ja oikosulkuvirtoja voidaan johtaa lämpenemättä liikaa. Tähän käytetään moottorijousiohjainta yleensä. (Elovaara, Haarla 2011)

Tyhjiökatkaisijan mekaaninen elinikä on 10 000–30 000 toimintakertaa sekä katkaisijalle, että ohjaimelle. Katkaisijayksikön sähköinen elinikä on noin 10 000–20 000 toimintakertaa mitoitusvirralla ja 20–100 toimintakertaa suurimmalla oikosulkuvirralla. Katkaisuyksikköä ei voi huoltaa, ja tyhjiökatkaisijat on suunniteltu lähes huoltovapaiksi, yleensä vain ohjainta tarvitsee voidella määräväleihin. (Elovaara, Haarla 2011)

5.2.2 Erottimet

Keskijännitekojeistoissa on yleensä veitsierottimet. Veitsierottimien rakenne on kuvan 5–2 mukainen. Siinä tyypillisesti valuhartsisen eristinosan päällä on veitsierottimen kosketusvarsi, joka liikkuu vipuvarren varassa pystysuunnassa. Kojeistoissa käytettävillä erottimilla voidaan erottaa enimmillään 300 kVA:n kuormittamaton muuntaja tai maksimissaan 30 kVA:n kuorma. (Kuosa 2007, Elovaara, Haarla 2011)



Kuva 5-4 Veitsierotin ja sen toimintaperiaate. (Kuosa 2007)

Outokummun Energialla on vanhoissa kiinteissä kojeistorakenteissa katkaisijan lisäksi kiskoerotin ja maadoituskytkin. Vaunukatkaisijakojeistoissa ei ole erillisiä kiskoerottimia vaan vaunukatkaisija toimii itsessään erottimena luoden näkyvän avausvälin. Kiskoerottimet vanhoissa kojeistoissa ovat Strömbergin (nyk. ABB) OJON 3–tyyppisiä erottimia. Näitä ohjataan ohjaustangolla kojeiston ulkopuolelta.

5.3 Päämuuntajat

Sähkönjakelussa päämuuntaja-nimitystä käytetään siirtoverkon tehomuuntajasta, joka sijaitsee yleensä sähköasemalla. Tyypillisesti päämuuntaja on kokoluokkaa 10–40 MVA, eikä sitä käytetä kuitenkaan nimellistehollaan normaalissa käyttötilanteessa, sillä osa muuntajan tehosta varataan varatehoksi poikkeavassa syöttötilanteessa. Tavallisesti muuntajaa kuormitetaan 60–80 % teholla normaalitilanteessa. Varasyöttötilanteissa hyödynnetään yleensä muuntajan ylikuormitusmahdollisuuksia (10–30 %), jos ilman lämpötila on alhainen. Sähköaseman komponenteista päämuuntajien kunnossapito on laaja-alaisinta sähkönjakelun kannalta kriittisimpänä ja hankintahinnaltaan kalleimpana yksittäisenä komponenttina. Jo muuntajan hankintasopimuksessa määritellään muuntajalle tehtävät koestukset, joissa määritellään muuntajan soveltuvuus ja siten hankintasopimuksen ehtojen täyttyminen. Tehdaskoestukset ovat referenssinä myöhemmin suoritettaville kunnonvalvontamittauksille. (Piironen 2015, Sikanen 2006, Lakervi, Partanen 2008)

Päämuuntaja rakentuu useasta eri osasta, jotka muodostavat yhdessä muuntajan pää- ja toisiojärjestelmäkokonaisuuden. Muuntajan pääjärjestelmiä ovat muuntopiiri, jännitteensäädin, öljynpaisuntajärjestelmä ja jäähdytysjärjestelmä. Toisiojärjestelmiä ovat muuntajan primäärisuojaus- ja mittausjärjestelmät. Kaikki järjestelmät ovat sidottuina muuntajan runkoon, joka toimii kiinnityspaikkana toisiojärjestelmien kojeille ja samalla säiliönä muuntajan jäähdytysnesteelle. (Piironen 2015, Sikanen 2006)

Muuntajan sisällä on rautasydän, jonka ympärille on kiedottu kuparisia tai alumiinisia käämilankoja, jotka yhtenä käämityksenä muodostavat muuntopiirin. Yleisempi materiaali päämuuntajien käämitysmateriaalina on kupari. Riittävän jännitelujuuden aikaansaamiseksi käämilangat on eristetty öljyeristepaperilla, jonka kunnossa pysyminen on muuntajan eliniän kannalta kriittinen. Muuntajaöljyn hapettuminen ja korkea lämpö yhdistettynä kiihdyttävät eristepaperin hajoamista. (Piironen 2015, Elovaara, Haarla 2011)

Käämikytkin, käämikytkimen ohjain ja näiden ohjausjärjestelmä eli jännitteensäätäjä muodostavat yhdessä muuntajan jännitteensäätöjärjestelmän. Jännitteensäätäjässä on yleensä muuntajan yläkäämipuolella rele, joka tarkkailee yhden tai useamman vaiheen jännitettä tai virtaa tai molempia riippuen jännitteensäätäjässä olevien toimintojen määrästä. Jännitteensäätäjän tehtävänä

on pitää tehomuuntajan toisiojännite vakaana vertailemalla mitattuja suureita käyttäjän asettelemiin vertailuarvoihin ja kun arvosta poiketaan, niin säätäjä antaa käämikytkimen ohjaimelle käskyn muuttaa jännitettä, jolloin käämikytkin muuttaa muuntajan muuntosuhdetta. Käämikytkimen säätö on portaittainen ja yleensä $\pm 9 \times 1,67 \%$. (Piironen 2015, Sikanen 2006, ABB 2003)

Päämuuntajat ovat lähes poikkeuksetta varustettu öljynpaisuntasäiliöllä, koska suurin osa päämuuntajista on öljyjäähdytteisiä. Öljyn lämmitessä se laajenee ja osa öljystä valuu paisuntasäiliöön, jolloin ilmaa poistuu öljylukon kautta. Kun öljy taas jäähtyy ja virtaus kääntyy päinvastaiseksi, pitää muuntajaan tulla korvausilmaa. Muuntajan öljynpaisuntajärjestelmään kuuluu paisuntasäiliön lisäksi myös suolarakeilla toimiva ilmankuivain. Korvausilma johdetaan ilmankuivaimen läpi muuntajaan ylimääräisen kosteuden poistamiseksi ilmasta. (Piironen 2015, Sikanen 2006)

Muuntajaöljyn tehtävä on siis jäähdyttää muuntajaa ja riippuen muuntajan rakenteesta on olemassa kolme jäähdytyksen päätyyppiä: ONAN (Oil Natural Air Natural), ONAF (Oil Natural Air Forced) ja OFAF (Oil Forced Air Forced). ONAN-tyyppisessä muuntajassa on jäähdytysyksiköt, joiden kautta lämpö johdetaan ulos painovoimaisesti. ONAF-tyyppisessä muuntajassa on jäähdytysyksiköt, joissa on puhaltimet tehostamassa lämmön siirtymistä muuntajasta pois. Puhaltimia ohjataan öljynlämpötilamittauksen mukaan. OFAF-tyyppisiä muuntajia käytetään tavallisesti sisätiloissa, jolloin öljyn kiertämistä tehostetaan vielä pumpuilla. (Piironen 2015)

Muuntajan primäärisuojaus ja mittausjärjestelmiin kuuluvat jännitteensäätäjän lisäksi muut suojat kuten kaasurele, virtausrele, ylipaineventtiili, öljyn lämpötilamittari ja korkeuden osoitin sekä käämin lämpötilamittari. Mittareista lähinnä luetaan ja tarkkaillaan silmämääräisesti muuntajan tilaa, mutta ne voidaan myös yhdistää hälytyslaitteistoon, jolloin ne suojaavat muuntajan ylikuormittumista vastaan yhdessä muiden suojalaitteiden kanssa. Kaasurele havainnoi muuntajaöljyssä syntyvää kaasun määrää muuntajasäiliön ja paisuntasäiliön välillä. Mikäli esimerkiksi jonkin muuntajan sisäisen vian, kuten valokaaren sattuessa muuntajan käämeissä öljy lämpenee nopeasti ja höyrystyy samalla, saa se aikaan öljysyöksyn muuntajan paisuntasäiliöön, jolloin kaasurele havainnoi öljysuihkun mukana kulkevan kaasukuplan ja indikoi vian tai myös laukaisee sen. Virtausrele toimii silloin muuntajan suojana, kun käämikytkimessä tapahtuu häiriö

ja öljy lämpenee nopeasti aiheuttaen öljysyöksyn paisuntasäiliöön. Yleensä näiden releiden toiminnot on yhdistetty samaan toimilaitteeseen. (Piironen 2015, Sikanen 2006, ABB 2000)

Mikäli muuntajasta pääsee vuotamaan öljyä ulos esimerkiksi jonkin vian seurauksena, on sitä varten muuntajan perustuksissa öljykuoppa ja keräilysäiliö. Kun öljy menee keräilysäiliöön se ei pääse ympäristöön. Joissain tapauksissa muuntajien kriisiajan sirpalesuojaksi on rakennettu betoniseiniä. Tällaiset seinät toimivat myös paloesteinä päämuuntajien välillä, mikäli kaksi päämuuntajaa sattuu olemaan lähekkäin asemalla. (Lakervi, Partanen 2008)

Outokummun Energian sähkönjakeluverkkoa syötetään neljän päämuuntajan kautta, jotka sijaitsevat kahdella sähköasemalla. Päämuuntajat ovat Strömbergin, ABB:n ja Koncarin eri vuosina valmistamia öljyeristeisiä ONAN tehomuuntajia tehoalueilta 10–25 MVA. Outokummun Energian kaikkien päämuuntajien käämikytkimet ovat tavanomaisimmalla $\pm 9 \times 1,67 \%$ porrastuksella varustettuja. Toisella asemalla olevat muuntajat on sijoitettu erillisiin betonirakenteisiin ja toiselle asemalla suunnitteilla on kahden päämuuntajan väliin rakennettava betoniseinä palosuojaksi.

5.4 Relesuojaus

Verkon suojausta edellyttävät verkossa sattuvat vikatilanteet ja jännitteen laatuvaatimukset sekä taloudelliset näkökohdat. Vikatilanteen sattuessa vikaantunut verkon osa on irrotettava verkosta, jotta vikavirta ei aiheuttaisi vaaraa ihmisille tai eläimille, eikä tuhoaisi laitteita. Vikoja verkkoon aiheutuu esimerkiksi salamaniskuista, myrskyjen katkomista puista ja oksista sekä lumi- ja jääkuormista, jotka ovat pääosin avojohtoverkon vikoja. Vikoja voi aiheutua myös muiden vikojen seurauksena sekä komponenttien valmistusvirheiden seurauksena. Viat voivat olla oikosulku- tai maasulkutyypisiä vikoja.

Standardi SFS–IEC 60050–448 määrittelee suojauksen tarkoituksen olevan vikojen tai epänormaalien olojen havainnoiminen sähkövoimajärjestelmässä, että ne voidaan selvittää. Sama standardi määrittelee suojajärjestelmän tarkoittavan releitä, mittamuuntajia, johdotusta, laukaisupiiriä, teholähteitä, sekä tiedonsiirtojärjestelmää ja jälleenkytkentäautomaatiikkaa, mikäli sellaiset käytössä on. Katkaisijat eivät kuulu suojausjärjestelmään. Verkon suojaus hoidetaan kuitenkin mittamuuntajien, suojareleiden ja katkaisijoiden yhteistyönä. (Elovaara, Haarla 2011)

Sähköverkko on suojattu suojareleistyksellä, siten että suojaus on selektiivinen, nopea, herkkä ja on toteutettu useammalla tasolla. Suojareleiden toiminnalle on ominaista, että ne asetellaan tarkkailemaan tiettyä suuretta ja eri toimenpiteitä tehdään tarkkailtavassa suureessa tapahtuvien muutosten perusteella. Havahtuminen tapahtuu silloin kun mitattava suure ylittää tai alittaa releelle asetellun toiminta-arvon. Mikäli mitattava arvo ei palaudu asetellussa aika-arvossa takaisin, rele toimii eli tekee hälytyksen tai antaa laukaisukäskyn katkaisijalle tai tekee molemmat. Rele palautuu takaisin aloitustilaan katkaisijan toimittua tai jos mittaus suure palaa ennalleen ennen kuin rele ehtii toimia. Sähköverkossa on käytössä erilaisia releitä eri aikakausilta ja eri tehtäviin tarkoitettuina. (Elovaara, Haarla 2011)

Käsitellään 110 kV:n siirtojohtojen, päämuuntajien ja 20 kV:n johtolähtöjen relesuojauksen yleiset toteutusperiaatteet ja toteuttavat laitteet oikosulkuja, maasulkuja ja muuntajassa tapahtuvia vikoja vastaan. Outokummun Energian sähkönjakeluverkossa relesuojaus on toteutettu käytännössä VAMP-tuoteperheen kennotermiinaaleilla, joissa on useita reletointoja samassa paketissa. Kennotermiinaalit on yhdistetty paikallisesti hälytysyksiköihin ja tiedot menevät myös langattomasti käyttövalvomoon ja päivystäjän puhelimeen.

5.4.1 Päämuuntajan relesuojaus

Päämuuntajan suojausalue on 110 kV:n virtamuuntajien ja 20 kV:n virtamuuntajien välinen alue. Päämuuntajan omien primäärisuojien lisäksi muuntajaa suojataan myös sähköisillä suoilla. Pääsuojana muuntajalla on yleensä differentiaalirele ja varasuojana toimii ylivirtarele. Päämuuntajalla on myös laukaiseva ylikuormitus, mikä voi primäärisuojauksen ohella olla toteutettu virtojen tehollisarvojen perusteella laskettavaan lämpömalliin pohjautuvalla relesuojauksella. Suoja toimii, kun lämpenemä ylittää sille asetetun rajan ennalta määrätyn ajan kuluessa. Muuntajalla voi olla myös valokaarisuojaus. (Lakervi, Partanen 2008, Elovaara, Haarla 2011, Laurila 2010)

Differentiaalireleen toiminta perustuu muuntajaan tulevien ja siitä lähtevien virtojen erotuksen vertailemiseen. Mikäli erotus on suurempi kuin releen asetellut toiminta-arvot, rele antaa laukaisukäskyn muuntajan erottamiseksi verkosta. Erovirran asettelu arvo asetellaan tavallisesti noin 40 % muuntajan nimellisvirrasta. Erovirran asettelu määräytyy tyhjäkäyntivirran perusteella, joka katsotaan esimerkiksi vian seurauksena muuntajaan aiheutuneen ylijännitteen aikana. Periaatteessa muuntajasta lähtevien virtojen summan pitäisi olla nolla, mutta käytännössä näin ei

ole muuntajassa tapahtuvan tyhjäkäyntivirran, kytkentävirtasysäysten, käämikytkimen asentomuutosten ja virtamuuntajien virheen vuoksi. Epätarkkuus virroissa otetaan releen asettelussa huomioon vakavoimalla releen toiminta kuormitusvirran suhteen. Releen havahtuminen vaatii enemmän erovirtaa isommalla kuormalla. Lisäksi releessä on salpalukitus kytkentävirtasysäystä vastaan. Siinä rele tunnistaa kytkentävirtasysäyksen aiheuttaman 100 Hz:n yliaallon ja lukkiutuu. (Lakervi, Partanen 2008, Elovaara, Haarla 2011, Piironen 2015)

Muuntajan toisena suojana käytetään vakioaikaylivirtarelettä. Vakioaikaylivirtarele havahtuu silloin, kun virran arvo ylittää releeseen asetellun arvon ja toimii, kun se on ollut havahtuneena asetellun ajan. Rele palautuu takaisin normaalitilaan vasta sitten, kun virta on ollut tietyn esiasetellun ajan asetetun arvon alapuolella. Yleensä ylivirtareleet toimivat johto- ja kisko-oikosuluissa. (Elovaara, Haarla 2011)

Nollavirtarele on muuntajan maasulkusuojaukseen käytettävä ylivirtarele. Nollavirtarele kytketään virtamuuntajien tai muuntajan toisiokäämeihin ja se mittaa vaihevirtojen perustaaajuista summavirtaa, jolloin kolmannen yliaaltovirran suodatus on korkea ja suojan toiminta erittäin tarkka. Yleensä maasulkurele on suuntaamaton. Nollavirtareleellä voi olla karkea tai herkkä asettelu ja sillä voidaan laukaista muuntajan tähtipisteen lähellä tapahtuvat viat, joita ei välttämättä tunnisteta differentiaalireleellä. (Elovaara, Haarla 2011, Laurila 2010)

Valokaarisuojassa on optinen valoanturi ja ylivirtamittaus. Suoja toimii, kun valoanturi havaitsee valoa ja ylivirtamittaus mittaa samaan aikaan ylivirtaa. Valokaarisuojauksen tavoite on suojata muuntajaa valokaaren ja oikosulkuvirran tuhoisilta vaikutuksilta, jolloin valokaarisuojan toiminta on erittäin nopea noin 15 ms. (Laurila 2010)

5.4.2 110 kV:n siirtojohtojen relesuojaus

Maaseutuverkoissa 110 kV:n siirtojohdoilla johto-oikosulkujen pääsuojana toimii yleensä distanssirele ja varasuojana käänteisaikahidasteinen ylivirtarele. Maasulkusuojana on suunnattu maasulkurele. Kaupunkiverkoissa pääsuojana on differentiaalirele tai johtovertole, mutta varasuojaus on yleensä kahdennettu siten, että suojauksena on distanssirele ja ylivirtarele. Varasuojauksen kahdentaminen johtuu muuntajan takana olevasta suuremmasta asiakasmassasta. (Elovaara, Haarla 2011, Piironen 2015)

Distanssireleellä havaitaan vian suunta. Distanssireleen toiminta perustuu virran ja jännitteen vaihekulman eron laskemiseen. Johdon kummassakin päässä mitataan virtaa ja alkupäässä jännitettä ja niiden avulla lasketaan johdon impedanssi. Suurjänniteverkossa johdon resistanssi on mitätön reaktanssiin verrattuna ja siten virran suuruus ja kulma riippuvat lähes pelkästään reaktanssista. Rele tunnistaa vian suunnan siis vaihesiirtokulman perusteella ja vertaa laskemaansa reaktanssia asetteluarvoon ja antaa laukaisukäskyn, mikäli arvo on alempi kuin tavanomainen suojausasettelu eli 80–85 % suojattavan kohteen reaktanssista. Distanssirele ei toimi suurella vikaresistanssilla, sillä se ei osaa erottaa resistiivistä vikavirtaa kuormitusvirrasta. (Elovaara, Haarla 2011, Piironen 2015)

Yleensä 110 kV:n johtojen pääsuojauksessa käytetään hyväksi aikaporrastuksia ja yli- sekä aliulottuvuuksia johtojen kattavaan ja aukottomaan suojaukseen. Mikäli käytössä on yliulottuva suojaus, käytössä on myös releiden kommunikointi viestiyhteyksien välityksellä, jolloin vältetään päällekkäiset suojien laukeamiset ja varmistetaan suojauksen kattavuus. Distanssireleellä yleinen reaktanssin arvo on 80–85 % johtovälin suojausvyöhykkeelle yksi, vähintään 120 % suojausvyöhykkeelle kaksi ja 120 % suojausvyöhykkeelle kolme aliulottuvassa suojauksessa. (Elovaara, Haarla 2011)

Kuten päämuuntajasuojauksessakin, differentiaalireleen suojausalue rajoittuu niiden virtamuuntajien välille, joista virtaa mitataan. Siten differentiaalirele ei käy muiden alueiden varasuojaksi, samalla tavalla kuin distanssirele. Differentiaalirele vertailee suojattavaan johtolähtöön saapuvien ja siitä lähtevien virtojen summia ja toimii kun erovirta on suurempi kuin asetteluarvo. Johdonsuojana käytettävää differentiaalireleen toimintaa vakavoidaan mittausepäätarkkuuksien takia samoista syistä kuin päämuuntajaa suojattaessa. Lyhyiden rengasjohtojen koko suojaus voidaan tehdä johdon kumpaankin päähän sijoitettavalla differentiaalireleellä. Silloin varasuojana käytetään distanssirelettä. (Elovaara, Haarla 2011, Piironen 2015)

