

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

LUT Sähkötekniikka

Pasi Vornanen

**PIENJÄNNITEVERKON REAALIAIKAINEN HALLINTA JA VERKON
DOKUMENTOINTIPROSESSIT SANEERAUSTILANTEISSA**

Työn tarkastajat: Professori Jarmo Partanen

 TkT Jukka Lassila

Työn ohjaaja: TkT Anna Tanskanen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Sähkötekniikka

Pasi Vornanen

Pienjänniteverkon reaaliaikainen hallinta ja verkon dokumentointiprosessit saneeraustilanteissa

Diplomityö

2019

56 sivua, 18 kuvaa, 2 taulukkoa

Tarkastajat: Prof. Jarmo Partanen
TkT Jukka Lassila
Ohjaaja: TkT Anna Tanskanen

Hakusanat: Sähkönjakeluverkko, pienjänniteverkko, verkonvalvonta, dokumentointi

Sähköenergiajärjestelmä on muutoksien edessä uusiutuvan energiantuotannon ja sähköisen liikenteen lisääntymisen sekä jakeluverkkoihin kohdistuvien säävarmuusinvestointien takia. Perinteinen yksisuuntainen sähköjärjestelmä alkaa olemaan jo tiensä päässä ja tulevaisuudessa järjestelmältä vaaditaan mukautumista tuotannon sekä kuormituksen hajautumiseen ja vaihteluun. Pienjänniteverkon merkitys sähköverkon osana kasvaa energiantuotannon siirtymässä suurikokoisista keskitetyistä ratkaisuihin kohti hajautettua energiantuotantoa.

Tässä diplomityössä tutkitaan pienjänniteverkon hallintaa käyttöönotosta ensimmäiseen vikaantumisen aiheuttamaan keskeytykseen asti. Työn yhtenä tarkoituksena on selvittää sopivin ajankohta verkon käyttöönottoon liittyvien dokumentointimuutosten verkkotietojärjestelmän master-kantaan tallentamiselle ja verkon päivitykselle verrattuna käyttöönoton ajankohtaan.

Edistynyt käytöntukijärjestelmä yhdessä älykkäiden sähkömittareiden kanssa mahdollistaa pienjänniteverkon tehokkaan valvonnan ja vikojen havainnoinnin sekä laajuuden selvittämisen jo ennen asentajan paikalle menoa. Mitä nopeammin ja tarkemmin viat tulevat verkkoyhtiön tietoon, voidaan asiakkaille tiedottaa niistä ja antaa arvio vian korjaukselle.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Electrical Engineering

Pasi Vornanen

Low voltage network realtime management and network documentation processes at network renovation

2019

Master thesis.

56 pages, 18 figures, 2 tables

Examiners: professor Jarmo Partanen.
D.Sc. (Tech.) Jukka Lassila

Supervisor: D.Sc. (Tech.) Anna Tanskanen

Keywords: Low voltage network, Electricity networks, Distribution networks

The electricity system is facing significant changes in the upcoming years due to increasing renewable energy production and electrified transport, as well as, the weather-proofed distribution network investments. The traditional one-way electric distribution network is becoming insufficient and the system will be required to adapt better to the variation and fragmentation of the energy production and consumption in the future. The importance of the low-voltage grid as a part of the distribution network increases as the energy production moves from large-scale centralized solutions towards more decentralized energy generation.

In this thesis, the low-voltage network management is examined from the commissioning part to the first detected interruption that is caused by the fault in the system. One of the main purposes of the study is to resolve the most convenient time to store the documentation changes related to network commissioning to the Master-database and the update of the network, while comparing it to the timing of the commissioning.

Advanced distribution management system combined with smart electricity meters enables efficient monitoring of the low-voltage network and detection of the possible malfunction and its extent even before sending a repair unit to fix it. As the network company knows the faults in the network faster and more accurately, can the customers be notified better and to be provided more specified estimation for the repair.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin Carunalla sähköverkot-yksikön käyttökeskustimissä. Haluan kiittää mahdollisuudesta tehdä diplomityö mielenkiintoisesta aiheesta varsinaisen työni ohessa. Työn ohjaajana toimi Anna Tanskanen, jota haluan kiittää kärsivällisestä ja inspiroivasta ohjauksesta. Kiitokset kuuluvat myös kaikille työssä auttaneille ja työtä varten haastatelluille henkilöille sekä talon sisällä, että ulkopuolella.

Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta haluan kiittää professori Jarmo Partasta työn tarkastamisesta sekä hyvistä kommentteista. Yliopistolta saamani opetus on ollut laadukasta ja oppien avulla on helppo suunnata kohti uusia haasteita työelämässä.

Vanhempiani ja siskojani haluan kiittää tuesta ja kannustuksesta koko opiskelujeni ajan aina ala-asteelta lähtien.

Espoossa 25.5.2019

Pasi Vornanen

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1.	Johdanto.....	7
1.1	Työn tavoite.....	7
1.2	Caruna.....	8
2.	Pienjänniteverkko.....	10
2.1	Pienjänniteverkon suojaus ja sähköturvallisuus.....	12
2.2	Tulevaisuuden pienjänniteverkko ja verkon saneeraus.....	14
2.3	Keskeytysraportoinnin vaatimukset.....	16
3.	Verkon hallinta.....	20
3.1	Turvallinen käyttötoiminta.....	20
3.2	Tärkeimmät työkalut verkon valvonnassa.....	21
3.3	Älymittareiden hyödyntäminen pienjänniteverkon valvonnassa.....	24
3.4	Hajautetun tuotannon huomioon ottaminen verkon käytössä.....	27
3.5	Pienjänniteverkon muutosten dokumentointi.....	30
3.6	Kytkenät ja työkeskeytykset käytöntukijärjestelmässä.....	39
3.7	Viat pienjänniteverkossa.....	42
4.	Työvaikutukset.....	47
4.1	Suunnitellut kytkennät ja verkon käyttöönottoprosessi.....	47
5.	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	51
5.1	Kytkenätilanteen hallinta.....	52
5.2	Verkon dokumentointi käyttöönottoprosesseissa.....	52
	Lähteet.....	54

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

ADMS	Advance distribution management system, käytöntukijärjestelmä
AMR	Automated Meter Reading, automaattinen mittarin luenta
DMD	Käytöntukijärjestelmän työpöydällä käytettävä käyttöliittymä
IVR	Interactive Voice Response. Teknologia, joka mahdollistaa vuorovaikutuksen ihmisen ja tietokoneen välillä
KAH	keskeytyksen aiheuttama haitta.
PLC	Power Line Communications, sähköverkkotiedonsiirto
SCADA	Supervisory Control And Data acquisition, käytönvalvontajärjestelmä
SJ	Suurjännite
KJ	Keskijännite
PJ	Pienjännite

1. JOHDANTO

Sähkö on tärkeä osa nykyaikaista yhteiskuntaa. Teollistuminen ja teknologian kehittyminen on lisännyt sähköä tarvitsevien laitteiden määrää merkittävästi. Tämä on nostanut sähkön toimitusvarmuuden vaatimuksia. Huonolaatuinen ja katkeileva sähkö tuo harmia kuluttajille ja yrityksille. Sähkönjakeluverkko on linkki sähköntuotannon ja kulutuksen välillä, joten sen kunnolla on suuri vaikutus sähkön laatuun ja sitä kautta yhteiskunnan toimintaan.

Sähköenergiajärjestelmä on muutoksien edessä uusiutuvan energiantuotannon ja sähköisen liikenteen lisääntymisen sekä jakeluverkkoihin kohdistuvien säävarmuusinvestointien takia. Perinteinen yksisuuntainen sähköjärjestelmä alkaa olemaan jo tiensä päässä, tulevaisuudessa järjestelmältä vaaditaan mukautumista tuotannon sekä kuormituksen hajautumiseen ja vaihteluun. Pienjänniteverkon merkitys sähköverkon osana kasvaa energiantuotannon siirtyessä suurikokoisista keskitetyistä ratkaisuista kohti hajautettua energiantuotantoa.

Sähköverkko voidaan rinnastaa eräänlaiseksi prosessikoneeksi, jonka onnistunut hallinta vaatii jokaisen osion tilan tuntemisen riittävän tarkasti. Suur- ja keskijännitteisen jakeluverkon tilan seurantaan ja dokumentointiin on panostettu perinteisesti suuremmalla tarkkuudella pienjänniteverkon tullessa sivussa.

1.1 Työn tavoite

Työn tavoitteena on pienjänniteverkon hallinnan ymmärtäminen ja tarkastella käytöntukijärjestelmän antamia mahdollisuuksia verkon hallinnassa, sekä verkon käyttöönottoon liittyvien prosessien vertailu ja riskien tunnistaminen pienjänniteverkon muuttuessa. Työssä tarkastellaan verkon muutoksia verkon käytön ja valvonnan näkökulmasta. Työssä keskitytään verkon saneerausvaiheeseen ja käyttöönotosta ensimmäiseen vikaan asti muutaman vuoden ajanjaksolla. Lisäksi työn tavoitteena on löytää sopiva verkonpäivitysaikataulu verkkotieto- ja käytöntukijärjestelmiin pienjänniteverkon saneerauksen yhteydessä verrattuna keskijänniteverkon vastaaviin prosesseihin.

Työllä on tarkoitus vastata tutkimuskysymyksiin:

- Mikä on paras aika siirtää pienjänniteverkon dokumentoitu suunnitelma verkotietojärjestelmän master-kantaan verrattuna verkon käyttöönottoon verkon käytön näkökulmasta?
- Mitä on otettava huomioon pienjänniteverkon valvonnassa ja käytössä asiakaskokemuksen ja keskeytysraportoinnin parantamiseksi?

Tutkimuskysymysten ratkaisujen perusteella voidaan antaa perusteltuja ehdotuksia toimintatapojen muutoksille ja tarvittavien järjestelmien kehitykselle.

Työ koostuu johdannon ja yhteenvedon lisäksi kolmesta osasta. Teoriaosassa käsitellään pienjänniteverkon rakennetta, suojausta sekä keskeytysraportoinnin vaatimuksia. Toisessa osassa käsitellään turvallista käyttötoimintaa sekä työkaluja verkon hallintaan liittyen. Dokumentointiin ja pienjänniteverkon käyttöönottoprosessiin esitellään kaksi vaihtoehtoista mallia. Tässä kappaleessa käsitellään myös pienjänniteverkon KytKentöjä sekä vianhoitoa käytöntukijärjestelmässä asiakasviestinnän näkökulmasta. Kolmannessa kappaleessa vertaillaan edellisessä kappaleessa esiteltyjä käyttöönottoprosesseja sekä suunniteltujen kytkentöjen toteuttamista työvaikutuksien osalta.

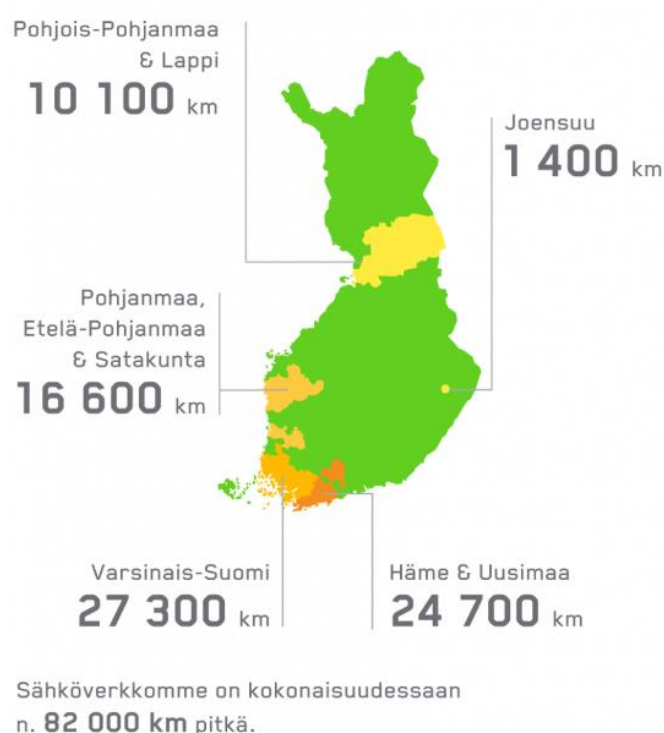
Keskeisimmät tutkimusmenetelmät ovat kirjallisuuskatsaus teoriaosasta ja henkilöhaastattelut sekä workshoptilaisuudet verkon käyttöönottoon ja verkon valvontaan liittyvien ammattilaisten kanssa.

1.2 Caruna

Caruna on suomen suurin sähkönjakeluyhtiö, joka vastaa paikallisesta sähkön jake-
lusta noin 670 000 asiakkaalle. Caruna konsernin emoyhtiönä toimii Caruna net-
works Oy, jonka alla toimii kaksi eri yhtiötä, Caruna Oy ja Caruna Espoo Oy. Ca-
runa Oy vastaa sähkönsiirrosta verkkoalueillaan Uudellamaalla, Hämeessä, Varsi-
nais-Suomessa, Satakunnassa, Pohjanmaalla ja Lapissa. Caruna Espoo Oy vastaa
Espoon, Kauniaisten, Kirkkonummen sekä Joensuun alueiden sähkönsiirrosta. Tässä
työssä yhtiöistä käytetään yksinkertaisesti nimitystä Caruna.

Carunan verkon yhteispituus on noin 85 000 kilometriä, josta 2100 kilometriä on suurjänniteverkkoa, 30 700 kilometriä keskijänniteverkkoa ja 52 400 kilometriä pienjänniteverkkoa. Kuvassa 1.1 näkyy Carunan verkkoalueet sähköverkon pituuksineen.

Pien- ja keskijännitteisen sähköverkon pituus alueittain



kuva 1.1 Carunan verkkoalueet (Caruna, a 2018)

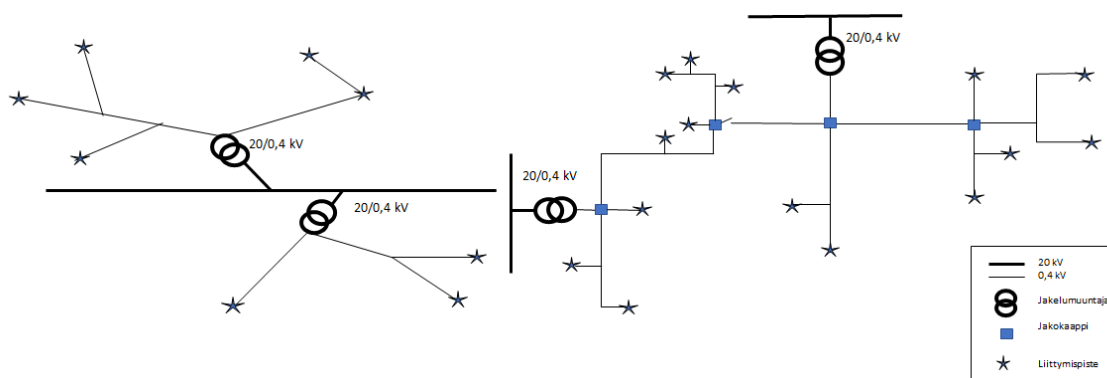
Tällä hetkellä Caruna panostaa säävarman verkon parantamiseen yli 200 miljoonaa euroa vuosittain. Verkon säävarmuus varmistetaan muuttamalla suurin osa ilmassa kulkevasta sähköverkosta maakaapeliverkoksi.

Carunan suurimmat omistajat ovat kansainväliset infrastruktuurisijoittajat First State Investments ja Omers Infrastructure. Suomalaiset eläkevakuutusyhtiöt Keva ja Elo omistavat yhteensä noin 20 % Carunasta. Carunan päätoimipiste sijaitsee Espoon Leppävaarassa, jossa työskentelee noin 270 Carunan työntekijää. Tämän lisäksi Caruna työllistää suoraan noin 2000 urakoitsijan henkilöstöä rakennus- ja kunnossapito projekteissa. (Caruna, a 2018)

2. PIENJÄNNITEVERKKO

Pienjänniteverkolla tarkoitetaan jakelumuuntamon ja asiakkaan välistä enintään 1000 voltin sähköverkkoa. Pienjänniteverkossa jakelumuuntajan ja asiakkaan välimatkat ovat usein vain muutamia satoja metrejä. Verkon pituuden suurimmat rajoitteet tulevat sähkön laadun heikkenemisestä ja jännitteen alenemisesta. (Lakervi & Partanen 2008)

Pienjänniteverkko on rakennettu kolmivaiheisena nelijohtimisena järjestelmänä. Vaihejohtimien lisäksi neljäs johdin toimii nolajohtimena ja virran paluujohdtona. Pienjänniteverkkoon voidaan kytkeä kuormia yksi- tai kolmivaiheisena. Useimmiten verkkoon kytkeydytään kolmivaiheisena, mutta pienitehoisimpia liittymiä voidaan kytkeä myös yksivaiheisina. Tällöin on tosin otettava huomioon kaikkien vaiheiden tasainen kuormitus. Asiakkaan liittymispisteen rajana pidetään yleisesti asiakkaan sähkömittaria. Maaseudulla ja harvemmin asutulla alueella pienjänniteverkot rakennetaan yleisimmin säteittäisesti ainoana syöttöpisteenä ollen yksi jakelumuuntamon lähtö. Tiheään asutuilla alueilla pienjänniteverkko voidaan rakentaa rengasmaisesti, jolloin verkkoa voidaan syöttää kahden eri muuntamon kautta. Pienjänniteverkkoa käytetään kuitenkin säteittäisesti, eli rengasverkon jakorajana pidetään avattua varoketta. Rengasverkko mahdollistaa korvaavan syötön järjestämisen vian korjauksen tai huoltotöiden ajaksi. Jakorajan sijainnin tunteminen on tärkeää, jotta kytkentätilanne on selvillä ja tiedetään missä muuntopiirissä asiakkaat ovat. Kuvassa 2.1 on esitetty tyypillisimmät pienjänniteverkon topologiat haja-asutus ja taajamaverkoissa.



Kuva 2.1 Tyypillinen pienjänniteverkon topologia haja-asutus (vas.) ja taajamaverkoissa (oik.) (Piirretty muokailen lähteestä Löf 2009)

Keskijänniteverkon 20 kV jännite muunnetaan jakelumuuntamoilla yleisimmin 0.4 kV jännitteeksi. Jakelumuuntamoiden asennustapa ja koko riippuu sen syöttämän pienjänniteverkon asiakasmäärästä, asiakkaiden ottamasta sähkötehosta sekä verkon rakenteesta.

Haja-asutus alueella ilmajohtoverkoissa käytetään yleisesti pylvaiden varaan asennettuja pylväsmuuntamoita. Pylväsmuuntamoiden etuja ovat yksinkertainen rakenne ja alhaiset rakennuskustannukset verrattuna puistomuuntamoihin. Pylväsmuuntamoissa ei ole keskijännitekiskosta puistomuuntamoiden tapaan vaan muuntajan yläjänniteliittimet kytketään keskijännitejohtoon erottimen kautta. Pylväsmuuntamot soveltuvat pienitehoisille muuntajille. Tavallisesti pylväsmuuntajissa käytetään nimellistehoiltaan 30-100 kVA jakelumuuntajia.

Maakaapeliverkossa ja taajama-alueilla käytetään erillisiin muuntamokoppeihin rakennettuja puistomuuntamoita tai rakennuksien sisällä olevia kiinteistömuuntamoita. Taajamissa ja keskustoissa muuntamoiden syöttämät asiakastiheydet ovat maaseutuverkkoja suurempia, joten myös jakelumuuntajien on oltava kookkaampia. Puisto- ja kiinteistömuuntamot on rakennettu niin, että niiden keskijännitekiskosto on osa keskijännitelähtöä. Keskijännitekiskostoissa on yleensä kuormaerottimet tulevalla ja lähtevällä puolella, joiden avulla voidaan siirtää kj-lähdön jakorajoja tai rajata vikaantunut verkon osa irti verkosta. Keskustoissa ja tiheästi asutuilla alueilla jokaisessa muuntajassa on erottimet, jolloin esimerkiksi vikaantunut kj-maakaapeli voidaan erottaa verkosta korjausta varten niin että asiakkaille voidaan palauttaa sähköt korvauskytkennöillä. Taajamien ulkopuolella maakaapeliverkoissa osa muuntamoista on niin sanottuja satelliittimuuntamoita, jotka ovat kiinni kiskoliitoksilla verkossa.

Muuntamoiden pienjännitekiskoston avulla jaetaan muuntajan syöttämä pienjänniteverkko eri lähtöihin. Jakokaappien avulla voidaan pj-lähdöt jakaa useampaan haaraan. Jakokaapeissa olevat kytkimet toimivat samalla suojalaitteina verkon vioille.

Liityntäpiste varustettu sähköenergiamittarilla, pääkatkaisijalla ja pääsulakkeilla. Nykyään lähes kaikki sähköenergiamittarit ovat etäluennan piirissä olevia AMR-mittareita. Sähkönkulutustiedot luetaan AMR-mittareilta vielä nykyään kerran vuorokaudessa tuntisarjoina, jolloin niin jakeluverkonhaltija, sähkön myyjä kuin kulutuskohteen omistajakin saavat ajantasaista tietoa sähkön kulutuksesta. Mittarien ominaisuuksiin voi energianmittauksen lisäksi

kuulua esimerkiksi sähkön laadun mittausta, vikaindikoitinta tai kuormien ohjausta tariffeihin tai erillisiin käskyihin perustuen. AMR-mittarien osalta kehitys kulkee koko ajan eteenpäin, jolloin niiden ominaisuudet lisääntyvät ja myös nykyinen tunnin välein tallennettava mittaustieto tullaan luultavasti tulevaisuudessa korvaamaan lyhyemmän aikavälin, esimerkiksi 15 minuutin, mittaustiedoilla. AMR-mittareiden käyttöä verkon hallinnassa käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.3(Lakervi & Partanen 2008)

Carunan verkosta noin 52 400 kilometriä on pienjänniteverkkoa. Haja-asutusalueilla ja taajamien laidoilla pienjänniteverkko on perinteisesti toteutettu AMKA-riippukierrehjojoilla. AMKA-johto koostuu kolmesta polyeteenimuovilla päällystetystä alumiinijohtimesta, jotka kiertävät paljasta alumiinista kannatinköyttä. Kannatinköysi toimii kaapelin PEN-johtimena. Kannatinköysi roikkuu puupylväisiin asennettujen koukkujen varassa. Kuvassa 2.2 on esitetty AMKA-johtimen rakenne.