Siirto johdon varasuojana käytetään käänteisaikahidastettua ylivirtarelettä. Käänteisaikahidasteinen ylivirtarele toimii nopeudeltaan käänteisesti vikavirran suuruuteen verrattuna eli mitä suurempi vikavirta, sitä nopeampi laukaisu. Käänteisvaikutuksen jyrkkyydelle on olemassa erilaisia virtalaukaisun nopeuskäyriä. Releen laukaisu pyritään ajoittamaan hidastuksella johdon alkupään vioissa yleensä distanssireleen toisen vyöhykkeen ajalle ja

loppupään vioissa kolmannelle vyöhykkeelle. Jos 110 kV:n säteisjohdolla ei ole suuria voimalaitoksia tai välikatkaisijoita, voidaan distanssisuojaus korvata pelkästään ylivirtasuojauksella. (Elovaara, Haarla 2011)

110 kV:n sähköverkko on maadoitettu vain osalta asemien päämuuntajien tähtipisteistä, joten selektiivisyyden takaamiseksi maasulkusuojauksessa siirtojohtoilla on käytössä herkkä suunnattu maasulkurele. Rele pääättelee vian suunnan samalla lailla laskemalla vaihekulman, kuin distanssireleen tapauksessakin. Herkän maasulkusuojauksen asettelu määräytyy 500Ω :n vikaresistanssin arvon mukaan. Selektiivisyyden saavuttamiseksi maasulkureleiden laukaisuajat porrastetaan maadoituspaikkojen välillä. (Elovaara, Haarla 2011)

5.4.3 20 kV:n keskijännitejohtojen relesuojaus

Suuri osa sähkönjakeluverkosta on sijoitettuna toimintaympäristöä ajatellen epäedullisiin paikkoihin, kuten metsään tai muun infrastruktuurin lähelle, jolloin jakeluverkko on äärimmäisen alttiina ympäristöstä johtuville vioille. Valtaosa sähkönkäyttäjien kokemista jakelun keskeytyksistä johtuu keskijännitejakeluverkon häiriöistä ja siksi keskijännitejohtolähtöjen relesuojaus on tärkeässä roolissa sähkönjakelun häiriöiden keston ja määrän, sekä ihmisten turvallisuuden kannalta. Toinen tärkeä toimenpide keskijännitevikojen vähentämiseksi on tällä hetkellä jakeluverkkoyhtiöiden tekemä maakaapelointi ja muut keskijännitejakelun toimitusvarmuutta parantavat toimenpiteet, kuten reunapuiden hakkuu, johtojen tien varsille siirtäminen saneerattavissa kohteissa metsäisillä alueilla ja erotus, sekä suojauslaitteiden määrän lisääminen verkossa suojausalueiden pienentämiseksi. Ideana edellisissä toimenpiteissä on ilmastosta ja ympäristöstä johtuvien vikojen vähentäminen ja sähkön toimitusvarmuuden tason nostaminen keskijännitejakelussa. Tätä toimintaa valvoo ja säätelee Suomessa Energiavirasto. (Lakervi, Partanen 2008, Energiavirasto 2015)

Keskijänniteverkko on joko maasta erotettu tai sammutuskuristimen kautta sammutettu ja sitä käytetään normaalitilanteessa säteittäisenä, vaikka se onkin osin silmukoitu. Keskijänniteverkon oikosulkusuojaus perustuu ylivirtareleen toimintaan ja maasulkusuojaus maasulkureleen toimintaan. Keskijännitekojeistoissa on yleensä myös valokaarireleet kojeistosuojana. Näiden releiden toimintamekanismit on käyty jo edellä muuntajan ja 110 kV:n johtojen suojauksen yhteydessä läpi. Suojalaitteet kuten suojareleet, mittamuuntajat ja katkaisijat on sijoitettu asemilla

keskijännitekojeistoihin ja verkossa suojauslaitteita, kuten maastokatkaisijoita on vähän. (Lakervi, Partanen 2008)

Oikosulkusuojauksena käytetään keskijänniteverkossa vakioaikaylivirtarelettä, joka on varustettu hetkellislaukaisulla johtolähtösuojaan ja aseman 20 kV:n pääkatkaisijassa suurella oikosulkuvirralla. Hetkellislaukaisutoiminnon tarkoituksena on varmistaa suurivirtaisten vikojen vaikutusten minimointi sähköaseman lähellä johtolähdössä tai kisko-oikosulussa. Hetkellistoiminnon tavallinen asetteluraja on muutaman kiloampeerin ja aseman pääkatkaisijan suoja toimisi myös johtolähdöissä tapahtuvissa oikosuluissa, joten suojausten yhdistäminen ja selektiivisyys on hoidettu siten, että johtolähtösuojaan havahtuminen estää aseman 20 kV:n pääsuojan hetkellislaukaisun. Oikosulkusuojauksen on havahduttava noin kaksinkertaisella kuormitusvirralla avojohtoverkon ylikuormitustapauksessa, mutta myös johdon kauimmaisessa mutkassa kaksivaiheisessa oikosulussa. Maakaapeliverkossa johtoa voidaan kuormittaa kuormitusrajaan saakka ja valvotuissa olosuhteissa enemmänkin. Johtolähdön oikosulkusuojauksen asetteluita tehdessä on hyvä ottaa huomioon pikajälleenkytkennän jälkeinen johdon jäähtymisaika, ettei aikajälleenkytkentää tai muuta jälleenkytkentää käytetä liian nopeasti johdon riittävän jäähtymisen kannalta. (Lakervi, Partanen 2008)

Keskijänniteverkon maadoitustapa ja kuormitusvirtaakin pienemmät vikavirrat maasulun aikana vaikuttavat johtojen maasulkusuojaan. Maasulkusuojaus toteutetaan yleensä suunnatuilla maasulkureleillä, joiden vikaindikaattoreina toimivat joko virran ja jännitteen yliaallot, suurtaajuiset muutosvirrat, perustaajuinen summavirta tai perustaajuinen vaihejännitteen tai tähtipistejännitteen muutos. Esimerkiksi maasulun alkuvaiheessa esiintyy viidettä yliaaltoa. Maasulkureleen tulee havahtua vain, kun vika on sillä johtolähdöllä, jota rele suoja ja siksi maasulkusuojaus on suunnattu. Muuten galvaanisesti yhteen kytketyssä verkossa releet voisivat laueta tietynlaisessa viassa väärältä johtolähdöltä. Maasulkusuojauksen toimivuutta mietittäessä on kiinnitettävä huomiota pienimpiin nollavirtoihin ja tähtipistejännitteisiin ja toisaalta myös suurimpiin vikavirtoihin ja maasulun kestoajaan maadoitusjännitetaso kannalta sekä itsestään sammumisen kannalta. (Lakervi, Partanen 2008)

5.5 Maasulun kompensointilaitteisto

Maasulkukompensoinnin tarkoituksena on keskijännitejakeluverkossa maasulkujen kapasitiivisen virran vaikutuksen kumoaminen kompensointikelan tuottaman induktiivisen virran avulla. Maasulkulaitteistoon kuuluu tavallisesti kompensointikela, maadoitusmuuntaja ja jännitteensäätäjä. Kompensointikela kytketään, joko päämuuntajan tai erillisen maadoitusmuuntajan kautta verkon tähtipisteen ja maan väliin. Yleensä valitaan jälkimmäinen vaihtoehto, koska Suomessa 110/20 kV:n päämuuntajat ovat yleisesti YNd11-kytkettyjä, jolloin päämuuntajalta puuttuu tähtipiste toisiosista. Muita syitä ovat kytkentäryhmältään kytkettävissä olevan päämuuntajan tähtipisteen kuormitettavuuden rajallisuus ja se, että mikäli päämuuntaja vikaantuu ja viedään huollettavaksi ei sen tähtipiste ole käytettävissä. (Pesonen 2015, Isomäki 2010)

Maadoitusmuuntajan tarkoituksena on korvata päämuuntajan tähtipiste keinotekoisesti luomalla tähtipiste maadoitusmuuntajalle. Tähtipiste tuodaan muuntajan kannelle. Maadoitusmuuntaja on kytkennältään yleensä ZN-kytkentäinen muuntaja, mikäli sitä käytetään vain kompensoimistarkoitukseen, ja ZNyn-kytkentäinen muuntaja, mikäli sitä käytetään samalla sähköaseman omakäyttömuuntajana. Käytettäessä maadoitusmuuntajaa omakäyttömuuntajana, ei asemalla tarvita erikseen omakäyttömuuntajaa käyttö sähkölle. Maadoitusmuuntajan käyttö omakäyttömuuntajana vaatii omakäyttökäymityksen muuntajan toisipuolelle. Muuntajan virta on yleensä 1/3 kuristimen nimellisvirrasta. (Pesonen 2015, Isomäki 2010)

Maasulkuvirran kompensoiminen tapahtuu yleensä rautasydämisellä ja öljyjäähdytteisellä kompensointikelalla, joka kytketään maadoitusmuuntajan ensiöpuolelle kannelle tuotuun tähtipisteeseen. Kela ja muuntaja ovat erotettavissa huoltoa varten niiden välillä olevalla erottimella. Mikäli kela huolletaan ja erotin aukaistaan, niin muuttuu maadoitustilanne verkossa kompensoidusta maasta erotetuksi ja siten maasulkusuojauksen asettelut muuttuvat samalla yleensä pätovirran mittaamisesta loisivirran mittaamiseen. Kelan induktanssi on säädettävissä muuttuvien verkon kytkentöjen mukaan. Mikäli verkko on pieni ja maasulkuvirran jäännösvirta niin pieni, ettei sitä voida luotettavasti havaita verkosta ja oikeaa suojausta laukaista, käytetään usein kelan rinnalle kytkettyä vastusta kasvattamaan virtaa. (Pesonen 2015, Isomäki 2010)

Maasulkuinduktanssia säädetään kelan rautasydänten ilmaväliä muuttamalla. Virransäätöalue on tavallisesti 10–100 % nimellisvirrasta. Induktanssin säätämiseen käytetään jänniteensäätäjää, joka tarkkailee verkon nolajännitettä ja tekee toimenpiteitä siinä tapahtuvien muutosten perusteella. (Isomäki 2010)

Outokummun Energian keskijännitejakeluverkko on kompensoitu siten, että kolme neljästä päämuuntajien syöttämästä jakelualueesta on kompensoitu erillisen maadoitusmuuntajan avulla kompensointikuristimen kautta. Kuristimissa on lisävastukset verkon jäännösvirran suurentamiseksi. Maadoitusmuuntajat toimivat omakäyttömuuntajina samalla.

5.6 Akusto

Sähköasemalla varavirtalaitteistona käytetään kahdennettua akustoa. Akuston jännitettä pidetään yllä omakäyttömuuntajaan kytketyn varaajan ja tasasuuntaajan kautta. Varavirtaa tarvitaan poikkeustilanteessa, jossa sähköasemalta menetetään jostain syystä sähköt. Akustosta saatavaa virtaa käytetään asemalla tällöin verkon suojauslaitteiden ja aseman hätävalaistuksen käyttöön. Verkon suojauslaitteet, kuten releet ja katkaisijoiden ja muiden kytkinlaitteiden ohjaukset toimivat tasasähköllä. Suojauslaitteiden toiminta on varmennettu akustojen avulla, jotta suuremmilta henkilö ja omaisuusvahingoilta vältyttäisiin. Akuston nimellisjännite on tavallisesti noin 110 V, joka saadaan joukosta rinnankytkettyjä kapasiteetiltaan tavallisesti 12 voltin akkuja. (Nyström 2017, Piironen 2015, Siivonen 2007)

Outokummun Energialla on kummallakin sähköasemallaan molempien kenttien kojeistojen sähkönsaanti varmennettu 110 V tasasähköjärjestelmällä. Akut ovat avoimia 12 voltin nimellisjänniteisiä lyijyakkuja ja varaajat on kahdennettu ja varmistettu vielä aseman päämuuntajien välillä toiminnan varmentamiseksi.

6 JÄNNITETYÖVÄLINEET

Sähkötyöturvallisuuden takaamiseksi suomalainen SFS 6002 standardi asettaa normit sekä antaa yleisiä ohjeita ja velvoitteita jännitetöissä käytettävistä työvälineistä sekä vaatetusvarustuksesta ja näiden huollosta. Standardi velvoittaa, että työssä käytettävien työkalujen ja varusteiden on täytettävä niistä määräävien standardien vaatimukset, mikäli standardeja on sovellettavissa. Standardit SFS-EN 61243-1 ja SFS-EN 61230 asettavat vaatimukset yli 1 kV:n kapasitiivisille jännitteenkoettimille ja työmaadoitusvälineille.

Työkalujen ja varusteiden käytöstä sähkötyöturvallisuusstandardissa ohjataan toimimaan valmistajan ohjeiden mukaan. Lisäksi sanotaan, että työkalujen ja muiden varusteiden on oltava tehty niiden käyttöä vastaavaa tarkoitusta varten ja ne on pidettävä käyttökunnossa. Standardissa sanotaan varusteiden käyttökunnossa pitämisestä, että niille on tehtävä määrävälein sekä korjaus tai muutostöiden jälkeen aistinvaraisia tarkastuksia ja tarvittavia sähköisiä testauksia. Sähkölaitteiston käyttöön tai työhön tarkoitetut laitteet on säilytettävä oikein. Tässä kappaleessa käydään läpi jännitteenkoettimet ja maadoitusvälineet. (SFS 6002 20015)

6.1 Jännitteenkoetin

Jännitteenkoetin määritellään standardissa 6002 seuraavalla tavalla: ”siirrettävä laite, jota käytetään tunnistamaan luotettavasti käyttöjännitteen läsnäolo tai poissaolo, ja jota käytetään varmistamaan asennuksen olevan valmiina työmaadoitettavaksi”. Outokummun Energialla on käytössään jännitteenkoettimia sekä sähköasemilla, että työajoneuvoissa.

Yli kilovoltin vaihtojännitteille tarkoitetut koettimet ovat kapasitiivisia. Kapasitiivisen jännitteenkoettimen vaatimukset määritellään standardissa SFS-EN 61243-1. Kapasitiivisten jännitteenkoettimien toiminta perustuu maan ja koettimen jännitteisen osan välisen hajakapasitanssin kautta kulkevan virran mittaukseen kosketettaessa koettimella jännitteistä osaa. Koettimessa on jatkuva, selkeä ja luotettava osoitin kohteen jännitteellisyydestä tai jännitteettömyydestä. Toimintakunnon tarkastamiseksi laitteessa voi olla myös erillinen koetin sisäänrakennettuna. Tarkemmat ohjeet laitteen kunnon testaamisesta annetaan valmistajan huolto-ohjeessa. (Knuutinen 2017, SFS-EN 61243-1 2006)

Mekaanisilta ominaisuuksiltaan jännitteenkoettimessa ovat ilmaisin, eristinosa ja kosketuskärki tai pelkästään ilmaisin ja kosketinkärki, jolloin koetinta käytetään yhdessä eristyssauvan kanssa. Sähköisenä vaatimuksena koettimen on oltava oikosulkuturvallinen, eikä se siten saa aiheuttaa läpilyöntiä jännitteisten osien ja maan välillä tai jännitteisten osien ja jännitteisten osien välillä. Laitteen on kestettävä toimintakuntoisena pienet kipinäpurkaukset. Kosketinkärjen rakenteesta riippuen koettimet jaetaan käyttöluokkiin S, jolloin kosketinkärjessä ei ole jatketta ja L, jolloin kosketinkärjessä on jatke. Koettimen ilmaisinosassa tulee olla edellinen merkintä ja sen lisäksi muitakin merkintöjä laitteen käyttöön liittyen. Tärkeimmät merkinnät lienee käyttöjännitealue, käyttöluokitusmerkintä, nimellistaajuus ja soveltuuko laite sisä- vai ulkokäyttöön. Ilmaisinosassa on rajamerkintä, mihin asti koettimen voi laittaa jännitteisten osien väliin. (Knuutinen 2017)

6.2 Siirrettävät työmaadoitusvälineet ja oikosulkuvälineet

Työmaadoitusvälineet määritellään standardissa 6002 seuraavasti: ”siirrettävä laite, joka kiinnitetään käsin eristävillä välineillä sähköjärjestelmän osiin maadoittamista ja oikosulkemista varten” Lisäksi standardissa on erikoishuomiona, mitä osia työmaadoituslaitteisto pitää sisällään: ”Tähän laitteeseen kuuluvat osat maadoittamiseen ja oikosulkemiseen ja yksi tai useampi eristävä osa, esim. työmaadoitussauva.” Työmaadoitusvälineiden tekniset vaatimukset asetelleen standardissa SFS–EN 61230. Työmaadoitusvälineitä on sähköasemilla ja työajoneuvoissa.

Suomessa suurjännitteillä käytetään yksivaiheisia ja keski- sekä pienjännitteillä kolmivaiheisia työmaadoitusvälineitä. Sähköisiltä ominaisuuksiltaan maadoitusvälineiden on kestettävä niiden mitoitusoikosulkuvirta mitoitussajalla ja virran jouleintegraali. Maadoitusjohtimien ja oikosulkukiskojen materiaali on alumiinia, kuparia tai alumiiniseosta. Johtimien eristyksen tulee suojata johtimia mekaanisilta ja kemiallisilta rasituksilta ja toisaalta eristyksen tulee olla taipuisa ja kestää myös itse kulutusta. Johtimien liitinosien eli kaapelikenkien, haaroituskappaleiden, pääteliittimien ja puristusholkkien virtakestoisuuden tulee olla vähintään johtimen virtakestoisuuden tasolla, ettei yhdistettäessä liittimet sula. Liittimet ovat yleensä ruuvikiristeisiä, mutta poikkeuksena voi olla myös jousi- tai painovoimakiristeisiä. Liittimien tärkeimpiä ominaisuuksia on väsymiskestoisuus. Maadoitusvälineissä tärkeimpiä merkintöjä ovat mitoituksvirta, väliaineen tyyppi ja liittimien tyyppi. Ohjeet huollosta ja kunnossapidosta annetaan kunkin työvälineen valmistajan ohjeessa. (Knuutinen 2017, SFS–EN 61230 2009)

7 NYKYTILA–ANALYYSI JA KUNNOSSAPITOTARKASTUSTEN PERUSTEET

Outokummun Energian kunnossapitosuunnitelma on hajanainen, koostuu monesta eri osiosta ja viimeisin päivitys kunnossapitosuunnitelmaan on tehty vuonna 2014, jolloin sitä on jatkettu muutamalla vuodella eteenpäin. Sähköaseman komponenttien kunnossapito–ohjeet on tehty yhtiölle ulkoisen palveluntuottajan toimesta tätä aikaisemmin, eikä niitä ole päivitetty verkon komponenttien uusiutuessa. Lisäksi parin viime vuoden aikana yhtiön henkilöstössä on tapahtunut paljon muutoksia, minkä seurauksena yhtiön oman jakeluverkon tietämys on merkittävästi pienentynyt ja esimerkiksi yhtiön kaikkien verkon komponenttien käyttöönottoajat ja nykyinen huoltotilanne eivät ole tiedossa.

Suunnitelman toimivuuden tarkastelua ja nykytilan analysointia varten perehdyttiin yhtiön aikaisempaan kunnossapidon toteutukseen pääosin verkostotyönjohtajan ja verkostopäällikön kanssa käytyjen keskustelujen kautta, sekä tutkimalla, mitä aineistoja yhtiön sen hetkinen kunnossapitosuunnitelma ja komponenttien kunnossapito–ohjeistus pitävät sisällään. Lisäksi tarkasteltiin tehtyjä huoltoraportteja kunnossapidon tarkastuksista, sekä tietoa saatiin myös yhtiön entiseltä verkostopäälliköltä. Huoltoraportteja ovat täyttäneet vuosien varrella eri ihmiset vaihtelevilla tavoilla, mikä luo epävarmuutta tutkimuksen tuloksiin sen ohella, että kaikkia raportteja ei ole myöskään saatavilla. Epävarmuus syntyy esimerkiksi siitä, että tarkastuksen suorittaja on voinut vian havaitessaan suorittaa korjaavan toimenpiteen saman tien ja jättää vian kokonaan kirjaamatta, jolloin vika ei näy lopullisessa raportissa.