Kuva 2.2 AMKA-riippukierrehjojo. Kolme päällystettyä vaihejohtinta kiertää kannatinköytenä toimivaa nollajohtoa. (Prysmian,2018)

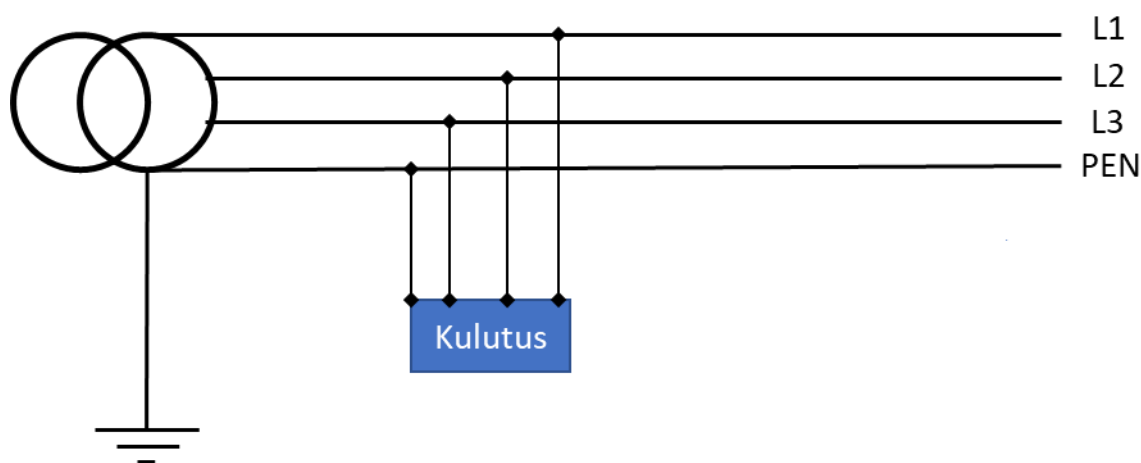
Taajamien keskustoissa pienjänniteverkko on lähes poikkeuksetta rakennettu maakaapelina tilanpuutteen ja maisemavaikutusten takia. Maakaapeliverkko rakennetaan niin että haaroitukset tapahtuvat aina jakokaapilla ja runkojohto kulkee jakokaapin kiskoston kautta ja jakokaapin muista lähdöistä syötetään lähellä olevat liittymät. Jakokaappien vapaisiin lähtöihin voidaan liittää uusia liittymiä tai varayhteys toiseen muuntopiiriin kuvan 2.1 topologian mukaisesti.

2.1 Pienjänniteverkon suojaus ja sähköturvallisuus

Pienjänniteverkko on pahin vaarallisten kosketusjännitteiden aiheuttaja. Tehokkaan suojauksen avulla voidaan ehkäistä hengenvaarallisen kosketusjännitteen lisäksi verkon kom-

ponenttien rikkoutuminen ja palovaaratilanteita. Pienjänniteverkon suojaus mitoitetaan taloudelliset ja tekniset näkökulmat huomioon ottaen suojaamaan tietty verkon osa tai laiteisto. Pienjännitelähdön syöttämä teho ja asiakasmäärä ovat pienemmät kuin keskijännitelähdön, joten pienjänniteverkossa ei kannata käyttää yhtä tehokkaita ja kalliita suojalaitteita kuin keskijänniteverkossa. Pienjänniteverkon suojaus toteutetaan yleisimmin varokkeilla ja hyvällä maadoituksella. Varokkeet sijoitetaan jakelumuuntajan jokaiseen lähtöön, niin, että kunkin lähdön kaikissa vaihejohtimissa on oma sulakkeensa. Muuntajalla olevat suojaavat sulakkeet mitoitetaan hieman huippukuormia suuremmiksi. Jos johtolähtö on pitkä eikä johdon päässä tuleva vikavirta riitä suojauksen toimintaan riittävän nopeasti, on johdolle asetettava välisulakkeita, jotka mitoitetaan nimellisvirraltaan johtolähdön alussa olevia sulakkeita pienemmiksi. Maakaapeliverkossa välisulakkeet asennetaan edellä mainitun mukaisesti jakokaappien lähtöihin. (Lakervi & Partanen 2008).

Maadoitusten tehtävänä on ennen kaikkea tasata kosketusjännitettä maan ja esimerkiksi maadoitetun sähkölaitteen kuoren välillä sekä taata riittävän suuri vikavirtataso suojauksen toiminnalle. Suomessa pienjänniteverkon maadoitus on toteutettu yleisesti TN-C järjestelmänä. Tässä järjestelmässä käytetään PEN-johdinta, joka on yhdistetty suoja- ja nollajohdin. PEN-johtimeen on yhdistetty kaikki järjestelmään liitettyjen laitteiden suojamaadoitukset. Kuvassa 2.3 on esitetty TN-C järjestelmän perusrakenne, jossa PEN-johto kulkee muuntajan tähtipisteen kautta maihin. (Lakervi & Partanen 2008; Löf 2009)



Kuva 2.3 TN-C järjestelmä

Pienjänniteverkon maadoituksissa noudatetaan SFS-6000 standardia. TN-järjestelmissä maadoitukset on asennettava syöttävän muuntajan tai generaattorin tähtipisteeseen tai kor-

keintaan 200 metrin päässä syöttöpisteestä ja jokaisen yli 200 metriä pitkän johtohaaran loppupäässä. Lisäksi on suositeltavaa maadoittaa myös muualla missä on käytettävissä sopiva maadoituselektrodi. (SFS-6000-8-801). Maakaapeliverkoissa maadoituselektrodit asennetaan muuntamoiden lisäksi jakokaappeihin.

2.2 Tulevaisuuden pienjänniteverkko ja verkon saneeraus

Suurin ero nykyisen ja tulevaisuuden älykkään sähköverkon on sähkön ja tiedon kulku kumpaankin suuntaan perinteisen yksisuuntaisen syöttösuunnan sijaan. Energiantuotannon siirtyminen lähemmäs kulutuspaikkoja ja kysynnän jouston ratkaisut mahdollistavat kuluttajien osallistumisen aktiivisemmin sähkömarkkinoiden toimintaan. Kuluttaja voi tulevaisuudessa tuottaa osan käyttämästään sähköstä esimerkiksi aurinkopaneeleilla ja myydä ylimääräisen sähköenergian markkinoille. Uusiutuvalla energialla toimivan hajautetun tuotannon vaihteleva tarjonta lisää tarvetta myös kuormien ohjaukselle ja kysynnän joustolle. Kysynnän jousto tarjoaa liiketoimintamahdollisuuksia sähkömyyjille tai ulkopuolisille toimijoille kuormien ohjauksen järjestämisessä. Ohjaus voi tapahtua esimerkiksi automaattisesti suoraan älymittarin kautta. Kannustamalla sekä yrityksiä että kotitalouksia hyödyntämään kysynnänjoustoa, voidaan kulutuspiikkejä sekä sähköverkon kuormitusta saada vähennettyä ilman, että sähkökäyttäjille koituu merkittäviä haittoja tai rajoituksia. Esimerkiksi käyttöveden lämmitys voidaan ajoittaa pienempi kulutukselliseen aikaan ja jopa jakaa lämmitys-aikoja muuntopiirin kesken, jolloin huippukuorma muuntopiirissä tasaantuu useammalle tunnille ja kulutuspiikki pienenee. Kuormanohjauksen myötä erilaisten sähkön varastointiin käytettävien menetelmien tarve lisääntyy entisestään. Kulutushuippujen tasoitukseen voidaan käyttää osa sähköautojen akkuihin ladatusta sähköenergiasta. (Kainulainen, 2015)

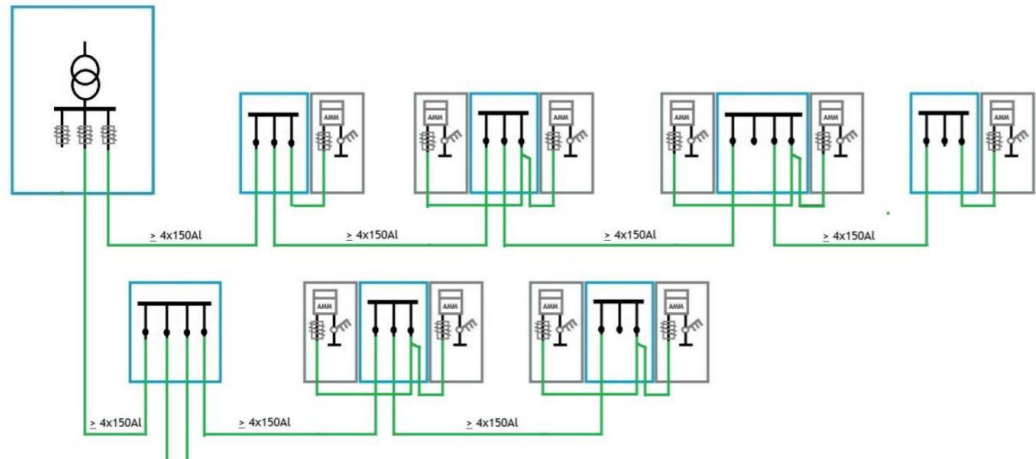
Suurimmat vaikutukset muutoksille koskevat juuri pienjänniteverkkoa sillä hajautetut ratkaisut tullaan asentamaan pääosin kulutuskäyttöpaikoille pienjänniteverkon perään. Muutaman liittymän tai jopa yhden muuntopiirin laajuiset energiayhteisöt mahdollistavat tuotetun energian käyttämisen lähellä tuotantopaikkaa ja varastoimisen akkuihin käytettäväksi huippukulutus tuntien aikana. Tällaiset energiayhteisöt muodostavat ikään kuin oman pienen sähköenergiajärjestelmänsä, joka toimii valtakunnan sähköverkon sisällä ja rinnalla. Jakelu-

verkkoyhtiön rooli muuttuu pelkästä sähkön siirtäjästä palvelu- ja markkina-alustan tarjoajaksi, jonka tehtävänä on pitää huolta verkosta ja valvoa verkon tilaa, sekä tuottaa muun muassa mittaustietoa palveluntarjoajille ja kuluttajille.

Sähkömarkkinalaki sähkön toimitusvarmuudesta tuo älyverkkojen kehittämisen lisäksi vaatimuksia verkon saneeraukselle. Sähkömarkkinalain mukaan sähkön jakeluverkko on suunniteltava ja rakennettava, siten että asiakkaan kokema yhtäjaksoinen myrskyn tai lumikuorman aiheuttama sähkökatko saa olla enintään 6 tuntia asemakaava-alueella ja 36 tuntia alueen ulkopuolella. (Sähkömarkkinalaki 51§)

Caruna panostaa verkon säävarmuuteen vuosittain suurilla saneeraushankkeilla ja maakaapelioimalla suurimman osan verkosta. Keski-jänniteverkon saneeraukset ovat loppusuoralla ja seuraavaksi keskitytään pienjänniteverkon saneerauksiin. Pienjänniteverkon saneerauksen yhteydessä muutetaan verkon rakentamistapaa. Uudessa rakentamistavassa asiakkaan liittymispiste ja sähkömittari siirretään yhdistelmäkaappeihin. Yhdistelmäkaapit jakaantuvat kahteen osaan. Toisella puolella on Asiakkaan osa, jossa sijaitsee mm. sähkömittari ja liittymän pääsulakkeet. Asiakkaan ja verkkoyhtiön raja on yhdistelmäkaapissa. Verkkoyhtiön puoli kaapista kytketään runkokaapeliin niin että tarvittava verkon osa voidaan erottaa kaapin kytkimillä huoltotöiden tai viankorjauksen ajaksi ja sähkö voidaan palauttaa muille lähden asiakkaille helposti. Perinteisellä tavalla rakennetussa pienjänniteverkossa, koko johtolähtö on pidettävä jännitteettömänä muuntajalta tai jakokaapilta asti vian korjauksen ajan. Yhdistelmäkaappien avulla erotuspisteitä tulee enemmän, joten pitkään vian piirissä olevien asiak-

kaiden määrä vähenee. Kuvassa 2.4 on esitelty Uuden verkon rakentamisen periaate taajamaverkossa. Verkko rakennetaan lähtökohtaisesti säteittäiseksi. Haaroituspisteinä toimivat jakokaapit sekä yhdistelmäkaappien jakokaappiosat. (Caruna, B).



Kuva 2.4 Taajama-alueella käytettävä verkon rakennusperiaate. Jakokaappien sekä yhdistelmäkaappien lähdoissä on kytkimet, joilla voidaan rajata vikaantuneet osat irti. Kytkimet voidaan myös varustaa sulakkeilla, jolloin niiden avulla voidaan luoda suojausalueita. (Caruna, B)

Verkon hallintaan saneerausvaihe tuo haasteita. Jatkuvasti muuttuva verkko asettaa dokumentoinnin ajantasaisuudelle suuren painoarvon. Pienjänniteverkon rakenne ja paikka muuttuvat. Lisäksi verkkoon tulee uusia komponentteja, joiden avulla voidaan luoda uusia suojausalueita ja määrittää jakorajoja. Jakorajojen määrittäminen ja tarkka dokumentointi käytöntukijärjestelmään jo käyttöönottoaiheessa on tärkeää, jotta esimerkiksi vikatilanteessa tiedetään missä jakoraja sijaitsee ja vian rajaukseen käytettävä aika lyhenee.

2.3 Keskeytysraportoinnin vaatimukset

Raportoinnille asetettavat vaatimukset voi jakaa karkeasti kahteen osaan, ulkoisiin ja sisäisiin. Ulkoiset vaatimukset tulevat Energiavirastolta sekä Energiateollisuus ry:ltä.

Energiavirasto kerää vuosittain sähkönjakeluverkon keskeytyksistä tunnusluvut kaikilta jännitetasoilta. Pj-verkon osalta kerätään odottamattomien ja suunniteltujen keskeytysten

- Vuosittainen kappalemäärä
- Vuosienergioilla painotettu keskeytysaika
- Vuosienergioilla painotettu keskeytysmäärä

Keski- ja suurjänniteverkon osalta tunnusluvuista laskettava KAH-arvo eli keskeytyksestä aiheutunut haitta vaikuttaa kohtuullisen tuoton laskennassa laatukannustimen osana. Pienjänniteverkon keskeytystilastot eivät suoraan vaikuta valvontajaksolla 2016-2023.

Energiaviraston asiantuntijan mukaan pj-verkon keskeytystietoja kerätään vertailutasoksi tulevia valvontajaksoja varten, mikäli niitä käytetään seuraavien valvontajaksojen kannustimissa. Tällä hetkellä valvontajaksojen menetelmiä ei ole vielä aloitettu valmistella, joten ei ole varmaa otetaanko myös pj-verkon keskeytykset mukaan kannustimiin. (Siukola, 2018)

Yksittäisen pienjänniteverkon vian KAH-arvo on keskimäärin muutama satoja euroja, verrattuna keskijännitevian tuhansiin euroihin. Kappalemääräisesti pj-vikoja on moninkertainen määrä keskijänniteverkon vikoihin nähden, joten niillä voi olla merkittäviäkin vaikutuksia laatukannustimeen riippuen energiaviraston linjauksista. (Caruna E, 2018)

Energiavirastolle ilmoitetaan myös niiden käyttöpaikkojen lukumäärä, joilla sähkömarkkinain (588/2013) 51§ mukainen toimitusvarmuustaso ei ole täyttynyt jaoteltuina

- Asemakaava-alueella sijaitsevat käyttöpaikat, joilla on ollut yli 6 tuntia kestänyt yhtäjaksoinen keskeytys
- Asemakaava-alueen ulkopuolella sijaitsevat käyttöpaikat, joilla on ollut yli 36 tuntia kestänyt yhtäjaksoinen keskeytys
- Erityisalueilla kuten saareissa sijaitsevat käyttöpaikat, joilla on ollut yli 36 tuntia kestänyt yhtäjaksoinen keskeytys.

Toimitusvarmuustasoa seurataan ja jakeluverkkoyhtiöiden on laadittava kehityssuunnitelma verkolle. 119§ mukaan verkkoa on kehitettävä niin että vuoden 2019 lopussa 50% asiakkaista ja vuoden 2023 lopussa 75% asiakkaista ovat varman verkon piirissä lukuun ottamatta vapaa-ajan asuntoja. Kokonaisuudessaan 51§ vaatimukset on täytettävä 31.12.2028.(SML 588/2013)

Energiateollisuus ry:lle toimitetaan osittain samoja tietoja kuin energiavirastolle. Energiateollisuuden tarkoituksena on kerätä kaikkien asiakkaiden kokemat keskeytykset käyttöpaikkakohtaisesti jännitetasosta riippumatta. Tilastoja käytetään kansallisiin ja kansainvälisiin raportointeihin sekä edunvalvonnan tueksi. (Energiateollisuus,2018)

Verkon kaikkien jännitetasojen keskeytyksistä ilmoitetaan jokaisen keskeytystapahtuman kesto-aika, käyttöpaikkojen määrä, aiheuttaja sekä summavuosienergia jaoteltuina toimitusvarmuusluokan mukaan. Lisäksi jokaiselle keskeytyksen kokeneelle käyttöpaikalle ilmoitetaan keskeytyksien määrä ja vuoden yhteenlaskettu keskeytysaika jaoteltuna vika- ja suunniteltuihin keskeytyksiin sekä laskettu käyttöpaikkakohtainen KAH-arvo. (Energiateollisuus 2018)

Sähkömarkkinalain (588/2013) 100§ mukaan jakeluverkkoyhtiön on maksettava asiakkaalle vakiokorvauksia, mikäli sähkökatkon yhtäjaksoinen kesto on ylittää 12 tuntia. Vakiokorvausten määrä riippuu keskeytyksen pituudesta ja asiakkaan vuotuisesta siirtopalvelumaksusta. Vakiokorvausten määrät esitetty taulukossa 2.1

Taulukko 2.1 Sähkömarkkinalain määrittelemät vakiokorvaukset pitkistä sähkön jakelukeskeytyksistä

Keskeytysaika	Vakiokorvaus
12-24 tuntia	10 % siirtopalvelumaksusta
24-72 tuntia	25 % siirtopalvelumaksusta
72-120 tuntia	50 % siirtopalvelumaksusta
120-192 tuntia	100 % siirtopalvelumaksusta
192-288 tuntia	150 % siirtopalvelumaksusta
yli 288 tuntia	200 % siirtopalvelumaksusta

Vakiokorvausten maksimimäärä vuodessa on 2000 € tai 200 % siirtopalvelumaksun määrä kalenterivuodessa. (Sähkömarkkinalaki, 2013)

Vakiokorvaukset pitää maksaa asiakkaalle ilman eri pyyntöä. Pienjänniteverkon vikakeskeytysten tarkka raportointi varsinkin pitkissä vioissa on tärkeää vakiokorvausten perusteiden täyttymiseksi oikein. Väärin tai puutteellisesti raportoidut keskeytysajat tuottavat huomattavan määrän ylimääräistä työtä vakiokorvausten käsittelijöille ja osa korvauksista voi jäädä maksamatta tai niitä voidaan maksaa perusteetta joillekin asiakkaille.

Sisäisiä vaatimuksia keskeytysraportoinnille tulee verkon kunnossapidosta, kehityksestä sekä asiakasviestinnästä. Kunnossapidon kannalta vikatilastointi on tärkeää toistuvien vika-

paikkojen selvittämiseksi ja kunnossapitoa vaativien verkon osien kartoittamiseen. Esimerkiksi rakennevikojen tarkka raportointi on tärkeää, jotta löydetään usein vikaantuvat komponentit.

Asiakasviestinnän kannalta verkon keskeytystilanne on oltava reaaliaikainen kaikkien jännitetasojen osalta. Pienjänniteverkon keskeytystietojen päivittäminen kenttähenkilökunnan kenttäpäätelaitteilla samaan aikaan kun toimilaitteita ohjataan, mahdollistaa keskeytystietojen päivittymisen ajantasaisesti ja asiakkaille voidaan tiedottaa keskeytyksen laajuus, arvioitu keskeytyksen päättymisaika sekä syy keskeytykselle. Tällä hetkellä pienjänniteverkon vioista tiedottaminen on hankalaa, sillä keskeytystilannetta päivitetään jälkikäteen vian raportoinnin yhteydessä.

3. VERKON HALLINTA

Sähköverkon käyttötoiminta on verrattavissa suuren prosessikoneen hallintaan. Prosessikoneena toimii tässä tapauksessa laajalle maantieteelliselle alueelle levittänyt sähköverkko. Verkko koostuu useista eri komponenteista, joista jokaisella on tärkeä rooli prosessin toiminnassa. Sähköverkon hallinnassa tavoitteena on saada prosessi toimimaan mahdollisimman tehokkaasti, taloudellisesti ja turvallisesti unohtamatta asiakaspalvelun merkitystä. Käyttötoiminta voidaan jakaa neljään eri osa-alueeseen; verkon käytön suunnittelu, verkon valvonta ja ohjaus, häiriötilanteiden hallinta sekä kunnossapidon toteutus. (Lakervi & Partanen 2008)

Jakeluverkkojen hallinnassa on pitkään keskitytty lähinnä pitämään kj- ja sj- verkkojen kytkentätilanteet ajan tasalla ja pienjänniteverkko on jätetty vähemmälle huomiolle. Esimerkiksi Carunan pienjänniteverkon osuus on noin 61 % koko verkon pituudesta, joten puhutaan merkittävästä määrästä hallinnoitavaa ja valvottavaa verkkoa.

Sähkönjakeluverkon valvonta suoritetaan verkkoyhtiön valvomossa. Pääosin valvonnassa auttaa verkostoautomaatiikka, joka käsittää lähinnä suur- ja keskijänniteverkot. Pienjänniteverkossa automaatiikkaa edustaa käytännössä vain etäluettavat älykkäät sähkömittarit ja niihin liittyvä AMR-tekniikka. Verkon kytkentätilanteen tunteminen kaikilla jännitetasoilla korostuu, kun verkkoa halutaan käyttää turvallisesti sekä tehokkaasti osana tulevaisuuden älykästä energiajärjestelmää.

3.1 Turvallinen käyttötoiminta

Käyttötoiminnassa turvallisuus on aina etusijalla. Kaikissa tilanteissa ja toiminnassa on noudatettava sähköturvallisuuslain (1135/2016) säännöksiä ja lain nojalla annettujen valtioneuvoston asetusten mukaisia sähköturvallisuusmääräyksiä. Lain 82§ 1 momentissa todetaan:

”Sähkötyössä, käyttötyössä ja sähkölaitteiston lähellä tehtävässä työssä, jossa voi aiheutua sähköiskun tai valokaaren vaara, noudatetaan työturvallisuuslakia. Lisäksi työssä on noudatettava tämän lain olennaisia turvallisuusvaatimuksia, jotka koskevat työkohteen turvallisuudesta huolehtivan henkilön nimeämistä, ohjeita ja opastusta, työssä käytettäviä välineitä, työmenettelyjä, varoitusmerkintöjen käyttöä sekä työntekijöiden ja sivullisten vaaralliselle alueelle joutumisen estämistä.”