Perusteet huoltotoimenpiteille ja niiden ajoituksille saadaan käytännössä laitteiden huolto–ohjeista, sähkösuunnittelijan antamista huolto–ohjeista tai perustuen aikaisempaan kokemukseen ja tietoon. Tässä kappaleessa tarkastellaan verkon nykytila–analyysin lisäksi valmistajien komponenteille antamia huolto–ohjeita, aihepiirin tutkimustuloksia ja asiantuntijoiden näkemyksiä komponenttien huollosta.

7.1 Sähköaseman kuukausi- ja vuositarkastukset

Sähköasemien kuukausitarkastukset tehdään Outokummun Energian omalla henkilökunnalla. Kerran vuodessa kuukausitarkastukset on tehty vuositarkastuksena ulkopuolisen palveluntuottajan toimesta. Normaalit kuukausitarkastukset on hoitanut tähän asti yksi asentaja, joka on koulutettu tarkastusten tekemiseen, mutta tällä hetkellä yhtiössä ei ole tarkastuksiin koulutettua henkilöä. On päätetty, että jatkossa yhtiön sähköasemien kuukausitarkastukset on tarkoitus kierrättää useammalla eri henkilöllä, kunhan koulutukset saadaan järjestettyä. Tällä järjestelyllä pyritään tiedon ja käytännön osaamisen hajauttamiseen yhtiössä useammalle eri henkilölle, jolloin esimerkiksi henkilövaihdoksesta tai sairastapauksesta johtuen tilanne ei etene siihen, ettei henkilöstö pysty suorittamaan tarkastuksia.

Tarkastukset tehdään pääosin visuaalisesti ja joitain mittauksia sekä testejä suorittamalla. Tarkastuksissa tarkoituksena on ennaltaehkäistä vakavien vikatilanteiden syntymistä sekä havaita esimerkiksi jännitetyökaluissa tai muissa järjestelmissä esiintyvät puutteet ja toimintavirheet, joita ei muuten valvontajärjestelmällä pystytä havainnoimaan. Tarkastuksen kohteena ovat sähköturvallisuuden ja käyttökeskeytysten minimoinnin kannalta keskeisimmät komponentit.

Kuukausitarkastuksiin kuuluu pääpiirteissään sähköaseman valvomotaulun hälytysten ja ohjausten tarkastus sekä kuittaus, ohjeiden ja kaavioiden saatavuuden tarkastus ja jännitetyökalujen toimintakunnon kokeilu ja tarkastus, 20 kV:n kojeistojen puhtauden, ehjyyden ja toimivuuden silmämääräinen tarkastus sekä katkaisijoiden toimintakertojen kirjaaminen, apusähköjärjestelmän tarkastus ja akustojen jännitteenmittaukset, sekä akkuhuoneen lämpötilan tarkastus, 110 kV:n kytkinlaitoksen laitteiden silmämääräinen tarkastus ja katkaisijoiden toimintakertojen kirjaaminen sekä alueen aidoituksen ja porttien tarkastaminen. Kaikki tarkastettavat kohteet ja niissä ilmenevät puutteet merkataan kirjatuiksi olemassa olevaan tarkastuslistaan.

Eri päämuuntajiin liittyvät laitteet ovat omilla tarkastuslistoillaan, ja asemat ovat laitteistoiltaan melko yhteneväiset. Tarkastuslistat ovat toimivia, mutta vaativat joidenkin komponenttien osalta päivittämistä. Esimerkiksi kolme neljästä päämuuntajien syöttämästä keskijännitealueesta on varustettu vuoden 2016 kesäkuusta lähtien maasulun sammutuslaitteistoilla, joissa on maadoitusmuuntajan toisiopuolella omakäyttömuuntajan ulosotto. Tarkastuslistoissa on vielä vanhastaan merkinnät omakäyttökeskuksen tarkastuksesta. Vanhat omakäyttökeskukset ovat

olleet sisäkojeiston osana, mutta nykyiset omakäyttömuuntajat ovat osa maasulun kompensointilaitteistoa, ja niiden tarkastuksia ei ole vielä eritelty sähköaseman kuukausitarkastuslomakkeisiin. Toisella sähköasemalla sijaitsevat jännitemuuntajat puuttuvat kokonaan tarkastuslistalta. Niiden tarkastus kuuluu työnjohtajan mukaan kausittaistarkastuksiin, mutta erillistä dokumentaatiota tarkastuksista ei ole saatavilla.

Kuukausitarkastusten raportteja löytyi kattavasti vuodesta 2005 vuoteen 2014 saakka joka asemalta. Raporteissa oli paljon merkintöjä sähköasemilla esiintyneistä puutteista ja laiterikoista. Vikakirjaukset liittyivät tyypillisesti akkujen nestepintojen vajaukseen, omakäyttömuuntajan öljyvuotoihin, valaistuksen lamppujen palamiseen ja lämmitysvastusten toimimattomuuteen.

7.2 Lämpökuvaukset

Outokummun Energia on teettänyt sähköasemien lämpökuvaukset vuoden 2017 syksyyn saakka ulkopuolisella palveluntarjoajalla, joka on tehnyt kuvaukset kunnossapitosuunnitelman mukaisesti kahden vuoden välein sähköasemilla. Lämpökuvauksia on suoritettu sähköasemille, erotinasemille, jakelumuuntamoille ja keskijänniteverkon päätteille. Kaikista kohteista oli saatavilla yksi yhtenäinen lämpökuvausraportti vuodelta 2009, josta selvisi, että kuvauksissa ei ollut sillä kuvauskerralla löytynyt raportoitavaa sähköasemilta.

Kuvauksien tekeminen on tästä syksystä lähtien siirretty yhtiön oman henkilöstön tehtäväksi ja kuvauksien tekemiseen koulutetaan kahdesta kolmeen henkilöä. On päätetty, että kuvauksia aletaan tekemään kolmen kuukauden välein sähköasemilta löytyville komponenteille. Asemilla aletaan kuvaamaan kaapelipäätteet, päämuuntajien navat, katkaisijat, virtamuuntajat, kiskostot ja akusto sekä lämpökuvauksien avulla todetaan ulkokytkinkentän komponenttien lämmitysten toimivuus.

7.3 110 kV katkaisijat

110 kV:n kojeistokentissä on SF₆-katkaisijoita ja vähäöljykatkaisijoita. Outokummun Energian SF₆-katkaisijat ovat malliltaan ABB:n LTB katkaisijoita moottorijousiohjaimilla ja ne ovat vuosimalleja 1991 ja 2013. Vähäöljykatkaisijat ovat ASEA:n, (nyk. ABB), HLD katkaisijoita moottorijousiohjaimella vuosimallia 1970 ja Sprecher & Schuh HPF-tyyppisiä moottorijousiohjattavia katkaisijoita vuosimallia 1981.

Outokummun Energia teettää 110 kV:n katkaisijahuollot ulkopuolisella palveluntarjoajalla, koska sillä itsellään ei ole henkilöstöresursseja eikä tarvittavaa osaamista tarkempien, kuin aistinvaraisten tarkastusten suorittamiseksi. Huollot suoritetaan jännitteettömässä tilassa. Katkaisijoiden huollot on eritelty kunnossapitosuunnitelmassa kenttäkohtaisesti, sillä kentässä on aina malliltaan ja valmistusvuodeltaan samanlaiset katkaisijat.

Huoltohistoria näkyy huoltosuunnitelmasta vuoteen 2006 saakka ja sillä aikaa merkintöjä huollon toimenpiteistä löytyy yksi kappale. Kyseinen kunnossapitotoimenpide on suoritettu käytön yhteydessä havaitulle vialle. Vian seurauksena katkaisija ei pysynyt kiinni sitä ohjattaessa, joten verkon käytön turvallisuuden kannalta vika oli melko vakava ja se oli korjattu nopeasti raportin mukaan. Vika oli luonteeltaan valmistajan ilmoittama tyyppivika. Muita merkittäviä tapahtumia kunnossapitotiedoista ei kirjallisena löytynyt. Haastattelemalla yhtiön eläköitynyttä verkostopääällikköä selvisi, että kaikille katkaisijoille on tehty peruskunnossapitoa huoltojen muodossa, eikä mainittavia vikoja ole, lukuun ottamatta raportoitua, ollut.

Huolto-ohjelman mukaan SF₆-katkaisijoille tehdään lähtökohtaisesti kolmen vuoden välein tarkastushuolto ja kuuden vuoden välein perushuolto. Mikäli viimeisimmän huollon jälkeen on tullut useita satoja toimintoja tai lähellä kiskoa tapahtunut useita raskaita katkaisuja, tehdään aina perushuolto. Käytännössä myös vähäöljykatkaisijoille yhtiö teettää huollot pelkästään perushuoltona noin kuuden vuoden välein, jolloin tarkastusaikataulu pysyy samana kaikilla katkaisijoilla.

7.3.1 110 kV:n katkaisijoiden huolto- ja kunnossapitoperusteet

Outokummun Energian SF₆-katkaisijat ovat ABB:n laitteistoa. Valmistajan ohjeiden mukaan SF₆-katkaisijoille on hyvä tehdä visuaalinen tarkastus 1–4 vuoden välein, jolloin tarkastetaan katkaisijan ulkoisten osien, kuten eristimen ja ohjaimen kunto ja korroosioauriot sekä kaasun paine ja lämmityselementin toiminta. Mittaava huolto on suositeltavaa tehdä noin 12–14 vuoden tai 5000 toimintakerran välein. Siinä edellisten toimenpiteiden lisäksi tehdään mittaavia tarkastuksia katkaisijan toiminnasta ja eristyksen ehjyydestä, tarkastetaan kaasun soveltuvuus ja huolletaan ohjain. Katkaisijan elinkaaren puolivälissä on suositeltavaa tehdä perushuolto noin 30 vuoden tai 10000 toimintakerran jälkeen. Perushuollossa katkaisijalle tehdään sen kunnosta riippuen toimenpiteitä katkaisijan eliniän pidentämiseksi. (ABB 2014, ABB Strömberg 1991)

Kun huolto-ohjelmaa tehdään, on hyvä ottaa huomioon myös kokemukseen perustuva materiaali, jolloin saadaan tehtyä huolto-ohjelmasta kohteeseen ja yhtiölle soveltuvin mahdollinen. Outokummun Energialla on tällä hetkellä hyvin vähän omaan kokemukseen pohjaavaa materiaalia, joten tässä tarkastelen ABB:n huoltoyksikön asiantuntijan lausuntoja sekä Kuosan (2007) diplomityötä, jossa on tutkittu kantaverkon katkaisijoiden vikataajuuksia ja vikojen riippuvuutta laitteen iästä.

ABB:n huolto- ja kunnossapitoyksikön asiantuntija suosittelee katkaisijoilleen tehtäväksi samanlaisia tarkastuksia ja huoltotoimenpiteitä kuin ohjekirjoissa. Huoltosuositukset ovat muuten vastaavanlaiset, kuin ohje-kirjoissa, mutta mittaavaa huoltoa suositellaan tehtäväksi useammin eli noin 5–8 vuoden välein, koska kokemuksen perusteella on huomattu sen olevan sopiva väli. Asiantuntijan mukaan laitteen huoltokirjoissa mainittu huoltoväli on liian pitkä katkaisijoissa sattumanvaraisesti esiintyvien vikojen havainnointiin nähden ja mahdollisuus turvallisuusriskin tapahtumiseen suurempi. Tässä on kuitenkin hyvä myös miettiä huoltovälin järkevyyttä laitteen toimintakertojen ja toimintaympäristön mukaan, kuten ohjeissa sanotaan. Lisäksi laitteen elinkaaren puolivälin perushuolto suositellaan tehtävän jo 20–25 vuoden välillä, mutta tietenkin laitteen kunnosta riippuen. (Korhonen 2017)

Yhtiöllä on kahden eri valmistajan vähäöljykatkaisijoita. Sprecher & Schuh-tyyppisille katkaisijoille suositellaan huolto-ohjeessa tehtävän tarkastuksia kuukausittain, joka 2–3 vuoden välein, 2500 toimintakerran välein, 8–12 vuoden tai 5000 toimintakerran välein. Kuukausitarkastukset ovat visuaalisia öljynkorkeustarkastuksia. 2–3 vuoden välein suoritettavat tarkastukset sisältävät kosketintarkastukset, öljysakan poiston ja öljyanalyysin sekä ohjaimen voitelun. 2500 toimintakerran välein ohjaimen kiristys ja koskettimien säädön. Joka 8–12 vuoden tai 5000 toimintakerran välein suoritettavan tarkastuksen on suositeltu sisältävän mekaaniset tarkastukset, öljynvaihdon, sammutuskammioiden tarkastuksen ja säädön. (S & S 1969)

Asean HLD-tyyppiset katkaisijat ovat vanhimpia katkaisijoita, mitä Outokummun Energialla on käytössään. Katkaisijat ovat aseman alkuperäiset ja ne ovat olleet käytössä vuodesta 1970 saakka. Katkaisijan huolto-ohjeessa sanotaan, että katkaisijalle on hyvä tehdä tarkastus joka kolmas vuosi ja puhdistaa katkaisijan pinta roskista pari kertaa vuodessa. Katkaisijan liukupinnat on hyvä voidella ja ohjaimen hammasrattaat on hyvä voidella noin 500 käyttökerran välein sekä myös koskettimet tarkastaa samaan aikaan tai useiden raskaiden katkaisujen jälkeen.

ABB:n huolto- ja kunnossapitoyksikön asiantuntija suosittelee tämäntyyppisten vähäöljykatkaisijoiden huollon kokonaan poisjättämistä ja katkaisijoiden vaihtamista uusiin. Esimerkiksi Sprecherin vähäöljykatkaisijoissa tiedetään olevan vanhemmiten tyyppivikana piilevää tukieristimien katkeilua, joka voi aiheuttaa hengenvaarallisia vikatilanteita työskennellessä katkaisijan kanssa samalla kytkinkentällä. Toisaalta myös varaosatilanteen tiedetään olevan heikko kyseisille katkaisijatyypeille, koska niiden osien valmistaminen on jo lopetettu. (Korhonen 2017)

Kuosan (2007) tutkimuksessa käsiteltävät katkaisijat on jaoteltu tyypeittäin kantaverkossa käytössä esiintyvien katkaisijoiden mukaan. Myös yhtiöllä on suurjännitekatkaisijoina tutkittuja katkaisijoita käytössä. Tutkimuksessa on koostettu Fingridin katkaisijapopulaation vikatiedoista taulukon 7–1 mukaiset tiedot ilmenneistä vioista tarkasteluvuosilta 2000–2006.

Taulukko 7-1 Katkaisijoiden keskimääräiset vikataajuuden Fingridin verkossa. (Kuosa 2007)

Tyyppi	Vikataajuus [1/a]			MTBF [a]			Laitteiden keski-ikä [a]
	Major	minor	M+m	Major	minor	M+m	
HGF	0,006	0,057	0,063	169	18	16	17
HPL	0,008	0,068	0,076	129	15	13	13
LTB	0,002	0,037	0,039	450	27	25	6
S1-123F1	0,028	0,189	0,217	36	5	5	6
3AP/Q	0,005	0,005	0,009	217	217	109	6
GL	0,029	0,016	0,044	35	63	23	3
ELF SL	0,037	0,355	0,392	27	3	3	22
8DN8	-	0,054	0,054	-	18	18	16
FG	0,016	0,089	0,106	61	11	9	15
FA1	0,008	0,230	0,238	126	4	4	29
ELK SL	0,012	0,179	0,190	84	6	5	19
LSEP145	-	0,051	0,051	-	20	20	10
HPF	0,009	0,174	0,183	115	6	5	32
HLR	0,018	0,107	0,125	56	9	8	26

Viat on jaoteltu niiden merkittävyyden kannalta välittömiä toimenpiteitä vaativiin Major-tyyppisiin vikoihin ja lieviin ei välittömiä toimenpiteitä vaativiin Minor-tyyppisiin vikoihin. Taulukossa on eritelty katkaisijatyypin mukaan kaikki viat yhteensä ja niistä erikseen on ilmoitettu esiintyneiden Major-vikojen määrä, vikataajuus ja Minor-vikojen määrä. Sen jälkeisissä sarakkeissa on esitetty keskimääräiset ajat eri vikatyypien vikaantumisväleille ja keskimääräiset ikätiedot. Taulukosta pystyy selkeästi katsomaan, että vikojen määrä on todella vähäinen ja

vikataajuus jää hyvin pieneksi LTB–tyypin kaasukatkaisijoilla, mitä Outokummun Energiallakin on käytössään. Toisaalta Kuosan mukaan tämän tyypin katkaisijoiden kohdalla epävarmuutta tutkimustuloksiin lisää katkaisijoiden nuori keski-ikä. Taulukosta nähdään myös HPF–tyyppisten vähäöljykatkaisijoiden keskimääräiset vikataajuudet, joista etenkin Minor–vikojen taajuus on huomattavasti suurempi kuin kaasukatkaisijoilla.

Kuosa on tutkinut myös katkaisijan iän vaikutusta katkaisijassa todettujen vikojen määrään nähden. Tutkimuksen tuloksena on saatu, että kaasukatkaisijoilla ei ole havaittavissa iän ja vikojen määrän välillä yhteyttä ensimmäisen kahdenkymmenen käyttövuoden aikana, jolta tarkastelumateriaalia on ollut käytettävissä tutkimukseen. Vähäöljykatkaisijoilla sen sijaan kaikkien vikojen määrän ja katkaisijoiden iän välillä on huomattavissa loppupäätä kohden käyrässä nouseva yhteys vikojen määrän kasvun muodossa 35 vuoden tarkasteluajalla, jolloin vikataajuus olisi jopa liki 30 prosenttia. (Kuosa 2007)

7.4 110 kV erottimet

Outokummun Energialla on suurjännitekentissä vanhoja, pääosin 1970 luvun Strömbergin OJYD 3–tyyppisiä erottimia, ja myös muutamia uudempia 2010 luvun ABB:n NSA- ja SGF–tyyppisiä erottimia. Asematarkastuksiin lasketaan mukaan myös 110 kV:n linjan haaroituskohdissa olevat erottimet, joita on kuusi kappaletta.

110 kV:n erottimien tarkastukset tehdään ulkopuolisen palveluntuottajan toimesta. Erottimien huoltoväli on määritetty kunnossapitosuunnitelmassa tehtäväksi kuuden vuoden välein. Käytännössä huollot tehdään sopivien katkojen aikaan noin 5–8 vuoden välein. Vaikka huoltojen kannalta sopivia katkoja ei sattuisikaan, erottimet täytyy kytkeä aina jännitteettömiksi huoltoa suoritettaessa. Muutamien löytämieni tarkastuspöytäkirjojen mukaan tarkastuksien ja huoltojen yhteydessä ei ole ollut erottimien toiminnoissa eikä kunnossa ollenkaan poikkeavuuksia.

7.4.1 110 kV:n erottimien huolto- ja kunnossapitoperusteet

Yhtiöllä on enimmäkseen Strömbergin OJYD–tyyppisiä erottimia ja myös kuusi kappaletta uudempia ABB:n erottimia. Laitteiden huolto–ohjeet ovat jotakuinkin samansisältöiset ja hyvin lyhyet. Erottimessa huollettavaa ovat yleensä vain virtatiet ja ohjain: Liukupintojen ja laakereiden voitelua, sekä virtateiden tarkastusta ja puhdistamista suositellaan tehtäväksi 5–6 vuoden välein (ABB 2003, Strömberg 1965).