Turvallisuusvaatimusten katsotaan täyttyvän sähkö- ja käyttötoissa, jos ne tehdään sähköturvallisuusviranomaisen julkaisemassa luettelossa olevien standardien tai niihin verrattavien julkaisujen mukaisesti. Sähköturvallisuusviranomaisena toimii Suomessa turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes. Standardeista voidaan tarvittaessa poiketa, mikäli vastaava turvallisuus taso voidaan muutoin saavuttaa. Poikkeamisesta on laadittava kirjallinen selvitys ennen sähkö- tai käyttötyön aloittamista ja tähän on saatava sähkötoiden tai käytön johtajan kirjallinen vahvistus. Sähkönjakeluverkkojen käyttötoiminnan kannalta keskeisimpiä standardeja on SFS-6002 sähkötyöturvallisuus. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016 85§))

Sähkölaitteisto katsotaan otetuksi käyttöön, kun siihen kytketään jännite sen käyttöä varten. Sähkölaitteiston käyttöönottona ei kuitenkaan pidetä sellaisia valvottuja käyttötilanteita, jotka ovat tarpeen laitteiston koekäytössä tai käyttöönottotarkastuksessa. Sähkölaitteisto katsotaan otetuksi varsinaiseen käyttötarkoitukseensa ajankohtana, jolloin tila, johon sähkölaitteisto on rakennettu, otetaan suunniteltuun käyttötarkoitukseensa tai toiminta, jota varten sähkölaitteisto on suunniteltu, alkaa. Sähköturvallisuusvastuu siirtyy työkohteen sähköturvallisuuden valvojalta käytöstä vastaavalle henkilölle, kun laitteistolle annetaan käyttöönottolupa. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016 42§, SFS-6002)

Turvallinen käyttötoiminta edellyttää huolellista ennakkosuunnittelua ja töiden riskien arviointia ennen aloittamista. Kaikkien käyttötyöhön osallistuvien on oltava ajan tasalla verkon kytkentätilanteesta ja jännitteisten osien sijainnista työkohteessa.

3.2 Tärkeimmät työkalut verkon valvonnassa

Verkon valvonnan kannalta tärkeimmät järjestelmät ovat käytönvalvontajärjestelmä SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) sekä käytöntukijärjestelmä DMS (Distribution Management System).

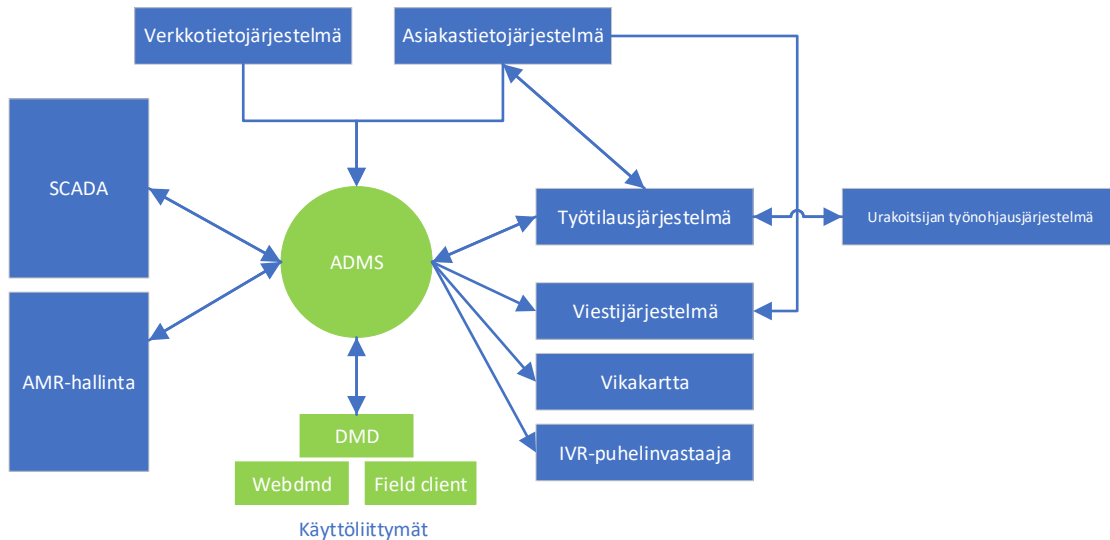
SCADA on prosessitietokonejärjestelmä, jonka päätehtävänä on sähkönjakeluverkon reaaliaikainen valvonta ja kauko-ohjaustoiminnot. SCADAn avulla saadaan reaaliaikaisia tapahtuma- sekä mittaustietoja sähköasemilta sekä keskijänniteverkoissa olevilta kaukokäyttökohteilta. Tapahtumatiedot koostuvat suojareleiden toiminnoista, kytkinlaitteiden tilamuu-

toksista sekä erilaisista hälytyksistä kuten yhteysongelmista tai jännite ja virta-arvojen ylitymisistä. Mikroprosessorireleiden mittaamat vikavirrat voidaan siirtää valvomoon ja käytöntukijärjestelmään. Tiettyjä suojausasetteluja voidaan myös muuttaa kaukoasettelujen avulla, mikäli suojausasetteluissa on tähän valmiudet. Kauko-ohjaustoimintoja käytetään tyypillisesti sähköasemilla ja muualla verkossa olevien kauko-ohjattavien kytkinlaitteiden ohjaamiseen auki ja kiinni. Päämuuntajien käämikytkimien avulla voidaan säätää sähköasemien kiskoston jännitteitä valvomosta käsin. (Lakervi & Partanen 2008)

Verkon valvonnan todellinen äly on rakennettu käytöntukijärjestelmään, joka yhdistää tietoja yhteen eri tietojärjestelmistä ja hyödyntää niitä monipuolisiin analyysi ja päättelytoimintoihin. Käytöntukijärjestelmä pystyy esimerkiksi päättelemään keskijänniteverkossa tapahtuneen vian sijainnin verkkomallin, verkostolaskennan ja suojausasetteluiden mittaamien oikosulkuvirtojen perusteella. Järjestelmä voi opastaa käytönvalvojaa vian erottamisessa tarvittavien kytkentöjen suunnittelussa tai tietyissä tapauksissa hoitaa kytkennät itsenäisesti käyttämällä kauko-ohjattavia kytkinlaitteita SCADAn välityksellä. Verkkotietojärjestelmään dokumentoidun verkon perusteella muodostetaan verkkomalli, jota täydennetään asiakastietojärjestelmästä saatavilla asiakastiedoilla. Käyttäjälle verkko näytetään karttapohjan päällä väritettynä SCADA:sta saatujen tilatietojen ja käsiohjattavien kytkinlaitteiden manuaalisesti päivitetyn kytkentätilanteen mukaisesti. Kytkentätilan ylläpitäminen on turvallisuuden kannalta kriittinen toiminto ja sen vääristyminen voi johtaa jopa vaaratilanteisiin erityisesti myrskyjen aikana. (Lakervi & Partanen 2008)

Käytöntukijärjestelmä lähettää tietoja muihin järjestelmiin vika- ja työkeskeytyksistä. Vikakartalle, viestijärjestelmään sekä IVR- puhelinvastaajaan lähetetään keskeytysalueiden tiedot. Viestijärjestelmä yhdistää keskeytysalueet asiakastietoihin ja lähettää keskeytystiedotteet asiakkaille. Työkeskeytyksistä lähtee ennakkotietokortit ja muistutusviestit automaattisesti käytöntukijärjestelmään tehdyn kytkentäsuunnitelman perusteella. Vikakeskeytyksistä lähetetään tekstiviestit vian alkamisesta sekä arvioidusta korjausajasta. Vian korjauksen jälkeen voidaan keskeytyksen piirissä olleille asiakkaille lähettää vielä tietoa vian syystä. Lisäksi viestijärjestelmän avulla voidaan varoittaa asiakkaita esimerkiksi AMR-mittarien avulla havaitusta nollaviasta ennen kuin asentaja on ehtinyt paikalle.

Kuvassa 3.1 esitetty Carunalla käytössä olevan käytöntukijärjestelmän kytkeytyminen muihin verkkoyhtiön järjestelmiin.



Kuva 3.1 Käytöntukijärjestelmä on yhteydessä useisiin muihin järjestelmiin. SCADA ja AMM-mittarien hallintajärjestelmä tuottavat tila- ja mittaustietoja. Verkkotietojärjestelmän ja asiakastietojärjestelmän avulla luodaan verkkomalli.

Carunalla on käytössä Schneider Electricin tekemä ADMS (Advanced Distribution Management System) käytöntukijärjestelmä, jonka avulla on mahdollista hallita tehokkaasti kaikkia jännitetasoja suurjänniteverkosta aina pienjänniteverkkoon asti. ADMS järjestelmässä on kolme käyttöliittymää. Valvomon ja käytönsuunnittelun käytössä on työpöytäsovellus DMD sekä kaksi kenttähenkilöstölle suunnattua selainpohjaista sovellusta Webdmd ja field client.

DMD on tarkoitettu käytettäväksi pääasiassa valvomon työpisteillä ja rajatusti etäyhteyden yli. DMD sisältää kaksi ympäristöä. Verkon päivittäiseen hallintaan käytettävän Realtime ympäristö sekä simulointiympäristö. Simulointiympäristössä voidaan simuloida verkon eri kytkentätilanteita, tehdä kytkentäsuunnitelmia ja suorittaa tehonjakolaskelmia käytössä olevan ja uuden käyttöön otettavan verkon kanssa. Uuden verkon päivitystä käytöntukijärjestelmään tarkastellaan tarkemmin kappaleessa 3.5.

Webdmd käyttöliittymä on tarkoitettu pääasiassa urakoitsijan työ johdolle kytkentäpyyntöjen ja yksinkertaisten kytkentäsuunnitelmien tekemiseen sekä pienjännitevikojen hallintaan.

Webdmd toimii selaimessa, ja se on huomattavasti kevyempi käyttää kuin työpöytäsovellus. Merkittävimpänä erona DMD:n ominaisuuksiin on, ettei webdmd:ssä ole simulointiympäristöä ja kytkentätilan muutokset ovat mahdollisia vain pienjänniteverkon toimilaitteille.

Field Client käyttöliittymä on rakennettu tabletilla tai mobiililaitteella käytettäväksi asentajan työkaluksi. Field clientissa on vain tärkeimmät toiminnot verkon tilan seuraamiseen, pienjänniteverkon kytkentätilanteen päivittämiseen, kytkentäsuunnitelmien toteutukseen ja keskeytysten raportointiin liittyen. Tulevissa versiossa asentaja voi tarvittaessa paikantaa itsensä kartalla ja jakaa sijaintinsa käytönvalvojan tietoon. Pienjänniteverkon hallinnassa Field clientilla on merkittävä rooli, sillä kentällä operoiva asentaja voi päivittää kytkentätilannetta itsenäisesti samalla kun tekee kytkentöjä. Valvomossa käytönvalvoja voi keskittyä keskijännite verkon operointiin, mutta on ajan tasalla pienjänniteverkon tapahtumista. (Caruna D,2017)

3.3 Älymittareiden hyödyntäminen pienjänniteverkon valvonnassa

AMI (Advanced meter infrastructure) eli älykäs mittarointi koostuu AMR (Automated meter reading) järjestelmästä, johon kuuluu kulutuspisteissä olevat energiamittarit, muuntopii-rikohtaiset keskittimet sekä mittarien luku- ja hallintajärjestelmät kahden suuntaisella tiedonsiirrolla. Lisäksi osassa jakelumuuntamoista on sähkön laatua mittaavia laitteita. Järjestelmän avulla voidaan kerätä ja analysoida mittaustietoja reaaliaikaisesti melkein jokaisesta pienjänniteverkon liityntäpisteestä, mikä parantaa sähkön laadun seurantaa ja helpottaa verkon hallintaa. (Löf & al. 2011)

AMR-mittarin pääasiallinen tehtävä on kulutetun energian mittaaminen ja keräys laskutusta varten. Kulutustiedot lähetetään vähintään kerran vuorokaudessa mittaustietokantaan joko ajastetusti tai erikseen pyydettyä. Kulutuksen lisäksi mittarilla voidaan mitata jännite- ja virtasuureet vaihekohtaisesti. Mittari pystyy rekisteröimään ja tallentamaan pitkät ja lyhyet sähkökatkokset sekä jännitekuopat Näitä tietoja voidaan hyödyntää esimerkiksi keskeytystilastoinnissa ja vakiokorvauskäsittelyssä. Mittareissa on sähkökatkoja varten sisäänrakennettu paristo ja muistia, joka pitää mittarien tiedot tallessa, mikäli sähkönsyöttö katkeaa. Osassa mittarimalleista on ominaisuus, joka lähettää hälytyksen käytöntukijärjestelmään, kun sähkönsyöttö katkeaa. (VTT 2013)

Älymittarien tiedot kerätään muuntopiirikohtaiselle keskittimelle sähköverkkoa pitkin kantaaltoihin perustuvalla PLC-tekniikalla, josta keskitin lähettää tiedot mobiiliverkon kautta verkkoyhtiön mittausjärjestelmään. Keskitin sijaitsee yleensä muuntamossa, tai muuntamoalähellä olevalla käyttöpaikalla. Mittarin asennuksen yhteydessä, siihen ohjelmoidaan oikea muuntopiiri, jolloin yhteys oikeaan keskittimeen saadaan muodostettua. Verkon muuttuessa, pitää keskitin siirtää uuteen muuntopiiriin, jonka jälkeen sen ja mittarien sijainnit on dokumentoitava uudelleen. (Caven, 2016)

Tärkeimmät vikatapahtumat kuten nolla- ja vaiheviat tuodaan käytöntukijärjestelmään hälytyksinä, joiden perusteella käytönvalvoja saa tiedon mahdollisesta pienjänniteverkon vioista ja jänniteongelmista jo ennen asiakkaan soittoa. Seuraamalla vaihejännitteitä voidaan tunnistaa pienjänniteverkon nollajohtimen aiheuttama nollavika ja epäsuorasti myös keskijänniteverkossa tapahtunut yhden vaihejohtimen katkeaminen. Kummassakin tapauksessa vaiheiden välille muodostuu jännitteiden epäsymmetriaa. Erityisesti nollavikojen havaitseminen mahdollisimman nopeasti ja luotettavasti on tärkeää, sillä nollavian aikana sähkölaitteiden kosketeltavissa olevat osat ja kuoret voivat tulla jännitteisiksi sekä aiheuttaa vakavia vaaratilanteita ja laiterikkoja. Nollavian havaitseminen mittarin avulla voi olla haastavaa vaihejännitteiden muuttuessa nopeasti edestakaisin paluuvirran kulkiessa eri vaihejohtimissa vuorotellen. Nollavikahälytys voikin jäädä muodostumatta, jos jännitteet eivät pysy asetettujen raja-arvojen ulkopuolella riittävän pitkään. Yksivaiheisesti verkkoon liittyvät kuormat on otettava hälytysten rajojen asettelussa huomioon sillä ne aiheuttava jonkin verran jänniteepäsymmetriaa varsinkin, jos niiden perään on liitetty suuritehoisia kuormia. (Löf N. 2009)

Suurin osa pienjänniteverkossa tapahtuvista vioista aiheuttaa yhden tai kahden vaiheen puuttumisen. Jatkuva vaiheen puuttuminen on helppo huomata älymittarin avulla. Vaihevika hälytys voi johtua verkon puolella yhden vaiheen sulakkeen palamisesta tai vaihejohtimen katkeamisesta. Hälytysten lukumäärän ja hälyttävien mittarien sijainnin perusteella voidaan päätellä mahdollinen vikapaikka ja mahdollisesti korjata vika jopa ennen kuin asiakas ehtii huomata mitään. (Löf N. 2009) Yksittäisen mittarin vaihevikahälytys voi johtua mittariviasta tai asiakkaan laitevioista, joten hälytyksen muodostuminen käytöntukijärjestelmään on järkevää vasta kun useampi mittari samasta muuntopiiristä hälyttää samaan aikaan.

Kaikkien kolmen vaiheen puuttuminen eli täyskeskeytys voi johtua pienjänniteverkon vian lisäksi keskijänniteverkon keskeytyksestä tai asiakkaan pääkytkimen kytkemisestä nollassentoon. Mikäli pienjänniteverkon vian seurauksena sähköjakelu on keskeytynyt kokonaan, ei mittariin saada yhteyttä sillä mittari kommunikoi keskittimen kanssa sähköverkkoa pitkin. Hälytyksen lähettäminen vian korjauksen jälkeen on turhaa ja se aiheuttaa ylimääräistä liikennettä järjestelmiin. Keskijänniteverkon vian tai jälleenkytkennän seurauksena on mahdollista, että sähköt-pois hälytyksiä tulisi sadoilta mittareilta yhtä aikaa.

Myrskyissä sekä laajojen keskijännitevikojen jälkeen mittareille on mahdollista tehdä automaattinen *restoration check* -kysely, jossa keskittin tarkistaa automaattisesti jokaisen saman muuntopiirin mittareiden tilan, kun keskittimelle palautuu sähkö keskijänniteverkon katkon jälkeen. Kyselyn avulla voidaan huomata, onko verkkoon jäänyt vielä pienjännitevikoja, kun keskijänniteviat on saatu korjattua. Tällaisen kyselyn toteuttamisessa on otettava huomioon tiedonsiirrossa ja mittarien tekniikasta johtuvat viive, muuten aiheutuu turha hälytys, vaikka mittarilla olisikin sähköt päällä. Toiminto onkin hyvä tehdä vähintään kahteen kertaan pienellä viiveellä, ennen kuin hälytys lähtee keskittimeltä käytöntukijärjestelmään. Keskittimellä on oltava myös tieto kyseltävien mittareiden tilasta ennen katkoa, jottei tule turhia hälytyksiä tarkoituksella katkaistuille liittymille.

Käytöntukijärjestelmällä voidaan tehdä kyselyitä AMR-mittareille yksittäin tai jopa useampia muuntopiirejä kerrallaan. Mittarit palauttavat käytöntukijärjestelmään vaihejännitteet ja virrat, joiden avulla käytönvalvoja voi päätellä vian laajuuden ennen asentajien lähettämistä vikapaikalle. Mikäli mittarilta puuttuu yhden tai useamman vaiheen jännitteet tai mittari ei vastaa ollenkaan kyselyyn, on se oletettavasti vian piirissä. Kyselyitä voidaan käyttää keskijänniteverkon kytkentätilanteen vaikutuksien tarkastamiseen käyttöpaikkojen jännitteissä. Pitkä etäisyys sähköasemaan tarkoittaa suurempaa jännitteen alenemaa. Liian kookkaat yksittäiset kyselyt kuormittavat järjestelmää, joten kyselyiden koko on hyvä rajoittaa kattamaan esimerkiksi enintään yhden muuntopiirin mittarit kerrallaan.

Mittarien tuottamien hälytysten ja tapahtumien luotettavuus on tärkeässä osassa niiden käytettävyyttä. Turhat hälytykset ja epäluotettava toiminta vähentävät mittareilta saatavan tiedon käyttöä. Virheellistä tietoa lähettävät mittarit on tarkistettava ja vaihdettava tarvittaessa uusiin

AMR-järjestelmän kaksisuuntainen tiedonsiirto mahdollistaa kysynnän joustoon liittyvien ohjaukaskäskyjen lähettämisen mittareille. Kuormia voidaan ohjata päälle ja pois dynaamisesti kysyntätilanteen mukaan. Etäohjaukset korvaavat aikaisemmin sähköverkon yli tehdyt tariffien ohjaukseen käytetyt verkkokäskyt. Yksittäisten kuormien ohjaus erikseen auttaa verkon kuormitustilanteen hallinnassa tiukasti aikaan sidottujen tariffiohjausten sijaan. Esimerkiksi käyttöveden lämmitys ja varaavien tilojen lämmitys kannattaa ohjata päälle tuntien aikana, jolloin sähkön hinta on halvimmillaan. (VTT 2013)

Mittarien etäkytkentä ominaisuuksien avulla voidaan tarvittaessa katkaista sähkön syöttö mittarin syöttämälle käyttöpaikalle etänä verkkoyhtiön valvomosta tai asiakaspalvelusta esimerkiksi maksamattomien laskujen tai sähkösopimuksen puuttumisen takia. Syöttö voidaan kytkeä päälle etänä, kun ensin on huomioitu, ettei sähköjen kytkentä aiheuta tulipalo- tai muuta tapaturmavaaraa. (VTT 2013)

3.4 Hajautetun tuotannon huomioon ottaminen verkon käytössä

Hajautettu sähköntuotanto yleistyy kasvavalla vauhdilla. Erityisesti aurinkovoimaloiden investointikustannukset laskevat, mikä lisää kuluttajien kiinnostusta omaan sähkön tuotantoon. Energiaviraston tilaston mukaan sähköverkkoon liitetyn aurinkosähkötuotannon kapasiteetti oli vuoden 2017 lopussa noin 70 MW. (Energiavirasto 2018)

Sähkömarkkinalaki määrittää kaikki alle 2 MVA tehoisen tuotannon pienimuotoiseksi tuotannoksi. Hajautetuksi tuotannoksi voidaan katsoa tuotanto, jota ei ole liitetty suoraan kantaverkkoon. Hajautettu tuotanto voidaan jakaa koon perusteella neljään osaan, joista yli 2 MVA:n kokoinen tuotanto on hajautettua suurtuotantoa. Yli 100 kVA:n kokoinen tuotanto hajautettua tuotantoa. 30-100 kVA pienjänniteverkkoon liitetty tuotanto on hajautettua pien- tuotantoa ja alle 30 kVA mikro- tuotantoa. (Karppanen, 2012)

Hajautettu pientuotanto vaikuttaa sähkön laatuun pienjänniteverkossa. Tuotantolaitos nostaa jännitettä pienjänniteverkossa. Tämä voi kompensoida jännitteenalenemää, mikäli tuotanto- käyttöpaikka sijaitsee pitkän johtolähdön loppupäässä. Toisaalta pienessä kuormituksessa olevassa verkossa jännitteet voivat nousta liian korkeiksi. Tuotantoyksiköihin kuuluva te-

hoelektroniikka tuottaa säröä jännitteeseen ja tuotannon äkillinen vaihtelu voi aiheuttaa välkyntää sekä jännitevaihteluita. Vikatilanteissa ja suunniteltujen keskeytysten aikana tuotantolaitokset voivat jäädä syöttämään saarekkeeseen. Tämän seurauksena, voi verkon taajuus voi kasvaa tai laskea riippuen saarekkeessa olevan tuotannon ja kulutuksen tasapainosta. (Karppanen, 2012)

Verkon vikaantumisesta tai huollosta aiheutuva sähköjakelun keskeytys tuo uusia haasteita ja tilanteita hajautettujen tuotantolaitosten yleistyessä. Perinteisesti sähköön syöttösuunta on Suurjänniteverkkoon yhdistetystä voimalaitoksesta kohti kulutusta ja alemmaa jännitetasoa. Hajautetun tuotannon lisääntyessä syöttösuunta voikin olla myös pienjänniteverkkoon kytketystä tuotantolaitoksesta ylöspäin. Tämä tulee ottaa huomioon verkon suojauksen suunnittelussa kuten myös työturvallisuuden kannalta, kun tehdään töitä jännitteettömäksi erotetussa verkossa.