ABB:n huolto- ja kunnossapitoyksikön asiantuntija suosittelee oman kerätyn aineistonsa ja huoltokokemuksensa perusteella kaikentyyppisille erottimille huoltoa noin viiden vuoden välein. Huollossa tärkeimpiä toimenpiteitä ovat virtateiden puhdistaminen ja ohjaimen huolto sekä koestus. Huollon ajoittamista näin perustellaan lähinnä erottimen ohjaimen mahdollisella kangistumisella korroosion seurauksena ja tällaisella huoltovälillä pystytään reagoimaan nopeammin ja havainnoimaan paremmin tällaiset tapaukset. Erottimille ei ole tarpeellista tehdä katkaisijoille vastaavaa isompaa huoltoa niiden käyttöiän puolivälissä. Ohjaimen ja virtateiden kunto määräävät pitkälti erottimien käyttöiän. Virtateiden uudelleenpinnoittamista erottimien käyttöiän jatkamiseksi ei kuitenkaan tehdä, koska kustannukset ovat uuden erottimen hankintahinnan luokkaa ja siinä tapauksessa kannattaa ostaa jo uusi. (Korhonen 2017)

Koska Outokummun Energiolla ei ole kovin paljoa omaan kokemukseen perustuvaa aineistoa erottimienkaan huollosta, tarkastelen tässä lisäksi Kuosan (2007) diplomityötä, jossa hän on tutkinut katkaisijoiden ohella myös Fingridin erotinpopulaation vikaantumista ja iän vaikutusta vikojen esiintymistäajuuteen. Taulukossa 7-2 on esitetty erottimien keskimääräiset vikataajuudet erotintyyppin mukaan lajiteltuna.

Taulukko 7-2 Erottimien vikataajuudet Fingridin verkossa 1993–2006. (Kuosa 20007)

Tyyppi	Vikataajuus [1/a]			MTBF [a]			Laitteiden keski-ikä [a]
	Major	minor	M+m	Major	minor	M+m	
OJYD	0,0009	0,0136	0,0148	1096	74	67	26
SSB	0,0032	0,0120	0,0152	311	84	66	8
OJYW	0,0009	0,0114	0,0123	1096	88	81	23
UEV	0,0038	0,0521	0,0559	265	19	18	31
OJYC	0,0023	0,0287	0,0287	426	35	35	31
GSSB	0,0020	0,0233	0,0253	502	43	39	8
TPF	0,0054	0,0374	0,0428	185	27	23	29
D300	0,0018	0,0133	0,0151	564	75	66	7
OJON	0,0051	0,0110	0,0147	197	91	68	33
FV	0,0112	0,0478	0,0590	89	21	17	30
SGF	-	0,0415	0,0415	-	24	24	4
VSSB	0,0047	0,0220	0,0267	212	46	37	4
UEA	0,0111	0,1022	0,1133	90	10	9	46
NPP	0,0013	0,0196	0,0209	742	51	48	31
TSF	0,0017	0,0256	0,0273	588	39	37	25
TVF	0,0250	0,0250	0,0536	40	40	19	30

Taulukosta nähdään vikataajuuden olevan hyvin pieni OJYD–tyypin erottimille. SGF–tyypin erottimille on vielä varhaista sanaa, kuinka vikataajuudet tulevat kehittymään, koska tarkasteltavan joukon keski–ikä on todella pieni eli erotinkanta on ollut tilanteessa verrattain uusi. Erottimien ikääntymisen vaikutusta havaittuihin vikoihin on myös tutkittu ja tuloksena on saatu, että erottimien vikataajuus on hyvin tyyppikohtainen tai muutoin satunnainen, mutta se pysyy keskimäärin suunnilleen samana myös iän myötä. Keski–iän ollessa kolmenkymmenen vikataajuus olisi noin 0,041 vikaa per laitevuosi.

7.5 110 kV:n mittamuuntajat

Outokummun Energian 110 kV:n mittamuuntajat ovat käyttöikänsä nuoria ja suurin osa mittamuuntajista on uusittu vuosien 2010 ja 2013 välillä. Vanhimmat käytössä olevat mittamuuntajat ovat kuitenkin alkuperäisiä 1970–luvun alusta. Mittamuuntajat tarkastetaan aistinvaraisesti joka kuukausitarkastusten yhteydessä, ja mittaavat huollot suorittaa ulkopuolinen palveluntarjoaja. Mittaavat huollot tehdään aina jännitteettömään kenttään. Tarkastuspöytäkirjoissa ei ollut merkintöjä havaituista vioista tai ongelmista, mitä voi odottaakin laitteiden nuorehkon iän ja tähän mennessä vähäisten tarkastusten määrän vuoksi.

Kunnossapitosuunnitelma ulottuu vuoteen 2016 saakka, jolloin suunnitelmassa on ollut mittamuuntajien eristysvastusmittaushuolto. Viimeisin huolto on verkostotyönjohtajan mukaan tehty. Huollossa ei ole löytynyt mainittavia tuloksia. Huoltovälinä on kolme vuotta ja joka toinen huolto on pelkkä tarkastushuolto ja joka toinen on eritysvastusmittaushuolto. Jälkimmäinen huolto on laajempi kokonaisuus, kuin pelkkä tarkastushuolto, mutta kunnossapitosuunnitelma ei sen tarkemmin erittele tarkastusten sisältöä. Sisältö ostetaan ulkoiselta palveluntarjoajalta ja riippuu siten siitä.

7.5.1 110 kV:n mittamuuntajien huolto- ja kunnossapitoperusteet

Yhtiöllä on useamman valmistajan 100 kV:n mittamuuntajia, mutta valmistajasta riippumatta niille on ominaista minimaalinen huollon tarve niiden rakenteesta johtuen. Osa valmistajista sanoo virtamuuntajien olevan käytännössä kokonaan huoltovapaita, kun taas toisille laitteille on suositeltavaa tarkastaa säännöllisesti öljyn määrä ja vuodot sekä eristimen kunto silmämääräisesti ja eristysvastusmittauksella. Eristysvastusmittaus suositellaan aloitettavan tehtäväksi 15–20

käyttövuoden jälkeen noin vuoden välein. Samalla huoltovälillä suositellaan öljynäytteen ottamista eristysöljyn käyttökelpoisuuden varmistamiseksi. (ABB 2006, Artech 2017)

ABB:n huolto- ja kunnossapitoyksikön asiantuntija suosittelee mittamuuntajista kerätyn aineiston ja kokemuksen perusteella huoltoa noin viiden vuoden välein. Huoltoon kuuluu tärkeimpänä osana eristysvastusmittaus ja öljyvuotojen tarkastukset sekä liittimien kireyden tarkastaminen ja tietenkin mittamuuntajan puhdistaminen ulkoisista roskista. Avaavaa tarkastusta ei ole tarpeellista suorittaa kuin poikkeustapauksissa, esim. epäiltäessä vikaa öljyn ominaisuuksissa, koska mittamuuntajat ovat useimmissa tapauksissa hermeettisesti suljettuja ja avaamisen seurauksena voi aiheutua muita ongelmia itse avaamisesta johtuen. Viiden vuoden tarkastussyklillä voidaan varmistaa mittamuuntajan toiminta yllättävienkin vikaantumisten sattuessa, kun huoltoväli ei ole liian pitkä. (Korhonen 2017)

7.6 20 kV:n kojeistot

Keskijännitekojeistojen tarkastukset pitää sisällään katkaisijoiden, erottimien, kaapeliliitosten sekä tukieristimien tarkastukset. Oman henkilöstön suorittamien kuukausitarkastusten yhteydessä tarkastetaan kojeistojen kunto aistinvaraisesti. Huoltavat tarkastukset tekee ulkopuolinen palveluntuottaja ja huollon ajaksi laitteisto on kytkettävä jännitteettömäksi. Kunnossapitosuunnitelman mukaan nämä tarkastukset tehdään kojeistoille viiden vuoden välein siten, että kaikkien asemien kojeistojen laitteet tarkastetaan samana vuonna. Kunnossapito-ohjeen mukaan katkaisijoille käytetään huollossa joko neljän tai kahdeksan vuoden sykliä riippuen tarkastuksen laadusta ja erottimille käytetään kuuden vuoden sykliä. Huoltosuunnitelma on tässä ristiriidassa itsensä kanssa johtuen suunnitelmien päivittämättömyydestä ja siten irrallisuudesta toisiinsa nähden.

Katkaisijoiden tarkastukset voidaan tehdä kunnossapito-ohjeen mukaan tarkastushuoltona, jolloin väli olisi neljä vuotta tai perushuoltona, jolloin kahdeksan vuotta, mutta käytännössä ne on tehty Outokummussa vain perushuoltona. Perushuolto on kattavampi kuin tarkastushuolto ja sisältää enemmän toimenpiteitä ja mittauksia. Erottimia ja maadoituskytkimiä pidetään kunnossa tekemällä niille mekaanisen ja sähköisen kunnan tarkastuksia. Outokummun Energian 20 kV:n katkaisijat ovat melko uusia Areva:n tyhjiökatkaisijoita ja niille on suoritettu vasta yhden kerran perushuolto. Missään katkaisijassa ei ole todettu tällöin huoltoreporttien mukaan vikaa.

7.6.1 20 kV:n kojeistojen huolto- ja kunnossapitoperusteet

Yhtiön kaikissa kojeistoissa on Areva:n HVX–katkaisijat, mutta vanhoissa kojeistoissa muut tarkastettavat komponentit eli käytännössä erottimet, maadoituskytkimet ja eristimet ovat suurimmaksi osaksi alkuperäisiä. Tämän takia onkin mielekästä tutkia katkaisijoiden huolto–ohjeita erikseen verrattuna muiden komponenttien huolto–ohjeisiin.

HVX–katkaisijoiden huolto–ohjeen mukaan katkaisija tulisi vuosittain puhdistaa ulkoisesti ja tarkastaa mekaanisilta vaurioilta. Huolto–ohjeen mukaan tyhjöpulot ja jousiohjainmekanismi ovat itsessään huoltovapaita. Tärkeimmät huoltotoimenpiteet kohdistuvat katkaisijan tyhjän ja jousiohjainmekanismin kunnan tarkastamiseen. Kymmenen vuoden välein suositellaan jousiohjainmekanismin silmämääräistä tarkastamista ja tyhjökokeen suorittamista. Tyhjökokeella varmistetaan, että katkaisijassa on vielä tyhjiö jäljellä. Mikäli oikosulkuvirrallisten katkaisukertojen määräksi kertyy tietty valmistajan ilmoittama määrä huolto–ohjeesta löytyvän käyrän mukaan, on syytä vaihtaa katkaisupäät. 10 000 ohjauskerran jälkeen tyhjökoe ja jousiohjainmekanismin tarkastus valmistajan suorittamana. 20 000 ohjauksen jälkeen tyhjökatkaisupullojen vaihto. (Areva 2001)

Yhtiön vanhojen kojeistoiden muiden laitteiden osalta on yhtiöllä olemassa alkuperäiset manuaalit ja esitekirjat, mutta niissä on huollosta sanottu oikeastaan vain, että pitää kääntyä valmistajan puoleen siinä tapauksessa, kun huoltoa halutaan suorittaa. Sovelletaan Strömbergin eli nykyisen ABB:n huolto- ja kunnossapitoyksikön ohjeita. Kunnossapitoyksikön asiantuntija suosittelee vanhoille kojeistoille yleisesti tarkastushuoltoja noin viiden vuoden välein. Tarkastuksissa tutkitaan erottimien ja niiden ohjauslaitteen kunto kiinteiden kojeistojen tapauksessa, maadoituskytkimien toiminta sekä tukieristimien kunto ja kaapeliliitosten kiinnitykset. Erottimien ohjauslaitteen voitelua vaativat osat voidellaan tarkastuksen yhteydessä tarvittaessa. Tarkastuksia perustellaan tehtäväksi viiden vuoden välein, jottei erottimen ja maadoituskytkimen ohjauslaitteet jumiudu käyttämättömyyttään. Toisaalta jos käyttötilat ovat puhtaat ja kuivat tai erottimille on mahdollista suorittaa vetreyttäviä ohjauksia huoltojen välillä, niin huoltoväli voi olla pidempikin. (Korhonen 2017)

Outokummun Energian uudempaa kojeistokantaa edustavien ABB:n vaunukatkaisijalla varustettujen Uniswitch–kojeistojen huolto–ohjeissa sanotaan, että ensiökojeiden huoltotoimenpiteet tulee tehdä valmistajien ohjeiden mukaisesti, sillä kojeistoissa voi olla

muidenkin valmistajien komponentteja integroituna. Yleisesti kojeistojen huollosta todetaan, että kiskoliitokset, mekaaniset toiminnot, kuten vaunun siirtomekanismi ja katkaisijan mekaaninen laukaisumekanismi, suojalevyt, ohjausvalitsin, lukitusmagneetit ja asentorajakytkimet tulisi tarkistaa silmämääräisesti ja kokeilemalla aika ajoin. Lisäksi olisi hyvä testata hälytys ja laukaisupiirien toimivuus ja tarkastaa oikeat näyttämät ohjaustauluissa. (UTU 2002)

Uniswitch–vaunukatkaisijakojeissa ei ole erillisiä kuormakytкимиä vaan vaunun irrottaminen toimii erottimen avausvälin tavoin, ja siten kuormakytкимиen huoltoa ei ole. Huollettavana on käytännössä vain maadoituskytkin, joka on normaalikäytössä huoltovapaa useiden käyttövuosien ajan kytkimen ohjeen mukaan. Maadoituskytkin tulee tarkastaa suurella oikosulkuvirralla tapahtuneen kytkennän jälkeen. Mikäli kytkin on likaantunut esim. valokaarioikosulun vaikutuksesta, tulee se puhdistaa huolella ja rasvata kaikki nivelet ja liukupinnat. (UTU 2002)

7.7 Päämuuntajat

Päämuuntajalle tehdään jo ennen muuntajan käyttöönottoa ensimmäiset tarkastukset tehdaskoestuksina. Nämä tehdaskoestukset toimivat referenssinä tuleville kunnonvalvontamittauksille. Seuraavaksi tehdään valmistajan toimesta käyttöönottokoestukset muuntajan laitteille, kun muuntaja otetaan käyttöön. Käyttöönottotarkastuksen tarkoituksena on todeta, että muuntaja ei ole vioittunut kuljetuksen ja asennuksen aikana. Kun muuntaja lopulta on käytössä, tehdään sille käytönaikaista kunnonvalvontaa tarkastushuoltoina ja öljyanalyseilla. Tällä hetkellä yhtiö suorittaa päämuuntajille aistinvaraista kunnonvalvontaa kuukausitarkastusten yhteydessä ja ulkoinen palveluntuottaja tekee muuntajille tarkastushuollon viiden vuoden välein sekä öljyanalyysin vuoden välein. Kaikki yhtiön muuntajat huolletaan samana vuonna ja tarkastushuolto sisältää käämikytkinhuollon. Muuntajan käyttöiän puolesta välissä tehdään käyttöikä jatkava täyshuolto, jossa muuntaja kuljetetaan valmistajan huoltopisteeseen avattavaksi ja täyshuollettavaksi valmistajan toimesta.

Yhtiöllä on kaksi Strömbergin 1970-luvun päämuuntajaa, yksi 2010-luvun ABB:n valmistama päämuuntaja sekä yksi 2000-luvun Koncarin valmistama päämuuntaja verkossaan. Vanhemmille päämuuntajille on teetetty niiden käyttöiän puolen välin täyshuollot vuosina 2000 ja 2001, jolloin on todettu kummankin muuntajan öljyn sekä paperieristyksen olevan hyvässä kunnossa ja käyttöikä vielä paljon jäljellä jatkoa ajatellen. Tällä hetkellä yhtiön muuntajille on vanhan

kunnossapitosuunnitelman mukaan tulossa tarkastushuollot vuoden sisällä ja kuluvan vuoden öljyanalyseissa ei ole ollut huomautettavaa.

Yhtiön huolto-ohjeen mukaan tarkastushuollossa tarkastetaan muuntajan ja käämikytkimen mekaaninen ja sähköinen kunto. Huolto suoritetaan jännitteettömänä ja ohjetta sovelletaan myös keskijännitetehtomuuntajien huoltoon. Käytännössä muuntajasta tarkastetaan kaikki sen komponentit. Tarkastushuolloista oli saatavilla historiaa viimeisten kahden huoltokerran verran vuoteen 2007 saakka. Kummallakin kerralla tarkastuksissa oli todettu vikoja. Toisella kerralla yhden muuntajan yksi läpivienti oli rikki ja toisella kerralla tarkastuksissa todettiin, ettei kahden muuntajan suojalaitteiden hälytykset toimineet ja näistä toisessa muuntajassa oli myös öljyvuotoja muuntajan syötön tukieristimessä ja kannen pulteissa. Uusinta muuntajaa ei ole vielä tarkastushuollettu yhtään kertaa.

Öljyanalyysillä valvotaan muuntajaöljyn kuntoa. Yhtiö teetättää öljyanalysejä 110/20 kV:n päämuuntajille. Muuntajan öljyanalyysillä tutkitaan öljyn ominaisuuksien muuttumista mahdollisten vikojen havaitsemiseksi ja öljyn sähkölujuuden ja käyttökelpoisuuden toteamiseksi. Öljyanalyseistä löytyi 15 vuoden tiedot, joissa kahtena vuonna oli merkintä yhden muuntajan kohdalla eristysöljyn kohonneesta asetyleenipitoisuudesta. Öljyn asetyleenipitoisuuden kohoaminen oli lakannut tarkastusmittauksissa, eikä toimenpiteitä oltu viety pidemmälle. Muita merkintöjä puutteista tai muutoksista öljyn laadussa ei ollut.

7.7.1 Päämuuntajien huolto- ja kunnossapitoperusteet

Outokummun Energialla on asemillaan Strömbergin, ABB:n ja Koncarin päämuuntajia. Tärkeimmät huoltoperusteet päämuuntajissa ovat käämikytkin ja muuntajan öljyn analysointi. ABB on yksi alan johtavia toimijoita, joten käyn läpi sen huolto- ja kunnossapitoyksikön asiantuntijan suositukset. Kävin keskustelua päämuuntajien kunnossapidosta myös Koncar-tyyppisten muuntajien maahantuojan, Multirelin, asiantuntijan kanssa, joten käyn tässä läpi myös hänen suosituksensa ja muut ajatukset päämuuntajien huollosta.