Työturvallisuuden kannalta verkkoyhtiön ja erityisesti verkossa työskentelevän asentajan on oltava tietoisia mahdollisesta tuotannosta. Tuotantolaitoksen saa liittää verkkoon vain verkkoyhtiön luvalla. Ilman lupaa liitetyt tuotantolaitokset nostavat riskiä työtatapaturmista sillä niiden sijainnista ei ole tietoa ja erotetuksi luultuun työkohteeseen voi tulla jännite. Jakeluverkon kanssa rinnan toimivan tuotantolaitteiston on kytkeydyttävä irti verkosta, mikäli verkonsyöttö katkeaa tai jännite tai taajuus laitteiston liitäntänavoissa poikkeaa normaaliverkon ilmoitetuista arvoista. Lisäksi tuotantolaitteisto on pystyttävä erottamaan luotettavasti työkohteesta. (SFS 6000-5-55 & SFS 6002)

Tällä hetkellä Carunan verkkoon liitettävät tuotantolaitokset merkitään asiakastietojärjestelmään tuotantokäyttöpaikkana. Verkon käyttöä ajatellen asiakastietojärjestelmässä oleva tieto on vähän hankalasti saatavilla, sillä sitä ei ole integroitu suoraan ja reaaliaikaisesti käytöntukijärjestelmään. Tuotantopaikkojen tiedot on tarkoitus tuoda käytöntukijärjestelmään, jolloin ne voidaan korostaa verkkokartalle kuvan 3.2 mukaisesti ja ottaa huomioon keskeytyksien suunnittelussa sekä vikojen hoidossa. (Korkka, 2018)

hoidettua. Verkkoyhtiön pitäisi tässä tapauksessa pystyä mittaamaan ja ohjaamaan saareketta itsenäisesti etänä ja mahdollisimman automaattisesti. Tuotannon lisääntyminen tuo tarpeita myös tuotannon hallitsemiseen verkon vakauden ja pienjänniteverkon jännitteen pitämisessä vaadituissa rajoissa.

3.5 Pienjänniteverkon muutosten dokumentointi

Dokumentaation ajantasaisuus on tärkeää verkon valvonnan ja tehokkaan käytön kannalta. Sähköverkon komponentit dokumentoidaan verkkotietojärjestelmän tietokantaan. Verkkotietojärjestelmän tietojen perusteella käytöntukijärjestelmään on muodostettu verkkomalli, jonka avulla käytönvalvoja voi hallita verkkoa yhdessä käytönvalvontajärjestelmä SCADA:n kanssa. Käytöntukijärjestelmän verkkomallissa kaikilla jännitetasoilla on merkitystä verkon laskentojen, asiakkaiden kokemien keskeytysten raportoinnin ja keskeytysviestinnän kannalta.

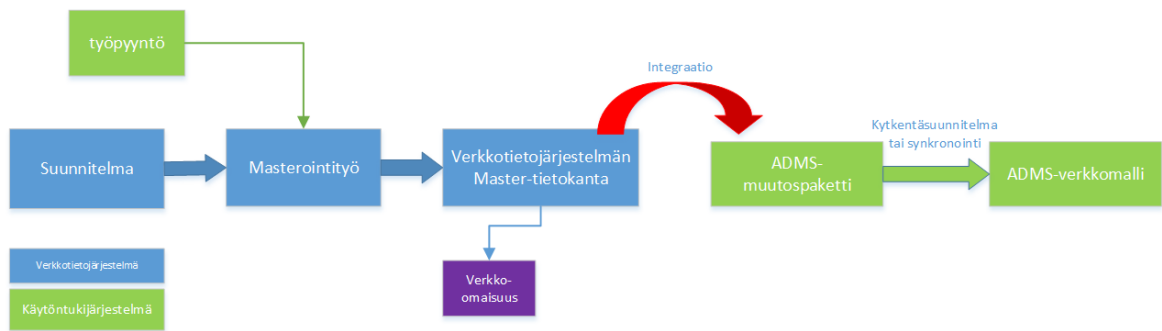
Pienjänniteverkossa tapahtuvat muutokset johtuvat suurelta osin uusien liittymien ja asiakaslähtöisien töiden tuomista muutoksista ja verkon saneerauksesta. Viankorjauksen aikana tehdyt muutokset verkkoon kuten kaapelien jatkopaikat ja vaihdetut jakelumuuntajat dokumentoidaan osana vikatyön raportointia. Caruna aloittaa pienjänniteverkon kattavan saneerauksen lähivuosina, joten saneerauksen takia tapahtuvat muutokset verkossa lisääntyvät huomattavasti. Uusi pienjänniteverkko rakennetaan maakaapelina säävarmuuden parantamiseksi. Pienjänniteverkon saneeraus muistuttaa suurelta osin keskijänniteverkolle tehtyä saneerausta, joten keskijänniteverkolle käytettävät prosessit soveltuvat osin kevennettynä myös pienjänniteverkon muutoksien hallintaan.

Merkittävimpana erona kj-verkon saneeraukseen on, että pj-verkon saneerauksen yhteydessä tulevat muutokset koskevat kerrallaan yhden muuntopiirin asiakkaita, kun taas keskijänniteverkon muutoksissa vaikutus koskee koko johtolähdön kaikkia muuntopiirejä. Keskijänniteverkon saneerauksen yhteydessä käännetään pienjänniteverkot uusien muuntamoiden perään ja puretaan vanhat muuntamot pois. Saneerauksen yhteydessä asiakkaat siis voivat vaihtaa toisen johtolähdön alta toiseen. Muuntopiirien kääntämisen ja dokumentoinnin välinen aika on oltava mahdollisimman lyhyt, jotta käytöntukijärjestelmässä on ajantasainen tieto joka

hetki missä muuntopiirissä ja johtolähdössä asiakkaat ovat. Verkon muutosten ja niiden dokumentoinnin välisenä aikana tapahtuvat kj-keskeytykset voivat jäädä raportoitumatta oikeille käyttöpaikoille ja keskeytyksistä lähetettävät viestit mennä väärille asiakkaille. Viiveen tuottamien virheiden poistamiseksi, pienjänniteverkon kääntö uuden muuntopiirin perään merkitään käännön yhteydessä väliaikaisella komponentilla käytöntukijärjestelmän kartalle. Pj-verkon kääntämisen yhteydessä ei yleensä tehdä suuria muutoksia itse pj-verkoon, joskin uusi maakaapeloitava pj-verkko voidaan joissain tapauksissa kaivaa samaan aikaan kj-verkon kanssa. Muuttunut verkon tila masteroidaan käännön jälkeen ja väliaikaiset komponentit poistetaan. Pienjänniteverkon saneerauksen aikana muutokset rajoittuvat yhden muuntopiirin sisälle eikä muuntopiiri yleensä vaihdu toiseen saneerauksen yhteydessä, joten muutosten laajuus koskettaa kerrallaan pienempää määrää asiakkaita.

Verkon päivitys- ja masterointiprosessia voidaan käsitellä palveluprosessina, jonka tuotoksena on muuttuneen verkon tiedot verkkotietojärjestelmän tietokannassa virheettömänä tarvittavine tietoineen. Verkkotietojärjestelmän tietokantaan tallennetun verkon perusteella määritetään verkkoyhtiön verkko-omaisuuden jälleenhankinta-arvo. Tämä vaikuttaa Energiaviraston valvontamallin sisältämään verkkoyhtiölle määriteltyyn kohtuulliseen tuottoon, jota verkkoyhtiö voi kerätä asiakkailtaan. (Energiavirasto,2015. Kenttämaa 2017).

Masteroinnilla tarkoitetaan dokumentoidun verkoston viemistä verkkotietojärjestelmän tietokantaan. Masterointipyynnöstä tarkastetaan verkko tietojärjestelmässä suunnitelman ja pyynnön kuvauksen vastaavuus, jotta tietokantaan päätyy ainoastaan käyttöönotetut komponentit ja verkon topologia säilyy oikeana. Masteroinnin jälkeen verkon muutokset muodostavat muutospaketin käytöntukijärjestelmään, jonka avulla verkkomalli päivitetään vastaamaan todellista verkon tilaa. (Kenttämaa 2017) Kuvassa 3.3 on esitetty masterointi- ja verkonpäivitysprosessi järjestelmätasolla verkkotietojärjestelmässä ja käytöntukijärjestelmässä.



Kuva 3.3 Masterointi ja verkonpäivitysprosessi järjestelmätasolla.

Nykyisen ohjeistuksen mukaan käyttöönottolupaa ei erikseen anneta pienjänniteverkon kytkenöissä, vaan verkon käyttöönotosta ilmoitetaan dokumentoinnin muutoksella. Ohjeistuksen mukaan pienjänniteverkon muutoksien dokumentointi on suoritettava mahdollisimman pian käyttöönoton jälkeen. Tarkkaa aikamäärettä ei ole määritetty käyttöönoton ja dokumentoinnin välille. (Caruna C)

Uusi verkko piirretään verkkotietojärjestelmään jo suunnitteluvaiheessa. Masterointi tapahtuu rakentamisen jälkeen. Suunnitelmiin voi tulla muutoksia rakennusvaiheessa tai dokumentoinnissa voi olla puutteita, jotka huomataan vasta jälkitarkastuksissa tai verkon käyttöönotossa. Verkkotietokannan ajantasaisuudella ja täsmällisyydellä on suuri vaikutus muun muassa suunnitteluun ja omaisuuden hallintaan kuin myös verkon käytettävyyteen, joten tietojen on oltava oikein. Masterointi vaatii useamman henkilön työpanoksen urakoitsijalla sekä verkkoyhtiössä. Urakoitsijan projektipäällikkö ja dokumentoija tarkastavat käyttöönotetut verkon osat ja tietojen oikeellisuuden kuten komponenttien sähköisten arvojen oikeellisuuden, todellisen sijainnin ja asennussyvyyden. Verkkoyhtiön dokumentoinnissa tarkastetaan vielä, että verkon topologia säilyy ehjänä eikä tule esimerkiksi turhia renkaita, jotka tulevat haittaamaan käyttökijärjestelmässä. Masteroinnin jälkeen tapahtuva käyttökijärjestelmän verkonpäivitysprosessiin kuuluva muutospakettien käsittely vie vähintään yhden henkilön täyden työpanoksen käytönsuunnittelussa kokoaikaisesti. Työmäärää lisää huomattavasti, jos kytkentätilannetta pitää korjata päivityksen yhteydessä. (Kenttämaa, 2018)