ABB:n kunnossapitoyksikön asiantuntija suosittelee tehomuuntajille yleisesti vuosittain visuaalisia tarkastuksia, öljyanalyysiä ja suojalaitteiden koestuksia. Uusille päämuuntajille suositellaan käytön alkuvaiheessa öljyanalyysiä noin kolmen vuoden välein. Kaikki suositukset perustuvat ABB:n omiin vikahistoriatietoihin. Suojalaitteiden toiminnan testaus olisi hyvä kokeilla

aina myös vikojen jälkeen. Öljyanalyysi on hyvä suorittaa vuosittain öljyn ominaisuuksien tarkemman seurannan kannalta, sillä vaikka jonkun vuoden mittaustuloksessa olisi enemmän virhettä kuin toisessa, saadaan kokonaisuudessaan tasaisempi ja kattavampi mittausjatkumo, josta voidaan paremmin päätellä nykytilanne. (Korhonen 2017)

Muuntajan nuoruusiän tarkastuksina asiantuntija suosittelee tehtäväksi noin viiden vuoden välein käämikytkinhuoltoja, johon kuuluu perustapauksessa käämikytkimen öljynvaihto ja kytkimen koskettimien vaihto, koska kytkimen kosketinpinnat kuluvat tavanomaisessa päämuuntajakäytössä muutamassa vuodessa huoltokuntoon tai kytkimen toimintakerta määrä osoittaa huollon tarpeellisuuden kytkinkohtaisesti. Samalla suositellaan suoritettavaksi myös ilmankuivausrakeiden vaihto ja läpivientieristimien öljyanalyysi, jolla nähdään vuotaako läpiviennit. Muuntajan iän karttuessa otetaan huomioon sekä muuntajan käyttö-, että huoltohistoria seuraavia huoltotoimenpiteitä suunniteltaessa. (Korhonen 2017)

Käyttöiän puolella välissä noin kahdenkymmenen ja neljäkymmenen käyttövuoden välillä päämuuntajalle suositellaan tehtäväksi kuntoanalyysi ja sen perusteella täyshuolto oikeassa vaiheessa korjaamalla. Täyshuollossa koko muuntaja käsitellään ja näin varmistetaan muuntajan teknisen-, termisen-, ja sähköisen kunnon taso ja mahdollisimman pitkä fyysinen käyttöikä. Tärkeimmät muuntajan käyttöikää jatkavat toimenpiteet ovat muuntajan kuivatus paperieristyksen kosteuden poistamiseksi ja käämipakkojen kiristys. Paperieristyksen kuntoon eniten vaikuttaa muuntajaöljyn kunto, joka myös huolletaan poistamalla sen epäpuhtaudet. (Korhonen 2017, Piironen 2015, SLY 1994)

Taloudellisesti päämuuntajalle suoritettava perushuolto on erittäin kannattava, silloin jos siitä saa Energiaviraston valvontaohjeen hyvityksen sallitun tuoton laskennassa. Hyvitys riippuu täysin voimassaolevasta valvontajaksosta ja sen ohjeistuksesta muuntajan perushuollon suhteen. Tällä jaksolla hyvitystä ei saa. Täyshuollon jälkeen käyttöön palautettavalle muuntajalle suositellaan tehtäväksi käämikytkinhuollot ja öljyanalyysi jälleen samalla lailla kuin aikaisemmin, jollei jotain poikkeuksia ole tapauskohtaisesti ilmennyt. (Korhonen 2017)

Kun muuntajan käyttöikä lähenee loppuaan, suositellaan sille tehtäväksi jälleen kuntoanalyysi, missä tehdään päätös muuntajan jatkosta. Loppukäyttöön on vaihtoehtona käytöstä poistaminen sekä romuttaminen tai vaihtoehtoisesti käämityksien uusiminen, käämikytkimen vaihto ja

metalliosien pintakäsittely, jolloin muuntajan voisi koestaa sen hetkisten standardien mukaan ja ottaa uudelleen käyttöön. Yksi vaihtoehto on myös nostaa muuntajan tehoa loppukäytön ajaksi ja ajaa muuntaja loppuun. (Korhonen 2017)

Multirelin asiantuntija perustaa omat näkemyksensä omaan kokemukseen sekä valmistajan antamiin huolto-ohjeisiin ja suosittelee Koncar-tyyppisille päämuuntajille öljyanalyysiä ja visuaalista yleistarkastusta tehtäväksi vuoden välein. Samalla suositellaan tehtäväksi muuntajan suojalaitteiden koestukset sekä pulttien kiristämiset. (Arte 2017)

Muuntajan käämikytkimelle asiantuntija suosittelee tehtäväksi huollon noin seitsemän vuoden välein, koska kytkimen kosketinpinnat kuluvat tavanomaisessa päämuuntajakäytössä muutamassa vuodessa huoltokuntoon. Huollossa öljyeristeisen käämikytkimen kosketinpinnat puhdistetaan ja huolletaan tai kuluneisuudesta riippuen vaihdetaan kokonaan. Huollossa vaihdetaan lisäksi muuntajan ilmankuivausrakeet, joskin päätös rakeiden vaihdosta tehdään vasta paikan päällä huollon yhteydessä sen mukaan miltä niiden tilanne näyttää. Samalla kannattaa taas koestaa muuntajan suojat ja tehdä visuaaliset tarkastukset muuntajalle. (Arte 2017)

Muuntajan käyttöiän puolenvälin täyshuollon tarpeellisuudesta asiantuntija oli sitä mieltä, että huollon teettäminen kannattaa tehdä käyttöön perustuvan teknisen tarpeen, tapauskohtaisen taloudellisuuden tarpeen ja yhtiökohtaisen halukkuuden mukaan. Taloudellisesta näkökulmasta katsottuna hän arvioi huollon kannattavuutta, siltä kannalta mikä sen hetkinen tilanne on jakeluverkon valvontamenetelmien suhteesta muuntajan kunnostuksen vaikutukseen verkon arvoon ja siten sallittuun tuottoon. (Arte 2017)

7.8 Akustot ja varaajat

Akustoille on tehty kunnonvalvontaa asematarkastuksien yhteydessä ja kapasiteettimittauksilla kunnossapitosuunnitelman mukaan vuoden välein muulloin paitsi, kun akustot on uusittu. Kapasiteettimittaukset tekee ulkopuolinen palveluntuottaja. Ensimmäiset kapasiteettimittaukset uusimisen jälkeen on tehty kahden vuoden päästä käyttöönotosta. Kunnossapitosuunnitelman mukaan asemien akustot ovat vuosilta 2001, 2006, 2007 ja 2013. Tänä vuonna alkuvuodesta vanhin akusto on vaihdettu uuteen, mutta tietoa ei ole päivitetty kunnossapitosuunnitelmaan. Kaikki akustot ovat rakenteeltaan avoimia. Akustojen kunnossapitotietoja löytyi noin viideltä vuodelta taaksepäin ja niissä ei oltu todettu mitään poikkeavaa.

Varaajille on kunnossapitosuunnitelman mukaan tehty tarkastukset ja huollot kuuden vuoden välein. Huolto-ohjeessa niiden huoltoväliksi on määritetty aikanaan kolme vuotta. Varaajien huollot tehdään yleensä tarkastavina ja tarkastuksen perusteella tehdään korjauksia tai vaihdetaan laite uuteen. Edellisen huollon mukaan laitteissa ei ole havaittu muita puutteita, kuin puuttuvat manuaalit.

7.8.1 Akustojen ja varaajien huolto- ja kunnossapitoperusteet

Yhtiöllä on useamman eri valmistajan akkuja, mutta kaikkien akkujen ollessa avoimia lyijyakkuja niille voidaan käyttää yleisiä avoimien akustojen ohjeita. Akustojen ja varaajien visuaaliset kuntotarkastukset suositellaan tehtäväksi noin kolmen kuukauden välein normaaleissa käyttöolosuhteissa. Akustojen kuntotarkastuksissa ensimmäisenä tarkastetaan akkuhuoneen yleissiisteys ja lämpötila sekä akuston puhtaus. Lämpötila on avainasemassa akuston keston kannalta ja sen pitäisi olla mahdollisimman tasainen vuoden ympäri. Akuston puhtaus on tärkeä, koska akkujen pinnalla oleva lika aiheuttaa vuotovirtoja ja vähentää näin akkujen käyttöikää. Akkujen elektrolyytin taso on tarkastettava ja nestettä lisättävä, mikäli kenno näyttää vajaalta. Lisäystä ei saa tehdä yli sallitun akun kyljessä näkyvän tason. Samalla on hyvä tarkastaa ja kirjata varaajan jännite ja akuston napajännite sekä varaajan kuormavirta. (Sikanen 2011)

Akustojen kapasiteettikokeet suositellaan suoritettavaksi akkutyypistä riippumatta vuoden välein. Kokeet suoritetaan, kuten kappaleessa seitsemän on akustojen kunnonvalvontamenetelmistä kerrottu. Riittävä tieto hyväkuntoisen akun tilasta saadaan 50 %:n kapasiteettikokeella, jos akun kennojännite säilyy yli 1,9 V kennoa kohti. Silloin voidaan kokemukseräisesti sanoa akuston olevan kunnossa. (Sikanen 2011)

Piironen (2015) diplomityössä on tarkasteltu akustojen kunnossapitoa Vantaan Energia Oy:llä kunnossapitohistorian ja kokemukseräisen tiedon perusteella ja sen mukaan on saatu esimerkki yhdelle akustojen kunnossapitomallille. Avointen akustojen kapasiteettikokeet on tehty Vantaan Energiolla ennen vuoden välein, mutta Piironen on oman tutkimuksensa tuloksena päättänyt taulukon 7-3 mukaisiin huoltoväleihin akustoissa.

Taulukko 7-3 Avoimien akustojen huoltovälisuositukset Vantaan Energialle. (Piironen 2015)

Akuston ikä	Huoltoväli
0–9 vuotta	3 vuotta
9–14 vuotta	2 vuotta
14 ->	1 vuosi

Kapasiteettikoevälit ovat taulukon mukaan pidemmät akkujen nuorella iällä ja loppua kohden tarkastusten väli pienenee. Tämä väli pätee, mikäli akkujen kunnossa ei huomata mitään epätavallisuuksia, kuten laskenutta jännitettä, missä tapauksessa kunnonvalvontaa on syytä suorittaa useammin. Kapasiteettikoevälien pituutta Piironen perustelee sillä, että kokemusten mukaan avointen akustojen elinikä on hyvällä kunnossapidolla 14–18 vuotta. Akuissa ei ole ilmennyt äkillisiä vikoja ja vaikka ilmenisi, niin yksittäisen akun kapasiteetin heikentyminen ei vaikuta kovin paljon koko akuston kapasiteettiin heikentävästi. Toisaalta vaikka äkilliset viat ovatkin iso riski, niin Piironen huomauttaa, että niitä ei voida havaita helposti tiheämmilläkään tarkastuksilla etenkin, kun esimerkiksi yhden akun vikaantuessa laturi pitää akuston jännitteen edelleen vakiona ja alijännitehälytystä ei siten tule. Lisäksi tarkastellun yhtiön akustot on aina kahdennettu, joten toisen akuston vikaantumisen jälkeen toinen on käytössä. (Piironen 2015)

Outokummun Energian verkostotyönjohtajalla on ensi käden kokemusta yhtiön akustojen kunnossapidosta usealta vuodelta. Hänen mukaansa akustojen kunnossapidossa akkunesteiden tarkastamisen osalta vuoden sykli on ehdoton maksimi, sillä kokemuksen mukaan, sitä pidemmällä välillä akkujen nestepinnat laskevat liian alas kennoissa. Akkujen tarkastaminen ja nesteen lisääminen tarvittaessa on hyvä suorittaa noin kolmen kuukauden välein. Kapasiteettimittaukset on hyvä suorittaa kokemuksen mukaan vuoden välein akustojen käyttötarkoituksesta ja tärkeydestä johtuen. (Sahlman 2017)

Yhtiöllä on usean eri valmistajan varaajia, joiden käyttöohjeissa ei puhuta mitään kunnossapidon toimenpiteistä. Olin asian tiimoilta yhteydessä kahden varaajan maahantuojiin ja heiltä ohjeistettiin, että tyristorisiltaan perustuvien varaajien kuntoa kannattaa tarkkailla muutaman vuoden välein sen varalta, että elektroniset komponentit, kuten tyristorisillat, kondensaattorit ja tehokortit voivat hajota lähinnä ulkoisten vikojen seurauksena. Kalibrointia ja säätöä ei tarvitse yleensä tehdä ja riittää, että tarkastaa varaajan jännitteen säännöllisesti. Koska kyseessä on

elektroninen laite, kannattaa se uusia viimeistään kolmenkymmenen vuoden välein tai silloin jos kojeessa alkaa esiintyä enemmän vikoja. (Virolainen 2017, Kaikuranta 2017)

Enercotekin asiantuntija opasti, että hakkurivirtalähteeseen perustuvalla varaajalla ei tarvitse tehdä tyristorisiltavaraajalle vastaavanlaista huoltoa olleenkaan, sillä laitteessa ei ole kondensaattoreita, eikä tyristorisiltaa, jotka voisivat mennä rikki ja olisi helposti havaittavissa. Varaajassa oleva tehokortti voi kuitenkin hajota vian seurauksena, mutta se on helppo ja nopea tarkastaa akustojen tarkastusten yhteydessä. Myös tämäntyyppinen varajaa on syytä uusia viimeistään siinä vaiheessa, kun siinä alkaa esiintyä useammin vikoja. (Virolainen 2017)

7.9 Maasulun kompensointilaitteistot

Maasulun kompensointilaitteistojen hankkiminen sähköasemille vuonna 2016 on johtanut entisten omakäyttömuuntajien korvaamiseen maadoitusmuuntajilla. Vain yhden muuntajan syöttämään jakelualueeseen erillistä kompensointia ei ole hankittu verkon lyhydestä johtuen, joten siellä omakäyttömuuntaja on edelleen käytössä. Muilla lähdöillä maadoitusmuuntajat toimivat nyt omakäyttömuuntajina. Kompensointilaitteistoon kuuluvat lisäksi maasulun kompensointikelan mahdollisen lisävastuksen kanssa ja ohjauskaappi sekä maadoitus- ja kuormaerottimet, että SF6-katkaisija. Kompensointikelan säätäjä on muuntamorakennuksessa ohjaustaulussa.

Omakäyttömuuntajat ovat olleet keskijännitekojeistoissa ja ne on tarkastettu tähän mennessä kuukausitarkastusten yhteydessä. Tarkastuksessa on tutkittu sulakkeiden ehjyys ja tarkastettu muuntaja pintapuolisesti öljyvuotojen ja muiden rikkojen varalta. Tällä hetkellä maasulun sammutuslaitteistolle ei ole tehty huolto- ja tarkastusohjelmaa.

7.9.1 Maasulun kompensointilaitteistojen huolto- ja kunnossapitoperusteet

Yhtiön kaikki maasulkusuojauslaitteet on hankittu pakettina. Maahantuojalla on valmistajan ohjeisiin perustuvat ohjeet maadoitusmuuntajalle, kompensointikelalle ja kelan säätäjälle suoritettavista tarkastuksista.

Maadoitusmuuntajan kuntoa on hyvä seurata säännöllisiä tarkastuksia tekemällä. Vuosittain on hyvä silmäillä mahdolliset öljyvuodot, tarkastaa muuntajan maksimilämpötila ja liitäntöjen eheys. Joka toinen vuosi suositellaan tarkistettavaksi ja tarvittaessa puhdistettavaksi muuntajan kansi,

tiivisteet, läpivientieristeet, liittokset ja venttiilit, sekä tehtäväksi pulttien kiristäminen, mikäli aiheellista. (Forsblom 2017)

Muuntaja on hermeettisesti suljettu, joten öljy ei ole kosketuksissa ilman kanssa, mutta muuntajaöljystä on silti hyvä tarkastaa sen jännitelujuus ja kosteus. Muuntajan suojalaitteita suositellaan koestettavaksi noin viiden vuoden välein, jolloin samalla on hyvä tehdä myös öljyanalyysi. Mikäli jännitelujuus on mittauksessa alle 30 kV sen kehittymistä on hyvä seurata tarkistusmittauksilla noin puolen vuoden välein. Muuntajan öljynäytteen ottamisen kanssa suositellaan vuoden välein tehtäväksi myös käämien eristysvastusmittaukset. Niiden tuloksista voidaan päätellä nopeasti esim. mikäli öljyyn on päässyt kosteutta ja se olisi syytä kuivata. Öljynäyteanalyysin tekeminen kannattaa tehdä tarpeen mukaan useammin (Forsblom 2017)

Kompensointikelalle suositellaan valmistajan ohjeen mukaan puolen vuoden välein suoritettavaksi silmämääräistä tarkastamista. Tarkastus sisältää kelan tiivisteiden tarkastuksen, paisuntasäiliön öljynpinnan tarkastuksen ja ilmankuivaimen rakeiden tarkastamisen. Ohjeessa on kerrottu tarkemmin sopivat toimintatavat, mikäli tarkastuksissa löytyy korjattavaa. (Forsblom 2017)

Vähintään kahden vuoden välein kannattaa tarkastaa kaikki edellä mainitut, joiden lisäksi suositellaan suoritettavaksi kelan maalipinnan ruosteensuojauksen tarkastus, läpivientien ja liittimien tarkastus sekä posliinieristimien puhdistus ja liitinpintojen puhdistus korroosiosta ja niiden voitelu. Pulttiliitosten kireydet on samalla hyvä tarkastaa. Maadoituksille suoritetaan samanlaiset toimenpiteet, kuin liittimille ja mikäli kaasureleessä huomataan kaasunmuodostusta, on kaasu hyvä analysoida. Säättömoottorin toimilaite on hyvä koestaa ja ohjaus- sekä suojalaitteet tarkastaa ja puhdistaa. Jäähdyttimelle suositellaan liitoslaippojen ja itse jäähdyttimen tiiveyden tarkastamista, jos kelassa on erilliset radiaattorit. (Forsblom 2017)

Säätäjälle maahantuoja suosittelee viiden vuoden välein toimintojen koestamista. Käytännössä koestetaan kelan oikeanlainen virittyminen viritystavasta riippuen ja ohjauspainikkeiden toiminta paikallisesti sekä käytönvalvontajärjestelmän kautta. Maasulun havahtumisraja ja kelan lisävastuksen ohjauksen toiminta on koestettava myös. Lisävastuksen toiminnan koestus tapahtuu syöttämällä nollajännitettä säätäjän mittauspiiriin. Lisäksi on syytä tarkastaa liikkuvatko mittaus- ja tilatiedot järjestelmien välillä oikein. Samalla kannattaa tarkastaa järjestelmän toiminnat

lokitiedoista lukemalla. Kymmenen vuoden välein suositellaan säätäjän sisäisen akun vaihtamista uuteen. (Forsblom 2017)

Valmistaja suosittelee kompensointikelalle tehtäväksi perushuollon valmistajan tehtaalla noin viidentoista vuoden välein aikaisempien kunnossapitotarkastuksien ja mittausten mukaan. Huollossa kelan kunnosta tehdään arvio tarkastamalla kelan sähköiset ja mekaaniset arvot sekä muuntajaöljyn kunto. Kuntoarvion perusteella viallisten ja kuluneiden osien vaihtoa suositellaan ja samalla voidaan kelaan tehdä uudistuksia käyttäjän haluamalla tavalla. (Forsblom 2017)

ABB:n huolto- ja kunnossapitoyksikön asiantuntijan mukaan koko kompensointilaitteistolle kannattaa tehdä vuosittain silmämääräisesti yleistarkastus ja sen mukaan tarvittaessa puhdistus ja korjaukset. Laitteiston lämpökuvaamista hän suosittelee myös tehtäväksi vuosittain. Laitteiston maadoituserottimelle ja kuormaerottimelle hän suosittelee samanlaisia huoltoja, kuin muillekin erottimille viiden vuoden välein. Maadoitusmuuntaja ja kompensointikela ovat öljyeristeisiä ja niille ei tarvitse suorittaa öljynäytteen ottoa vuosittain johtuen hermeettisestä rakenteesta, vaan näytteen ottaminen muutaman vuoden välein riittää. (Korhonen 2017)

Lauri Mäntylän opinnäytetyössä käsitellään EFD20–tyyppisen keskitetyn maasulkuvirran tunnistuslaitteiston käyttöä ja samalla sivutaan Trench–merkkisen kompensointikelalaitteiston huoltoa. Mäntylän mukaan valmistaja suosittelee huollon toimenpiteinä kuukausittaisia visuaalisia tarkastuksia laitteistolle, joihin kuuluvat öljytason, ilmankuivaimen ja säätömoottorien tarkastukset. Vuosittain laitteiston puhdistaminen silmämääräisen tarkastuksen perusteella ja läpivientien ehjyyden sekä öljyvuotojen tarkastaminen. Viiden vuoden välein suositellaan öljynäytteen ottamista kompensointikelasta ja lisävastuksen testaamista. Lisäksi on syytä tarkastaa kuristimen säätäjän toiminta. (Mäntylä 2011)

7.10 Relekoestukset

Outokummun Energialla on verkossa melko uusi relekanta. Lähes kaikki releet ovat iältään nuoria vuosien 2004–2013 välillä valmistettuja VAMP–merkkisiä kennoterminaaleja muutamaa yksittäistä poikkeusta lukuun ottamatta. Hälytyskeskukset ovat vuosien 1998 ja 2013 välillä asennettuja ABB:n SACO 16D–keskuksia. Jännitteensäätäjät ovat ABB:n SPAU–tyyppisiä säätäjiä. Releiden ja keskusten koestuksen hoitaa tällä hetkellä ulkopuolinen palveluntuottaja kolmen vuoden välein. Yhtiön suojarleiden koestusohjelman ja vanhan huolto–ohjeen mukaan

koestuksissa testataan keski- ja suurjännitesuojareleiden asettelut ja laukaisupiirien toiminta sekä tasasähkökeskuksen jännitteenvälvonta, että hälytyskeskusten ja jännitteensäätäjien toiminta.

Tarkastushistoriaa löytyi vuodesta 2010 saakka, eli kolmelta edelliseltä tarkastuskerralta. Viimeisimmät tarkastukset ja releasettelut on suoritettu vuonna 2016 maasulun sammutuslaitteistojen asennusten yhteydessä ja tarkastuspöytäkirjoissa ei löytynyt huomautuksia tehdyistä tarkastuksista. Verkostotyönjohtajan mukaan vuonna 2013 yhtiön toisen aseman uuden päämuuntajan valmistuessa oli alussa hankaluuksia saada uusi releistys toimimaan oikein, mutta muita ongelmia releistyksessä ei ole ilmennyt juuri lainkaan.

7.10.1 Relekoestuksien perusteet

Relekoestuksiin kuuluvat yhtiöllä suojareleet ja tasasähkökeskusten jännitteenvälvontalaitteet. Hälytyskeskukset sekä päämuuntajien jännitteensäätäjät tarkastetaan ja niiden toiminnot testataan relekoestusten yhteydessä. Yhtiön verkostotyönjohtaja pitää oman kokemuksensa perusteella nykyistä kolmen vuoden relekoestusväliä hyvänä. Kolme vuotta on pitkä aika verkossa nyt tapahtuvien muutoksien, kuten runsaan maakaapeloinnin takia ja siksi releasettelut ja toiminnan koestukset on hyvä suorittaa aika ajoin. Koestuksien yhteydessä palveluntarjoaja lataa myös uusimmat päivitykset releiden ohjelmistoihin. (Sahlman 2017)

Valmistajan releiden asiantuntijan mukaan releille ei ole annettu käyttöohjeissa suoraa suositusta tarkastusten tai koestusten välille, mikä johtuu siitä, että yhtiön releiden jakelua tapahtuu maailmanlaajuisesti ja eri paikoissa pätee eri käytännöt tarkastusten suorittamiseen. Käyttöohjeessa releiden koestuksista sanotaan, että ne täytyy testata säännöllisin väliajoin kansallisten tai muuten pätevien sääntöjen mukaan, ja valmistaja kehottaa suorittamaan testit vähintään viiden vuoden välein. Yleisohjeena asiantuntija arvioi vuosittaisen yleistarkastuksen ja toiminnan koestuksen noin viiden vuoden välein olevan riittävä, kuitenkin alan toimijasta riippuen. (Virta 2017)

Hälytyskeskuksen ja jännitteensäätäjän käyttöohjeissa laitteiden huollosta sanotaan, että ne ovat suhteellisen huoltovapaita eivätkä vaadi säännöllistä huoltoa, kun niitä käytetään normaaliolosuhteissa. Huoltovapaus johtuu siitä, että laitteet eivät sisällä ylläpitoa vaativia mainittavalle sähköiselle tai mekaaniselle kulumiselle alttiita osia tai komponentteja. (ABB 1996, ABB 1998)

7.11 Jännitetyövälineet ja muut varusteet

Jännitetyövälineitä ja suojarusteita on tarkastettu yhtiössä tähän asti siten, että omien varusteiden tarkastuksista ovat vastuussa henkilökunnan jäsenet ensisijaisesti itse, mutta viime kädessä vastuussa on varustevastaavana toimiva henkilökunnan jäsen. Henkilökohtaisista varusteista pylväsvyöt ja kengät tarkastetaan vuosittain. Työvälineistä vain maadoitusvälineiden tarkastus on kunnossapitosuunnitelmassa. Tarkastukset on suoritettu ajoneuvojen välineissä vuoden välein, ja sähköasemilla kolmen vuoden välein. Jännitteenkoettimia tai nostolaitteilla varustettuja työajoneuvoja esimerkiksi ei suunnitelman mukaan ole tarkastettu laisinkaan. Viimeisimmät merkinnät tarkastuksista löytyvät vuodelta 2015.

7.11.1 Jännitetyövälineiden ja suojarusteiden tarkastusperusteet

Työturvallisuuskeskus ohjeistaa työsuojelulainsäädännön ja eri järjestöjen antamien ohjeistuksien pätevydestä siten, että lainsäädännön, kuten työturvallisuuslain, työsuojelun lain ja terveyshuoltolain asema on määräävä. Viranomaisten ja muiden eri alojen järjestöjen julkaisemat ohjeet eivät ole suoranaisesti velvoittavia tai oikeudellisesti sitovia, mutta niiden merkitys otetaan huomioon, kun työsuojelutoimien riittävyttä arvioidaan. Myös työehtosopimuksissa on usein oman alan työturvallisuuteen liittyviä velvoitteita, joista työnantajan on oltava tietoinen ja joista jotkin määräykset pitää olla työpaikalla nähtävillä. (Tamminen, Mäntynen 2016) Työsuojelutoimia ovat omalta osaltaan tässä kappaleessa käsiteltävät jännitetyövälineiden ja muiden sähkötoisissa käytettävien varusteiden ja kaluston huolto- ja kunnossapitotoimet.

Yleisiä sähköjakelun töissä käytettäviä kunnossapito-ohjeita annetaan työturvallisuusohjeessa STO 7/2016. Työnantajan vastuulla on huolehtia kunnossapidon ohjeiden saatavuus ja se, että laitteita pidetään käyttökunnossa säännöllisellä kunnossapidolla koko niiden eliniän ajan. Kunnossapitoa on seurattava työnantajan toimesta jatkuvilla mittauksilla, tarkastuksilla ja muilla vastaavilla keinoilla laitteiden turvallisuuden ja toimintakunnon varmistamiseksi. Käyttöönottotarkastus on aina suoritettava otettaessa laite ensimmäisen kerran käyttöön. Määräaikaistarkastus on suoritettava laitteille vuoden välein käyttöönottotarkastuksesta lähtien ja tarkastusväliä voi soveltaa laitteiden käytön mukaan. Määräaikaistarkastukset saa suorittaa asiaan koulutettu henkilö tai tarvittaessa ulkopuolinen asiantuntija. (Mäntynen, Tamminen 2016)

Työturvallisuusohjeen STO 1/2016 mukaan sähkötoissa käytettäville nostolaitteille sovelletaan seuraavanlaisia huolto- ja kunnossapito-ohjeita:

- Aina ennen nostotöiden aloittamista on varmistuttava käytettävien laitteiden ja välineiden kunnosta.
- Nostolaitteille kunnossapitoa suoritetaan yleisesti silmämääräisillä tarkastuksilla määräajoin esim. 1–3 kuukauden välein tai laitteen valmistajan ohjeen mukaan.
- Nostureille ja nostimille sekä nostoapuvälineille on suoritettava määräaikaistarkastus ja koeajo vuoden välein.
- Nostureille ja nostimille on suoritettava neljän vuoden välein koekäyttö, joka vastaa standardin SFS 4261 vaatimuksia.
- Laitteiden käyttö- ja huolto-ohjeet on oltava niitä käyttävien henkilöiden saatavilla.
- Tarkastuksista on pidettävä pöytäkirjaa vähintään viimeisen viiden vuoden ajalta.
- Henkilönostimet ja nostotoissa käytettävät apuvälineet on tarkastettava määräajoin, mutta kuitenkin vähintään vuoden välein ottaen huomioon valmistajan huolto-ohjeet.
- Tikkailla tulee suorittaa vuoden välein kunnossapitotarkastukset.
- Siirrettäville työtelineille ja niiden suojarakenteille on käyttöönottaessa suoritettava käyttöönottotarkastus, joka merkitään telinekorttiin. (Tamminen, Mäntynen 2016)

Työturvallisuusohjeen STO 1/2016 mukaan sähkötoissa käytettäville suojavaatteille sovelletaan seuraavanlaisia huolto- ja kunnossapito-ohjeita:

- Työssä käytettävät henkilösuojaimet on huollettava valmistajan ohjeen mukaisesti ja aina ennen käyttöönottoa tarkastettava silmämääräisesti.
- Pylväässä työskenneltäessä käytettävä putoamissuojain suositellaan tarkastettavaksi ennen jokaista käyttöä. Erityisen tarkkaa huomiota on kiinnitettävä saumoihin, vyöhön ja vyön varusteisiin, kuten koukkuihin, solkiin ja lenkkeihin. Lisäksi suojain on tarkastettava valmistajan ohjeen mukaisesti vuoden välein tai kun siihen on kohdistunut putoamisesta tai muusta toimenpiteestä johtuvaa räsitusta. Tarkastusmerkinnöissä käytetään tietynlaista vuosittain kiertävää värikoodausta, joka löytyy tarkemmin ohjeesta. Tarkastuksen saa suorittaa siihen koulutettu henkilö.

- Pylväskengät tulee tarkastaa aina ennen käyttöönottoa silmämääräisesti. Vuoden välein on suoritettava valmistajan ohjeen mukainen tarkastus, jonka saa suorittaa siihen koulutettu henkilö. Kymmenen vuotta vanhoja kenkiä ei saa enää antaa käyttöön, paitsi jos käyttö on ollut erittäin vähäistä, jolloin käyttöä saa jatkaa viisi vuotta.
- Kypärä tulee tarkastaa valmistajan ohjeiden mukaan määrävälein. Kuulosuojaimia ei tarvitse tarkastaa.
- Hengityssuojaimien riittävä suodatuskyky ja käyttöikä on arvioitava valmistajan ohjeen ja käyttöolosuhteiden mukaan.
- Suojavarusteet, jotka on tarkoitettu johonkin erityiseen suojaukseen, kuten pöly, valokaaret, sähköiskut jne. tulee tarkastaa ja hoitaa valmistajan ohjeen mukaan. Vesillä liikuttaessa käytettävän pelastuspuvun vesitiiviys on testattava valmistajan ohjeen mukaan, mutta vähintään vuosittain.
- Jännitetöissä käytettävät sähköä eristävät tai johtavat suojajalkineet on tarkistettava säännöllisesti, ettei niiden pohjiin ole tarttunut sinne kuulumattomia esineitä. (Tamminen, Mäntynen 2016)

Työ- ja suojavälineiden käytön opastus on töitä valvovien henkilöiden vastuulla. Heidän tulee kouluttaa henkilöstö välineiden käyttöön. Erityisen tärkeitä asioita ovat valmistajien antamat huolto- ja käyttöohjeet, eri varusteiden ominaisuudet ja välineiden käytön harjoittelu. Yleisesti ohjeessa opastetaan, että käytettävien välineiden huolto- ja kunnossapito olisi jatkuvaa ja huollosta olisi syytä olla selkeät ohjeet esillä. Ohjeissa olisi hyvä olla välineiden huoltovälit, huollon suoritettava pätevä huoltaja sekä missä ja miten huoltotoimenpiteet tehdään. (Tamminen, Mäntynen 2016)

Työturvallisuusohjeen STO 2/2017 mukaan sähkötöissä käytettäville työvälineille sovelletaan seuraavanlaisia huolto- ja kunnossapito-ohjeita:

- Huolto-ohjeiden on oltava ymmärrettäviä ja siksi työvälineistä edellytetään suomen- ja ruotsinkielisiä ohjeita.
- Kaapeleiden jatkosten tai päätteiden tekemiseen tarkoitettujen puristustyökalujen kuntotarkastuksien suorittamiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska vain siten voidaan taata liitosten kestävyys oikein asennettuna.

- Jännitteenkoettimien säilytystä lämpimässä tilassa suositellaan paristojen ja akkujen kestävyuden parantamiseksi. Vuoden välein suositellaan paristojen vaihtamista.
- Työmaadoitusvälineiden kunnonvalvonta on oltava jatkuvaa ja särkyneet tai liiaksi kuluneet osat tai välineet on välittömästi vaihdettava uusiin tai korjattava. Perusteellista tarkastamista suositetaan noin vuoden välein tai oikosulkurasituksen jälkeen. (Tamminen, Mäntynen 2017)

8 POHDINTA JA KUNNOSSAPIDON KEHITYSEHDOTUKSET

Tässä kappaleessa pohdin kehitysehdotuksia Outokummun Energian sähköasemien huolto- ja kunnossapitosuunnitelmaan. Pohdinta komponenttien huoltoväleihin ja tarkastusaikoihin tehdään edellisten kappaleiden mukaan nykytila-analyysin, komponenttikohtaisten huolto-ohjeiden, asiantuntijalausuntojen ja aiheesta tehtyjen kirjallisten tutkimustöiden tarkastelun perusteella. Pohdinnan tarkoituksena on vertailla nykytilannetta huolto-ohjeisiin, asiantuntijanäkemyksiin sekä aihepiiriin tutkimuksiin ja päätellä onko huolto- ja kunnossapitosuunnitelmaan tarpeellista tehdä muutoksia.

8.1 Sähköasemien kuukausitarkastukset ja lämpökuvaukset

Sähköaseman kausittaistarkastuksista ei ole olemassa tarkkaa määräystä, ohjetta tai standardia, vaan ne ovat verkkoyhtiön vapaasti itse päätettävissä. Nykytila-analyysin perusteella kuukausitarkastukset ovat hyödyllisiä asemilla ilmenevien vikojen ja laiminlyöntien havainnoinnissa. Kuukausitarkastuksien tekemistä on mielestäni järkevää jatkaa useamman henkilön tarkastuskierrolla jatkossa, kuten yhtiössä on päätetty, koska asemien laitteiden yleiskunnosta saa hyvän kuvan tarkastusten avulla ja hyvillä merkinnöillä voidaan seurata esim. päämuuntajien käämikytkinhuoltojen ajankohtaisuutta kytkimen laskurin lukemaa seuraamalla. Samalla säilyy useammalla henkilöllä tarkka tieto asemien tilasta, jolloin ei jouduta poikkeuksessakaan tilanteeseen, jossa sellaista tietoa ei ole saatavilla. Raportointipohjaan ehdotan seuraavien muutosten tekemistä:

- Laitteille suoritettavat lämpökuvaukset on jo käytännössä päätetty liitettäväksi osaksi asemien kuukausitarkastuksia, koska ne on luonnollista suorittaa samalla, kun tehdään muut yleiset tarkastukset. Lämpökuvaukset suoritetaan joka kolmas kuukausi kuukausitarkastusten yhteydessä ja ne lisätään raporttipohjaan. Lämpökuvaukset tuovat enemmän sisältöä tarkastuksiin, koska niillä voidaan tutkia aistihavainnoinnilla tehtyjä huomioita tarkemmin tai tehdä sellaisia huomioita, joita ei aistihavainnoin pysty toteamaan tai voidaan välttää jonkin muun koestuksen tekeminen kokonaan. Esimerkiksi ulkokytkinkentän lämmityksien toiminta voidaan todentaa ilman muita mittauksia. Lämpökuvattavat kohteet lisätään kuukausitarkastusraporttiin.

- 20 kV:n kojeistojen imurointi jännitteisenä jänniteimurilla lisätään kuukausitarkastusten yhteyteen. Kojestojen imurointi suoritetaan aluksi noin viiden vuoden välein ja tarkennetaan imurointiväliä kokemuksen mukaan jatkossa, sillä muuntamorakennusten ilmanvaihto on suunniteltu siten, että kojeistoihin ei pääse ylimääräistä likaa ja pölyä.
- Omakäyttömuuntamoiden tarkastus vaihdetaan 20 kV:n maasulun sammutusjärjestelmän silmämääräiseksi tarkastukseksi niillä asemilla, joilla sammutusjärjestelmä on otettu käyttöön, koska omakäyttömuuntamot ovat maasulun sammutusjärjestelmän kanssa samassa muuntajassa. Muutos tehdään tarkastuslomakkeisiin ja tarvittavat tarkastuskohteet eritellään.

8.2 110 kV:n katkaisijat

Valmistajan huolto-ohjeet muodostavat perustan katkaisijoiden huoltoon. Nykytila-analyysin perusteella voidaan sanoa katkaisijoiden huoltosuunnitelman olevan ristiriitainen ja suurjännitekatkaisijoissa esiintyvän hyvin vähän vikoja. Kirjattuna löytyi vain yksi merkintä ja kokemusperäisestikään ei ollut osoitettavissa merkittäviä vikojen esiintymisiä. Toisaalta tarkasteltava kunnossapidon ajanjakso on hyvin lyhyt ja tarkasteltavien katkaisijoiden joukko hyvin pieni kattavan ja perustellun otannan saamiseksi katkaisijoissa esiintyvien vikojen yleisestä esiintyvyydestä ja sen riippuvuudesta katkaisijan käyttövuosiin nähden. Tässä voidaan soveltaa Kuosan (2007) diplomityön tuloksia ja tehdä niiden perusteella johtopäätöksiä katkaisijoiden mahdollisesta vikaantumisesta ja siten tarkoituksenmukaisemmista huoltoväleistä. Katkaisijoille voidaan laitetypin mukaan vetää johtopäätökset huoltovälien muokkaamisesta:

SF₆-katkaisijoille ehdotan nykyisten huoltovälien pidentämistä kuudesta kahdeksaan vuoteen ja ikää jatkavien huoltojen lisäämistä optiona huoltosuunnitelmaan seuraavin perustein:

- Valmistajan huolto-ohjeet sallivat katkaisijoille huomattavasti pidemmän huoltovälin, kuin nykyisin on käytössä. Nykyisen noin kuuden vuoden huoltovälin voisi korvata 12–14 vuoden välein suoritettavalla vastaavalla huollolla ja 30 vuoden kohdalla suoritettavalla katkaisijan ikää jatkavalla perushuollolla.
- Valmistajan oman huoltolaitoksen asiantuntijat suosittelevat kokemukseen perustuen viidestä kahdeksaan vuoden tarkastushuoltoväliä, kun otetaan huomioon laitteen

käyttöolosuhteet ja toimintakerrat. Suunnilleen 25 vuoden paikkeilla suositellaan ikää jatkavaa perushuoltoa, ottaen huomioon katkaisijan yleiskunto.

- Yhtiön käytössä olevissa katkaisijoissa ei ole esiintynyt vikoja ja tutkimustulos sekä aihepiirin asiakirjallisuus puoltavat näkemystä, jonka mukaan vikoja ei merkittävästi kaasukatkaisijoilla esiintyisi myöskään iän karttuessa, joten huoltoväliä olisi perusteltua pidentää taloudellisista näkökohdista verkon turvallisuutta ja käytettävyyttä kuitenkin heikentämättä.

Yhtiön vähäöljykatkaisijoiden huoltotoimenpiteiden suorittamiselle on mielestäni tällä hetkellä kaksi potentiaalista vaihtoehtoa: Huoltovälien tihentäminen tai huollon kokonaan poisjättäminen. Valittavat toimenpiteet riippuvat siitä, kuinka yhtiö päättää toimia käyttöään lopussa olevien katkaisijoiden suhteen. Huoltovälin pitäminen ennallaan olisi kolmas vaihtoehto, mutta sille ei mielestäni ole perusteita, kun tarkastellaan huollon tihentämistä tai kokonaan poisjättämistä puoltavat argumentit seuraavassa:

- Valmistajien huolto-ohjeissa vähäöljykatkaisijoiden perushuollon suoritusväleiksi suositellaan 2–3 vuotta tai useampi sata katkaisukertaa nimellisvirralla tai muutamia katkaisuja oikosulkuvirralla. Yleensä katkaisukertojen määrät eivät tule täyteen suurjänniteverkon katkaisijoilla ja tällä hetkellä huoltovälinä on käytetty kuutta vuotta.
- Vähäöljykatkaisijat ovat vanhoja komponentteja keski-ään ollessa jo 40 vuotta ja tutkimuksen mukaan vikaantumisriski kasvaa katkaisijan iän mukaan merkittävästi, joten huoltoväliä olisi hyvä tihentää siinä tapauksessa, jos yhtiöllä ei ole aikeita investoida uusiin laitteisiin lähivuosina. Tämä täytyy ottaa huomioon, koska katkaisijoilla on tärkeä rooli verkon turvallisuuden ja toiminnan kannalta.
- Myös asiantuntija suosittelee katkaisijoiden vaihtoa uusiin muun muassa vaarallisten vikojen ilmenemisen ja varaosien heikon saatavuuden vuoksi.
- Vähäöljykatkaisijat ovat verkosta poistumassa olevia komponentteja, mutta mikäli ne säilyvät käytössä vielä pidempään ja huoltoja tihennetään kolmeen vuoteen, saadaan huoltoja ajoitettua samoille vuosille joka toinen kerta kaasukatkaisijoiden kanssa, jolloin huoltorytmit pysyy helposti hallittavissa.
- Jos katkaisijat päätetään uusia lähiaikoina, voidaan ennakoiva ulkopuolisen palveluntarjoajan toteuttama huolto jättää kokonaan pois ylimääräisten kustannusten

karsimiseksi ja huoltaa katkaisijoita vain tarvittaessa. Tällöin sähköasematarkastusten yhteydessä on hyvä suorittaa tehostettuja tarkastuksia esim. lämpökuvaamalla katkaisijoita jokaisen tarkastuksen yhteydessä mahdollisten poikkeavuuksia havaitsemiseksi.

8.3 110 kV:n erottimet

Nykytila-analyysin perusteella erottimien nykyiset huolto-ohjeet ja kunnossapitoaikataulu vastaavat ajallisesti toisiaan. Tarkastuspöytäkirjojen mukaan erottimissa ei ole ollut mainittavia vikoja. Huoltotietojen satunnaisuuden ja pienen otannan vuoksi soveltan jälleen Kuosan (2007) diplomityön tuloksia ja teen niiden perusteella johtopäätöksiä. Huolto-ohjetta ja asiantuntijan näkemystä käytän kuitenkin ensisijaisena runkona huollon ajoittamiseen.

Erottimien huollon toimenpideaikavälille on jatkossa mielestäni kaksi vaihtoehtoa: Erottimien kunnan tarkka selvittäminen ja sen perusteella suunnitelma erottimien uusimiseen, jolloin erotinkanta uudistuisi ja erottimien huoltoa voitaisiin suorittaa kokemusten puuttuessa valmistajan ohjeiden perusteella. Tai toisaalta, mikäli erotinkantaa ei uudisteta, voidaan huollon aikataulu pitää samana. Mielestäni on perusteltua pitää erottimien huoltoaikataulu tällä hetkellä ennallaan seuraavin perustein:

- Laitekohtaisissa huolto-ohjeissa huoltoväli määritellään samanlaiseksi kuin se nykyisellään on yhtiön huoltosuunnitelmassa.
- Asiantuntijan suosituksena on käyttää samaa huoltoväliä kuin valmistajan oppaassa.
- Tutkimuksen mukaan erottimien vikataajuus pysyy suhteellisen vakiona erotintyyppistä riippumatta ja erottimissa esiintyy vikoja melko satunnaisesti ja hyvin tyyppikohtaisesti, jolloin huollon toimenpiteitä on hyvä tehdä valmistajan antamalla huoltovälillä, etenkin erotinkannan ollessa näin vanhaa.
- Erotinkanta on pieni ja tarkkaa suunnitelmaa erottimien uudistamisesta ei ole, jolloin voidaan pitää järkevänä suorittaa huollot kaikille erottimille samalla välillä, sillä näin huoltojen rytmitys pysyy hallinnassa.

8.4 110 kV:n mittamuuntajat

Yhtiön mittamuuntajien kunnossapitosuunnitelman mukaiset huoltotoimenpiteet on tehty ajallaan ainakin tänä vuonna ja laitekanta on suurelta osin uusiutunutta mutta osin myös todella vanhaa. Vanhimmat laitteet ovat Strömbergin KOTU virtamuuntajia ja KRRS jännitemuuntajia, jotka ovat käyttöikänsä ääripäässä tällä hetkellä ja laitekanta tulee niiltä osin pian vaihtumaan. Mittamuuntajat ovat tyypillisesti huolto-ohjeiden ja asiantuntijanäkemyksen mukaan hyvin vähän huoltoa vaativia komponentteja. Kunnossapitosuunnitelmassa on mittamuuntajien huolto toteutettu kolmen vuoden välein joka toisella kerralla mittaavana ja joka toisella tarkastavana. Kunnossapitosuunnitelmasta olisi mielestäni seuraavin argumentein perusteltua jättää kolmen vuoden välein suoritettava tarkastushuolto kokonaan pois ja tehdä huolto vastaisuudessa vain kuuden vuoden välein pelkästään mittaavana:

- Valmistajien huolto-ohjeiden mukaan mittamuuntajat vaativat hyvin vähän, jos ollenkaan huoltoa elinkaarensa aikana.
- Asiantuntijan mukaan kunnossapitoaineisto on osoittanut noin viiden vuoden huoltovälin olevan laitteille sopiva.
- Vanhat laitteet tulevat verkosta poistumaan pian, jolloin mittamuuntajakanta olisi suhteellisen uusi kokonaan ja voitaisiin huoletta käyttää kuuden vuoden huoltosykliä ilman pelkoa odottamattomista vanhuuden aiheuttamista vikaantumisista laitteissa.

8.5 20 kV:n kojeistot

Nykyinen suunnitelma kojeistojen kunnossapidosta on viiden vuoden tarkastuskierrolla ja kaikki yhtiön kojeistot tarkastetaan samana vuonna. Huollon toimenpiteitä tehtäessä noudatetaan kunkin laitteen omia huolto-ohjeita. Yhtiön huolto-ohje laitteiden huollosta on kuitenkin ristiriidassa varsinaisen tarkastusaikataulun kanssa ja on siten perusteena kojeistojen kunnossapidon suunnitelman päivittämiseen. Mielestäni tarkastuskierron voisi tehdä vastedes viiden vuoden syklillä siten, että joka toisella kerralla tehtäisiin koko kojeiston tarkastus ja joka toisella kojeiston muut laitteet paitsi katkaisijat. Perusteet tarkastusten suorittamiselle ovat:

- Kojestot ovat osin vanhaa ja osin uutta, mutta yhtiöllä on niin pieni verkko ja vähän asemia, että tarkastukset kannattaa suorittaa kaikille kojeille samana vuonna ja yhdellä kertaa, jolloin kustannukset ja huoltosykli pysyvät helposti hallinnassa.

- Kojeissa on verrattain uudet katkaisijat, jotka eivät vaadi käytännössä muuta huoltoa, kuin tyhjän ja ohjainlaitteen tarkastamisen kymmenen vuoden välein.
- Asiantuntija ja huolto-ohjeet suosittelevat kaikille muille kojeiston laitteille, paitsi katkaisijoille, tarkastuksien väliksi viittä vuotta.
- Kojestojen erottimille tai maadoituskytkimille voidaan harvoin suorittaa vetreyttäviä kytkentöjä niiden käytön aikana, johtuen keskeisestä asemasta sähkönjakelussa, jolloin huoltovälin pidentämistä ei voida kunnolla perustella.

8.6 Päämuuntajat

Päämuuntajien huoltohistoriasta löytyi merkintöjä paljon verrattuna muihin komponentteihin. Strömbergin muuntajien täyshuoltojen raporteista näkyi, että 2000-luvun alussa tehtyjen täyshuoltojen perusteella muuntajat ovat olleet hyvässä käyttökunnossa. Tähän mennessä tehdyistä öljyanalyyseistä löytyi kattavat tiedot, joista viimeisimpien analyysien mukaan muuntajaöljyt ovat hyvässä käyttökunnossa. Viimeisimmät tarkastushuollot ja niissä esiintyneet viatkin oli dokumentoitu hyvin. Ilmeistä on, että vikoja esiintyy, koska niitä on dokumentoitu kummallakin huoltokerralla kahdessa edellisessä huollossa.

Nykyisessä kunnossapitosuunnitelmassa öljyanalyysit ovat olleet kahden vuoden välein vuoteen 2012 saakka, jolloin ne on alettu tekemään vuoden välein kaikille päämuuntajille. Käämikytkinhuollot on suoritettu edellisen kerran kuuden vuoden välein ja nyt suunnitelmassa on seuraava huolto viiden vuoden välillä edellisestä. Kunnossapitosuunnitelmasta näkyy, että yhtiön uusimmalle päämuuntajalle ei ole vielä suoritettu yhtään huoltokertaa ja sen käämikytkinhuolto on siten ensimmäinen kuuden vuoden jälkeen käyttöönottopäivästä.

Asiantuntijoiden näkemysten ja nykyisen kunnossapitosuunnitelman perusteella en tekisi paljon muutoksia päämuuntajien huollossa. Öljyanalyysit suoritetaan asiantuntijanäkemysten kanssa yhteneväisesti vuoden välein, vaikka ne voitaisiin uusimmalle päämuuntajalle suosituksen mukaan suorittaa jopa kolmen vuoden välein. Yhden ylimääräisen öljynäytteen ottaminen ja analyysin teettäminen ei ole kuitenkaan suuri kuluerä ja muuntajan kunnan tarkkailua on helppo seurata muiden päämuuntajien kanssa samaan aikaan. Pienessä verkossa seurantaa on toisaalta helppo tehdä yhdelle päämuuntajalle erikseenkin. Mikäli päämuuntajan tärkeyttä sähkönjakelun ketjussa

ajatellaan huoltoperusteena, niin huolimatta valmistajan suosituksesta öljynäytteen ottamiseen kolmen vuoden välein, itse suosittelen sen tekemistä edelleen joka vuosi.

Käämikytkinhuoltojen tekemistä voidaan mielestäni jatkaa samalla huoltosyklillä kuin tähänkin asti. Huoltosykli on myös asiantuntijoiden suositusten mukainen. Huolloissa kannattaa kiinnittää huomiota käämikytkimien toimintakertojen ja ilmankuivausrakeiden näyttämän seurantaan kuukausitarkastusten pohjalta, jolloin huoltoja voidaan ajoittaa tarkemmin tarpeen mukaan. Kunnossapitosuunnitelmaan laittaisin huoltoväliksi kuusi vuotta, jota on helppo seurata ja tarvittaessa passata käämikytkimien toimintakertojen tai ilmankuivausrakeiden mukaan.

Perushuoltojen ajankohdat yhtiön muuntajissa eivät ole juuri nyt ajankohtaisia, mutta sellaisten tekemiseen on hyvä pitkän tähtäimen huoltosuunnitelmassa varautua. Uudessa kunnossapitosuunnitelmassa täyshuoltovaruksen voisi kirjata kummallekin uudemmalle muuntajalle erikseen noin kahdenkymmenen käyttövuoden paikkeille, jolloin varauksen tullessa ajankohtaiseksi, voi selvittää valvovan toimijan sen hetkisen kannan päämuuntajan täyshuollon huomioimisesta taloudellisesti ja alkaa keskustella palveluntuottajan kanssa huollon tarpeellisuuden selvitystyöstä ja itse huollon mahdollisesta ajankohdasta.

8.7 Akustot ja varaajat

Avoimet akustot ovat käsitellyn tutkimuksen mukaan erittäin varmoja ja pitkäkestoisia, mikäli niitä käytetään ja huolletaan oikein. Tällä hetkellä yhtiön asemien akustot ovat hyvässä käyttökunnossa ja ne on kahdennettu asemien päämuuntajien syöttöjen välillä. Akustoja huolletaan nyt vuoden välein, kuten on suositeltu kunnossapitoa suorittavan ulkoisen palveluntuottajan ja yhtiön verkostotyönjohtajan toimesta, mutta mielestäni tutkimuksen osoittaman akkujen käyttövarmuuden ja niiden kahdennuksen perusteella yhtiö voisi harkita saman huoltomallin käyttöönottamista, mitä tutkimuksessa on esitetty Vantaan Energialle.

Edellä mainitun mallin käyttöön voisi olla perusteita, mikäli akustojen kunnon tarkkailuun kiinnitetään jatkossa enemmän huomiota kolmen kuukauden välein suoritettavassa oman henkilöstön tarkastuksessa. Jos kuukausitarkastuksessa mitataan akkujen kennojännitteet huolella ja tarkastetaan akkujen nestepinnat samalla täyttäen vajaat kennot, niin vuosittainen kapasiteettikoe ei toisi kovin paljon lisäarvoa kunnossapitoon ja se voitaisiin hoitaa samalla syklillä kuin, mitä Vantaan Energialle on esitetty. Lisäksi ainakin osassa nykyisin käytössä olevia

varaajia on ominaisuus, joka mahdollistaa akkujen kunnossapitokoestuksen automaattisesti kerran vuorokaudessa, jolloin tämä ominaisuus otettaessa käyttöön, on turvallisuus ja käyttövarmuus erittäin korkealla tasolla pidemmälläkin huoltovälillä. Toisaalta yhtiön akustojen määrän ollessa todella pieni ja siten helposti hallittavissa, voidaan kaikki akustot huoltaa samalla syklillä kustannustehokkaasti ja käyttövarmuus pysyy varmasti hyvällä tasolla, etenkin kun kaikissa varaajissa kyseistä ominaisuutta ei kuitenkaan ole.

Varaajien kunnossapito on nykyisen kunnossapitosuunnitelman kuuden vuoden tarkastusvälillä mielestäni sopivalla tasolla. Varaajat ovat alan asiantuntijoiden mukaan erittäin toimintavarmoja ja lähes huoltovapaita normaalioloissa. Koska yhtiöllä on vain muutama varaaja, voidaan kunnossapitotarkastukset suorittaa mielestäni edelleen kaikille varaajille kuuden vuoden määrävälein, koska aika ajoin on hyvä tarkastaa varaajien elektronisten osien kunto. Varaajien jännitteen voi tarkastaa ja kirjata ylös kuukausitarkastusten yhteydessä ja tehdä varaajaan säätöjä, mikäli säädöt näyttävät olevan väärällä tasolla.

8.8 Maasulun kompensointilaitteistot

Maasulun kompensointilaitteiston huollosta ja kunnossapidosta ei ole aikaisempaa kokemusta, joten suosittelen tarkastuksissa noudatettavan valmistajan ohjeita huollosta. Käytännössä maadoitusmuuntajan maksimikäyntilämpötila, öljyvuodot sekä liitännät kannattaa tarkastaa vuosittain. Kahden vuoden välein suosittelen suorittamaan vuositarkastuksen laajempaan, jolloin käydään läpi edellisten lisäksi kaikki kappaleen seitsemän huolto-ohjeessa luetellut silmämääräiset tarkastustoimenpiteet lävitse. Näitä ovat muuntajan eri osien puhdistukset ja eheyden tarkastukset. Valmistaja suosittelee myös kompensointikelalle tehtäväksi silmämääräisiä tarkastuksia. Tarkastukset olisi hyvä suorittaa puolivuosittain sekä laajennettuna kahden vuoden välein ja ne olisi mielestäni järkevää ajoittaa maadoitusmuuntajan kanssa samalle ajalle, koska laitteet sijaitsevat samassa tilassa.

Muuntajan suojalaitteiden koestuksissa kannattaa noudattaa valmistajan ohjetta, jonka mukaan ne tulisi suorittaa viimeistään viiden vuoden välein. Suojalaitteiden koestukset olisi järkevää liittää osaksi muidenkin relekoestusten kiertorytmiä, jolloin suojalaitteiden tarkastukset tapahtuisi samalla kerralla. Etenkin yhtiön tapauksessa tällainen järjestely voisi olla fiksu, koska suojalaitteita on muutenkin niin vähäinen määrä ja kaikki saataisiin hoidettua siten samalla kertaa.

Maadoitusmuuntajan ja kompensointikelan öljynäytteiden ottamista valmistaja suosittelee viiden vuoden välein. ABB:n asiantuntija ja tutkimustyö puoltavat myös näkemystä, jonka mukaan öljynäytettä ei tarvitsisi ottaa useammin kuin viiden vuoden välein. Johtuen muuntajan ja kelan hermeettisistä rakenteista ja ei jatkuvasta rasittavasta käytöstä, katsoisin öljynäytteen ottamisen useammin olevan turhaa ja suosittelen siten noudattamaan valmistajan ja asiantuntijan ohjeita.

Kelan säätäjälle suositeltu huoltoväli on viisi vuotta. Käytännössä säätäjän toiminnot koestetaan ja tarkastetaan toimiiko tiedonsiirto järjestelmien välillä. Säätäjän akku suositellaan vaihdettavaksi uuteen joka toisella säätäjän huoltokerralla eli noin kymmenen vuoden välein. Koska aiempaa kokemusta säätäjän huollosta ei ole, suosittelen noudattamaan maahantuojan ohjeistuksia.

ABB:n asiantuntijan mukaan laitteiston erottimien tarkastus kannattaa tehdä viiden vuoden välein. Tarkastuksen voisi suorittaa mielestäni järkevästi joko muun kompensointilaitteiston tarkastusten kanssa samaan aikaan tai asemien muiden erottimien tarkastusten kanssa samaan aikaan.

Valmistajan suosittelman perushuollon teettämistä kompensointikelalle suosittelen katsomaan tilanteen mukaan. Perushuollon teettämiseksi on suositeltu 15 vuotta, mutta kannattaa seurata muissa tarkastuksissa ilmenneitä puutteita ja tehdä itse omien havaintojen perusteella johtopäätöksiä ensin kannattaako kelan perushuolto suorittaa ja missä välissä.

8.9 Relekoestukset

Nyt relekoestukset tehdään kolmen vuoden välein suojarelleille ja tasasähköjärjestelmän jännitteenvalvonnalle, sekä koestuksien yhteydessä tarkastetaan hälytysyksiköiden ja jännitteensäätäjien toiminta. Laitekanta on suhteellisen uusi eikä laitteissa ole paljon mekaanisia tai sähköisiä osia, mitkä voisivat kulua normaalisti käyttämällä rikki.

Yhtiön verkostotyönjohtajan näkemys relekoestusten nykyisestä suorittamistiheydestä on, että koestuksia suoritetaan riittävän usein ja ne ovat tarpeellisia. Lisäksi valmistaja ja maahantuojan asiantuntija suosittelevat tarkastusten tekemistä vähintään viiden vuoden välein. Jännitteensäätäjille ja hälytyskeskuksille ei ole tarpeellista tehdä kulumisen takia tarkastuksia, ja niiden tarkastamiseen kuluva aika on mitätön vähäisestä määrästä johtuen. En näe tarvetta muuttaa tarkastusten ja koestusten suoritusstiheyttä.

8.10 Jännitetyövälineet ja muut varusteet

Jännitetyövälineiden ja muiden sähkötöissä käytettävien varusteiden kunnossapito on ollut kunnossapitosuunnitelman mukaan hyvin vähäistä. Suunnitelman päivittämättömyys on varmasti ollut osasyyninen sen ohella, että hyvin organisoitu tarkastuskierto on puuttunut.

Kunnossapidossa on suositustenmukaisten ohjeiden mukaan paljon kehitettävää, kun ohjeita vertaa nykytila-analyysin antamaan kuvaan kunnossapidon tämänhetkisestä tilasta. Suositellen kunnossapito-ohjeistuksen päivittämistä työturvallisuusohjeiden mukaisiksi laitteiden omat huolto- ja kunnossapito-ohjeet huomioon ottaen niiden laitteiden ja varusteiden osalta, kuin yhtiöllä on käytössään, koska käytännössä ohjeistus edellyttää vähintään kyseisiä tarkastuksia suoritettavan työturvallisuusohjeiden edellyttämällä tasolla.

8.11 Yleisiä ohjeita

Komponenttien huolto-ohjeet olisi hyvä kahdentaa. Asemilla voisi olla omat paperiversiot huolto-ohjeista siististi ja selkeästi saatavilla ja verkostohuollon kansiossa digitaalisena versiona. Myös sähköturvallisuuslaki edellyttää huolto-ohjeiden saatavuutta. Ohjeiden saatavuus tarkistetaan määräaikaistarkastusten yhteydessä, mutta siihen on hyvä kiinnittää huomiota myös omien kunnossapitotarkastusten yhteydessä. Huoltoraportointi kannattaa viedä keskitetysti tietokoneelle tai säilyttää paperisena, josta vienti koneelle aika ajoin. Laki velvoittaa myös tarkastusraporttien säilyttämiseen.

Huollon vastuuhenkilöiden tarkka määrittely ja jonkinlainen kunnossapitovastuuorganisaatio olisi hyvä muodostaa yhtiössä, niin vastuut selkenevät ja tarkastusten tekemistä voidaan valvoa paremmin. Tämä edellyttää selkeää ohjeistusta vastuussa oleville henkilöille heidän vastuistaan ja niiden hoitamisen toimintatavoista.

Lähtökohtaisesti yhtiöllä on niin pieni verkko ja vähän asemia sekä niiden laitteita, että kunnossapitotarkastukset yhdelle komponenttiryhmälle on fiksua suorittaa kerralla, vaikka laitteissa olisi eri valmistajia ja heillä eri ohjeistukset, koska yhden laiteryhmän tarkastukset saadaan helposti hallittua kunnossapito-ohjelmassa ja säästyään esim. ylimääräisiltä matkakustannuksilta, mitkä palveluntarjoaja veloittaa käydessään. Tämä on hyvä pitää mielessä tarkastusaikatauluja suunnitellessa tulevaisuudessa.

9 YHTEENVETO

Tämä diplomityö tehtiin Outokummun Energia Oy:n toimeksiannosta. Toimeksiannon perusteena oli Energiaviraston jakeluverkkoyhtiöille antamat vaatimukset jakeluverkon toimintavarmuuden ylläpitämisestä ja sähkön laadun sekä toimitusvarmuuden takaamisesta, mitkä liittyvät olennaisesti verkon huoltoon ja kunnossapitoon. Työn kirjallisen osion tavoitteena oli tehdä kattava selvitys kunnossapitoon liittyvistä laeista ja muista määräyksistä sekä analysoida yhtiön nykytila-analyysin ja laitteiden huolto- ja kunnossapitoon liittyvien kunnossapitotoimintojen tilaa ja tehdä sen perusteella mahdollisia kehitysehdotuksia yhtiön kunnossapitotoimintaan.

Diplomityössä selvitettiin vuoden 2017 alussa voimaan tulleen sähköturvallisuuslain 1135/2016 ja sen asetusten, sekä muiden aihepiiriin julkaisujen sähkönjakeluverkon huoltoon ja kunnossapitoon liittyvät ohjeistukset ja määräysperusteet. Selvisi, että laissa veloitetaan jakeluverkonhaltijaa suorittamaan laitteistoilleen kunnossapitoa. Kunnossapito on määritelty jakeluverkon laitteille tehtäviksi tarkastus- ja koestustoimenpiteiksi, joiden perusteella suoritetaan huoltotoimenpiteitä. Olennaisena osana kunnossapitoa ovat myös tarkastuksista raportointi ja kirjanpito. Tarkempaa sisällöllistä määrittelyä tehtäville tarkastuksille ja koestuksille ei laissa määrätty, vaan sisältö riippuu paljon tarkastettavasta laitteesta.

Laissa ja asetuksessa määritellyt viranomaistarkastukset ja verkonhaltijan kunnossapitosuunnitelma käsiteltiin sähköalan standardeihin pohjautuvien ST-korttien mukaan erikseen. Viranomaistarkastuksista käyttöönottotarkastus tulee suorittaa käyttöönotettavalle laitteistolle viimeistään kolme kuukautta käyttöönoton jälkeen tai jakeluverkkojen tapauksessa rakentamista seuraavan vuoden kuluessa. Tarkastuksessa tutkitaan laitteiden määräysten täyttyminen ja sen saa suorittaa siihen oikeudet omaava henkilö. Määräaikaistarkastus suoritetaan lain mukaan viiden vuoden välein jakeluverkoille. Tarkastuksessa laitteiston turvallinen käyttö ja että kunnossapitoa on riittävästi turvallisuuden tason ylläpitämiseksi. Määräaikaistarkastuksien tuloksista on tehtävä ilmoitus valvovalle viranomaiselle Tukesille.

Kunnossapitosuunnitelman todettiin koostuvan pääosin pien- ja keskijännitejakeluverkkojen sekä sähköasemien kuntotarkastuksista. Suunnitelman tavoitteena on sähkölaitteiston turvallinen käyttö ja sillä ajoitetaan laitteistojen kunnossapitotoimenpiteet niille oikeisiin aikoihin. Hyvin tehdyllä

kunnossapitosuunnitelmalla saadaan jatkettua laitteiston elinikää, sekä hallittua laitteistojen elinkaaren mukaan aiheutuvia kustannuksia.

Nykytila-analyysillä tutkittiin sähköasemakomponenttien sekä jännitetyövälineiden huollon ja kunnossapidon tarkastusten toteutumista Outokummun Energia Oy:ssä tällä hetkellä. Nykytila-analyysi toteutettiin käytännössä tutustumalla yhtiön nykyiseen huolto- ja kunnossapitosuunnitelmaan ja tutkimalla aiempia kunnossapidon tarkastusraportteja. Lisäksi kunnossapidon nykytilaa arvioitiin yhdessä verkostopäällikön ja verkostotyönjohtajan kanssa keskustelemalla, sekä käytännössä tutkimalla paikan päällä mitä komponentteja yhtiön sähköasemilla on. Nykytila-analyysin perusteella yhtiön kunnossapitosuunnitelma ei ollut kaikilta osin ajan tasalla, mutta siitä huolimatta tarkastukset oli suoritettu ilmeisen ajallaan. Aikaisemmista huolloista tehtyjä raportteja löytyi huonosti, mikä voi joidenkin komponenttien kohdalla johtua niiden uutuudesta, jolloin niille ei vielä ole suoritettu välttämättä tarkastuksia, tai toisaalta yksinkertaisesti huonosta raporttien arkistoinnista. Raporttien sisältö oli hyvä, mutta välttämättä jokaista huomattua epäkohtaa ei ollut kirjattu vikana.

Laitteiden huolto-ohjeita tutkimalla, alan asiantuntijoiden kanssa keskustelemalla ja aihepiirin tutkimustöitä tarkastelemalla saatiin komponenttikohtaisten kunnossapitotarkastuksien suorittamiselle perusteet. Nykytila-analyysin perusteella tehtyjä huomioita komponenttien huoltoajoista ja vikaantumisesta yhtiön verkossa verrattiin komponenttien huolto-ohjeista ja muista huoltooperusteista saatuihin suosituksiin kunnossapitotarkastusten suoritusväleistä. Tämän tarkastelun perusteella pohdittiin ja laadittiin kehitysehdotuksia yhtiön sähköasemakomponenttien ja jännitetyövälineiden huoltoväleihin. Kehitysehdotuksissa lähes kaikille komponentille suositeltiin muutoksia kunnossapidon tarkastusväleihin. Osa komponenteista ei ollut kunnossapitosuunnitelmassa ollenkaan, ja ne suositeltiin sinne lisättävän.

10 LÄHTEET

- ABB 1996 ABB 14.10.1996 SPAU 341C Jännitteensäädin: Käyttöohje ja tekninen selostus.
- ABB 1998 ABB 28.4.1998 SACO 16D1 Hälytysyksikkö: Käyttöohje ja tekninen selostus.
- ABB 2000 ABB Teknisiä tietoja ja taulukoita–käsikirja 7/2000.
- ABB 2003 ABB 20.10.2003 DISCONNECTOR TYPE NSA: Operation manual.
- ABB 2006 ABB 13.12.2006 IMB 36–170 Kv Current Transformer 1HSE: Operating instruction.
- ABB 2014 ABB Live Tank Circuit Breakers: Buyer’s Guide – Section LTB family. Julkaistu 4/2014. Luettu 4.11.2017. Saatavilla: <https://library.e.abb.com/public/9c1ec4b8ebf937f0c1257cc9004b0cda/B.G.%20HV%20LT%20Circuit%20Breakers%20Ed%206en%20LTB%20family.pdf>
- ABB Strömberg 1991 ABB LTB Katkaisija manuaali, 4.4.1991, Luettu 4.11.2017.
- Arte 2017 Arte Anders 2017, Multirel, Sähköjakelelu asiantuntija: Muuntajat, kaasuanalysaattorit ja mittalaitteet. Asiantuntijan kanssa käyty puhelinkeskustelu syksyllä 2017.
- Arteche 2017 High voltage instrument transformers, esite, 2017. Saatavilla: <https://www.artech.com/en/products/current-transformers>
- Autio 2003 Autio Isto, ST–kortti 96.01 Sähkölaitteiston huolto ja kunnossapito. Sähköinfo Oy, 15.2.2003. Luettu 5.9.2017.
- Autio 2002 Autio Isto, ST–kortti 96.02 Hoito- ja kunnossapito–ohjelman laadinta. Sähköinfo Oy, 15.9.2002. Luettu 5.9.2017
- Asetus 1434 2016 Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 1434/2016. Julkaistu 21.12.2016. Luettu 22.7.2017. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161434>
- Elovaara, Haarla 2011 Elovaara Jarmo, Haarla Liisa, Sähköverkot II; Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Otatieto, Helsinki 2011. ISBN 978-951-672-363-4

- Energiateollisuus 1997 Energiateollisuus ry, Verkonhaltijan toimesta suoritettavat tarkastukset TA 1:97, verkostosuositus. Luettu 10.9.2017.
- Energiavirasto 2015 Energiavirasto 10.12.2015, Raportti: Sähköverkkoliiketoiminnan kehitys, sähköverkon toimitusvarmuus ja valvonnan vaikuttavuus 2015. Luettu 25.10.2017. Saatavilla: <https://www.energiavirasto.fi/raportit-ja-selvitykset>
- Forsblom 2017 Forsblom Mikael, Sales Manager, Multirel 2017. Sähköpostikirjeenvaihdon kautta saadut valmistajan huolto-ohjeet yhtiön edustamille maasulun kompensointilaitteistoille ja maadoitusmuuntajille.
- Heikkilä 2009 Heikkilä Paula 2009, Sähköverkon kunnossapitojärjestelmän kehitys, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. Luettu 21.7.2017. Saatavilla: https://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dyot/Heikkila_Paula_julk.pdf
- Isomäki 2010 Isomäki Raimo 2010, Sammutetun keskijänniteverkon kompensointilaitteiston lisävastuksen ohjaus, opinnäytetyö, Vaasan Ammattikorkeakoulu. Luettu 28.10.2017. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16790/Isomaki_Rami.pdf
- Kaikuranta 2017 Kaikuranta Terho 2017, Ellego Powertec Oy, tuotekehitystiimi. Tuotekehityshenkilön kanssa käyty puhelinkeskustelu 11.12.2017.
- Korhonen 2017 Korhonen Timo 2017, ABB, Sales Engineer, Power Product service. Asiantuntijan kanssa käyty sähköpostikirjeenvaihto, puhelinkeskustelut ja ABB:n huoltoyksikön tutustumis-/keskustelutilaisuus syksyllä 2017.
- Knuutinen 2017 Knuutinen Ville 2017, Työmaadoituksessa käytettävien välineiden kunnossapitotarkastukset Suomessa, opinnäytetyö, Metropolia Ammattikorkeakoulu. Luettu 28.10.2017, Saatavilla: http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/124210/Knuutinen_Ville.pdf?sequence=1
- Kuosa 2007 Kuosa Daniel 2007, Vika- ja kunnossapitotietojen hyödyntäminen suurjännitekytkinlaitteiden kunnonhallinnassa, diplomityö, Helsingin teknillinen korkeakoulu. Luettu 10.10.2017. Saatavilla: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2007/urn009894.pdf>
- Lakervi, Partanen 2008 Lakervi Erkki, Partanen Jarmo, Sähkönjakelutekniikka. Otatieto, Helsinki 2008. ISBN 978-672-357-3

- Laurila 2010 Laurila Jonne 2010, VAMP 265-suojareleen käyttöönottokeustusohje, opinnäytetyö, Vaasan Ammattikorkeakoulu, Luettu 24.10.2017. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16768/laurila_jonne.pdf?sequence=1
- Mäntylä 2011 Mäntylä Lauri 2011, Keskitetyn maasulkusuojan toimintaperiaatteet ja käyttö, Tampereen ammattikorkeakoulu, Luettu 11.12.2017. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/28076/Mantyla_Lauri.pdf?sequence=1
- Mäntynen, Tamminen 2016 Mäntynen Jukka, Tamminen Jukka, Työturvallisuusohje STO7/2016, Työsuojelu sähköaloilla: Sähkönjakelu. Saatavilla: https://ttk.fi/tyohyvinvointi_ja_tyosuojelu/toimialakohtaista_tietoa/teollisuus/sahkoalat/sahkoalojen_tyosuojeluohjeet
- Nyström 2017 Nyström Henrik 2017, Sähköasemien kuntokartoitus, opinnäytetyö, Vaasan Ammattikorkeakoulu, Luettu 9.9.2017, Saatavilla: http://theseus.fi/handle/10024/1677/discover?filtertype_0=subject&filter_relational_operator_0=equals&filter_0=s%C3%A4hk%C3%B6asemat&filtertype=author&filter_relational_operator=equals&filter=Nystr%C3%B6m%2C+Henrik
- Outokummun Energia 2017 Outokummun Energia Oy. Verkkosivut. Luettu 2.8.2017. Saatavilla: <http://outokummunenergia.fi/>
- Pesonen 2015 Pesonen Matti 2015, 20 kV ilmajohtoverkon maakaapeloinnin vaikutus maasulkusuojuukseen ja loistehotaseeseen, diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Luettu 28.10.2017. Saatavilla: https://energia.fi/files/1392/Diplomityo_Matti_Pesonen_2015_20_kV_ilmajohtoverkon_maakaapeloinnin_vaikutus_maasulkusuojuukseen_ja_loistehotaseeseen.pdf
- Piironen 2015 Piironen Mikko 2015, Sähköasemien kunnossapitoprosessin kehittäminen, diplomityö, Aalto Yliopisto, Luettu 10.10.2017. Saatavilla: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16242/master_Piironen_Mikko_2015.pdf?sequence=1
- Sahlman 2017 Sahlman Kimmo 2017, Verkostotyönjohtaja, Outokummun Energia Oy. Keskustelut ja sähköpostikirjeenvaihto syksyn 2017 aikana.
- Schneider Electric 2010 Schneider Electric 2/2010 Medium voltage distribution HVX vacuum circuit-breaker 12–17,5 kV (<2500 A, <31,5 kA): Installation operation maintenance technical instruction.

- SFS–EN 61243–1 2006 Suomen standardisoimisliitto SFS, SESKO ry, 16.5.2006 SFS–EN standardi 61243–1 Jännitetyöt. Jännitteenkoettimet. Osa 1: Kapasitiiviset koettimet yli 1 Kv vaihtojännitteelle. Luettu 28.10.2017
- SFS–EN 61230 2009 Suomen standardisoimisliitto SFS, SESKO ry, 22.6.2009 SFS–EN standardi 61230 Jännitetyöt. Siirrettävät työmaadoitusvälineet tai työmaadoitus- ja oikosulkuvälineet. Luettu 28.10.2017
- SFS 5825 2006 Suomen standardisoimisliitto SFS, SESKO ry, 23.1.2006 SFS standardi 5825 Sähkölaitteiston varmennustarkastus. Luettu 3.8.2017.
- SFS 6002 2015 Suomen standardisoimisliitto SFS, SESKO ry, 16.3.2015 SFS standardi 6002 Sähkötyöturvallisuus. Luettu 4.8.2017.
- Siivonen 2007 Siivonen Kalle 2007, Sähköaseman tarkastukset, tutkintotyö, Tampereen ammattikorkeakoulu. Luettu 10.10.2017. Saatavilla: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9834/Siivonen.Kalle.pdf>
- Sikanen 2006 Sikanen Jouko, SLT Consults Oy, Sähkölaitteistojen ja verkoston rakentaminen ja käytönaikainen kunnossapito – Koulutusmateriaali, 1–2.11.2006. Luettu 19.10.2017
- Sikanen 2011 Sikanen Jouko, SLT Consults Oy, Sähköasemakoulutus – Koulutusmateriaali, 22–23.2.2011. Luettu 19.11.2017
- SLY 1994 SLY (Suomen Sähkölaitosyhdistys) 1994 Koulutusmateriaali, Energia ja kunnossapitomessut 1994 Tampere, käyttöpäivä.
- Strömberg 1965 Strömberg 24.3.1965 Ulosasennettava kiertoerotin OJYD, asennus- ja huolto–ohje.
- Sähköturvallisuuslaki 2016 Sähköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135. Luettu 21.7.2017. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161135>
- S & S 1969 Sprecher & Schuh 1969, Asennus- ja huolto–ohjeet Sprecher & Schuh-katkaisijoille, sarja HPF500F. Suomennos alkuperäisestä ohjeesta.
- Tamminen, Mäntynen 2016 Tamminen Jukka, Mäntynen Jukka, Työturvallisuusohje STO1/2016, Työsuojelu sähköaloilla: Yleinen osa. Saatavilla: https://ttk.fi/tyohyvinvointi_ja_tyosuojelu/toimialakohtaista_tietoa/teollisuus/sahkoalat/sahkoalojen_tyosuojeluohjeet

- Tamminen, Mäntynen 2017 Tamminen Jukka, Mäntynen Jukka, Työturvallisuusohje STO2/2017 Työsuojelu sähköaloilla: Sähköturvallisuus. Saatavilla: https://ttk.fi/tyohyvinvointi_ja_tyosuojelu/toimialakohtaista_tietoa/teollisuus/sahkoalat/sahkoalojen_tyosuojeluohjeet
- Tiainen 2017a Tiainen Esa, ST-kortti 51.23 Määräaikaistarkastuksen suorittaminen. Sähköinfo Oy, 5.4.2017. Luettu 24.7.2017.
- Tiainen 2017b Tiainen Esa, ST-kortti 51.24 Varmennustarkastuksen suorittaminen. Sähköinfo Oy, 7.4.2017. Luettu 7.8.2017.
- Tukes 2017a TUKES lehdistötiedote 3.2.2017, Uusi sähköturvallisuuslaki velvoittaa kunnossapitoon. Luettu, viitattu 18.7.2017. Saatavilla: <http://www.tukes.fi/fi/Ajankohtaista/Tiedotteet/Sahkolaitteistot-ja--urakointi/Uusi-sahkoturvallisuuslaki-velvoittaa-kunnossapitoon-ja-yksinkertaistaa-tarkastusvaatimuksia/>
- Tukes 2017b Tukes verkkosivut. Päivitetty 16.5.2017. Luettu 21.7.2017. Saatavilla: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/>
- Tukes-ohje 16 2017 Tukes-ohje 16 10.1.2017. Sähkölaitteistot ja tarkastukset. Luettu 24.7.2017. Saatavilla: <http://www.tukes.fi/fi/Palvelut/Tukes-ohjeet/1Sahko-ja-hissit/>
- Tukes-ohje 19 2017 Tukes-ohje 19 27.1.2017. Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit (S10-2015). Luettu 23.7.2017. Saatavilla: <http://www.tukes.fi/fi/Palvelut/Tukes-ohjeet/1Sahko-ja-hissit/>
- UTU 2002 UTU Oy 14.5.2002 UniPOWER24-kojeiston asennus-, käyttö- ja huolto-ohje.
- Vanha 2012 Vanha Henri 2012, Sähköverkon tarkastukset, opinnäytetyö, Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Luettu 22.7.2017. Saatavilla: <http://www.theseus.fi/handle/10024/42163>
- Virolainen 2017 Virolainen Jari 2017, Enercotek Oy, toimitusjohtaja. Toimitusjohtajan titteliä kantavan alasta vuosien kokemuksen omaavan asiantuntijan kanssa käyty puhelinkeskustelu 11.12.2017.
- Virta 2017 Virta Joonas 2017, Schneider-electric, Area sales manager. Sähköpostikirjeenvaihto syksyn 2017 aikana.