Dokumentoinnin korjaaminen jälkikäteen tuo lisätyötä, joten tietojen on oltava oikein masterointivaiheessa. Käyttöönoton yhteydessä tehdyissä tarkastuksissa voidaan huomata vielä

puutteita tai muutoksia dokumentoinnissa, jotka on helpompi muuttaa ennen verkon masterointia. Keskijänniteverkon saneeraukseen liittyvät uudet pienjänniteverkot rakennetaan yleensä samaan aikaan kj-verkon kanssa, mutta sen käyttöönotto tapahtuu myöhemmin kj-verkon käyttöönoton jälkeen. Uuteen pj-verkkoon voidaan ottaa ensin jännite ja kun käyttöönotot on muuten tehty, aletaan asiakkaita kääntää uuden verkon perään. (Javanainen, 2018)

Masterointien määrään vaikuttaa käsiteltävien alueiden suuruus eli kuinka monta kohdetta käsitellään yhdellä työllä. Liian suuret alueet yhden työn sisällä lisäävät työtä ja haastetta dokumentoinnin tarkastuksessa ja virheiden mahdollisuus lisääntyy. Yhdellä työllä tarkastettavien muutosten määrä on hyvä olla enintään kolme muuntopiiriä. Tällöin pystyy vielä helposti tarkastamaan, ettei tule esimerkiksi renkaita muuntajien välille tai jotain osia verkosta ei jää irti muusta verkosta, jolloin ne eivät siirry käytöntukijärjestelmän verkkomalliin. Pienemmät alueet lisäävät masterointien määrää, mikä kuormittaa urakoitsijan työjohtoa sekä käytöntukijärjestelmän päivitystä hoitavia henkilöitä. Käytöntukijärjestelmä mahdollistaa vain yhden muutospaketin kerrallaan keskijännitejohtolähtöä kohti, joten liian pieniksi lohkotut muutokset joko yhdistyvät samaan pakettiin tai jäävät jonoon odottamaan edellisten muutospakettien päivittämistä. muutospakettien jonoutuminen pidentää viivettä muutosten päivittämiseen käytöntukijärjestelmässä. (Metsäranta, Paukkeri, 2018)

Pienjänniteverkon muutokset masteroidaan suurimmalta osalta muutaman päivän sisällä käyttöönotosta, mutta masterointeihin voi tulla merkittäviäkin viiveitä saneerattavien alueiden kasvaessa. Viive verkon päivittymisessä vääristää verkon kytkentätilannetta. Verkon puuttuessa käytöntukijärjestelmästä tai sen ollessa vielä vanhan tilanteen mukaisesti dokumentoitu, ei käytönvalvoja tai kenttähenkilöstö voi päätellä verkon todellista tilaa tai kytkentätilannetta käytöntukijärjestelmän karttojen perusteella. Nykyinen prosessi perustuu vanhaan tapaan, jossa pienjänniteverkon dokumentoinnin ajantasaisuudella ei ole ollut niin suurta merkitystä. Verkon masteroinnin tapahtuessa jälkikäteen, ei verkkoyhtiöllä ole tarkkaa tietoa verkon käyttöönotosta ennen urakoitsijan ilmoitusta.

Verkkoyhtiön projektipäällikkö seuraa saneerausprojektin etenemistä projektipalaverien ja urakoitsijan raportointien perusteella. Verkon käyttöönoton ja raportoinnin välisenä aikana

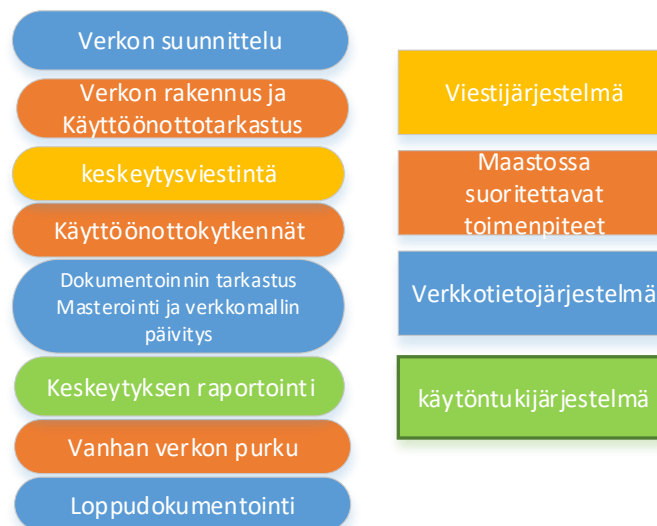
verkkoyhtiön projektipäällikkö on vähän sokea verkon muutoksille. Yhdellä projektipäälliköllä on useita eri projekteja, joten yhden projektin seuraamiseen tarkasti ei ole välttämättä aikaa. Projektipäälliköllä on tieto millä projektilla verkkoa saneerataan, joten he pystyvät seuraamaan dokumentoinnin laatua verkkotietojärjestelmän suunnitelmien sisällä rakennuksen aikana. (Kaerla & Kokkonen, 2018)

Viivästyksiset masteroinneissa ruuhkauttavat järjestelmiä ja nostavat painetta kasvattaa yksittäisten masterointitöiden kokoja. Pitkä viive runkoverkon masteroinneissa viivästyttää myös liittymien dokumentointia oikeille paikoille, jos uusi verkko ei näy verkkotietojärjestelmässä, kun asiakkaita siirretään uuden verkon perään. Tällainen tilanne voi tulla vastaan esimerkiksi täysin uuden alueen kanssa, johon yksi urakoitsija rakentaa verkon ja toinen urakoitsija kytkee asiakkaiden liittymät osaksi sähköverkkoa. Verkkotietojärjestelmään dokumentoimaton liittymä puuttuu myös käytöntukijärjestelmän tiedoista, jolloin asiakkaan kokemat keskeytykset jäävät tilastoimatta ja keskeytysviestit lähettämättä.

Verkon käytön näkökulmasta, uusi verkko on hyvä näkyä käytöntukijärjestelmässä ennen käyttöönottoa. Kun verkko näkyy järjestelmässä, voidaan käyttöönottoon liittyvät kytkennät suorittaa kytkentäsuunnitelman avulla, jolloin kaikki kytkennät näkyvät käytöntukijärjestelmässä koko verkon elinkaaren ajalta. Kytkentäsuunnitelman avulla voidaan lähettää keskeytysilmoitukset ja raportoida työkeskeytys automaattisesti. Kun verkon käyttöönotto vaatii asiakaskeskeytyksen, verkon päivitys pitää olla tehty vähintään neljä päivää etukäteen, jotta asiakkaille lähetettävät keskeytysilmoitukset ehtivät perille. Mikäli verkkoa ei ole päivitetty käytöntukijärjestelmään ajoissa, pitää keskeytysilmoitukset lähettää manuaalisesti viestijärjestelmän kautta sekä raportoida työkeskeytys erikseen käytöntukijärjestelmään. Tämä tuo lisää työtä ja vääristää keskeytysraportointia. Verkon komponenttien käyttöönotto päivämäärä on mahdollista jäljittää ja tilastoida kytkentöjen perusteella. Käytöntukijärjestelmään voi tehdä kytkentöjä jälkikäteen, mutta vain aikaisintaan hetkeen, kun verkko on päivitetty järjestelmään. Mikäli verkko päivitetään katkon jälkeen, ei tarkkaa keskeytysaikaa ole mahdollista tilastoida. Toisaalta liian aikainen verkon päivitys tuo sekavuutta verkon kytkentätilanteeseen, kun useampi päällekkäinen verkko näkyy samaan aikaan järjestelmissä. Käytönnoton vaatimia kytkentöjä voidaan joutua merkitsemään väliaikaisilla elementeillä jär-

jestelmään. Väliaikaisien elementtien lisäämisessä on omat haasteensa. Liiallinen väliaikaisten elementtien lisääminen sekoittaa verkkoa ja muutospakettien käsittely tulee työläemmäksi. (Rokka, 2018)

Ennen verkon käyttöönottoa verkon rakentanut urakoitsija on tehnyt käyttöönottotarkastuksen. Käyttöönotossa vastuu verkosta siirtyy urakoitsijalta verkkoyhtiön käytönjohtajalle ja hänen nimeämälleen käyttöä valvovalle henkilölle. Tämä henkilö voi olla valvomossa istuva käytönvalvoja tai verkkoyhtiön projektipäällikkö. Vastuun siirtymisen kannalta verkkoyhtiön onkin oltava tarkasti ajan tasalla, milloin uusi verkko otetaan käyttöön. (Ström, 2018) Kuvassa 3.4 on kuvattu nykyinen pienjänniteverkon yksinkertaistettu käyttöönottoprosessi alkaen verkon suunnittelusta loppudokumentointiin järjestelmätasolla.

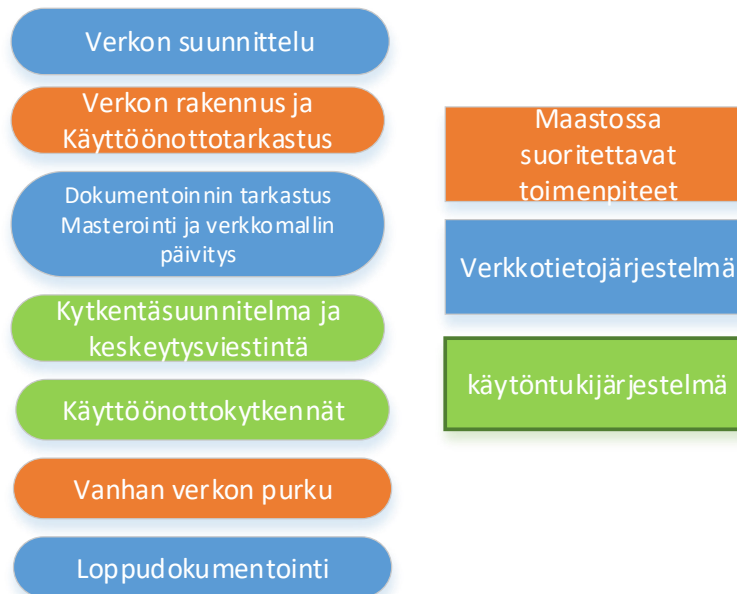


Kuva 3.4 Carunan yksinkertaistettu pienjänniteverkon käyttöönottoprosessi

Uuden pienjänniteverkon suunnittelun ja rakentamisen jälkeen verkon rakentanut urakoitsija tekee käyttöönottotarkastuksen verkolle. Käyttöönottotarkastuksesta täytetään tarkastuspöytäkirja, jonka jälkeen verkko otetaan käyttöön tekemällä käyttöönottokytkennät. Käyttöönoton jälkeen verkon dokumentointi täydennetään urakoitsijan dokumentoijan toimesta projektipäälliköltä tulleiden tietojen perusteella. Tämän jälkeen urakoitsijan työnjohtaja tai suunnittelija lähettää masterointipyynnön Carunan dokumentointiin. Masteroinnin ja verkon päivityksen jälkeen voidaan raportoida mahdolliset asiakaskeskeytykset käytöntukijärjestel-

mään. Vanhan verkon purun jälkeen tehdään projektille loppudokumentointi, jossa poistetaan puretut verkot verkkotietojärjestelmästä ja täydennetään puuttuvat tiedot käyttöönoteuille komponenteille.

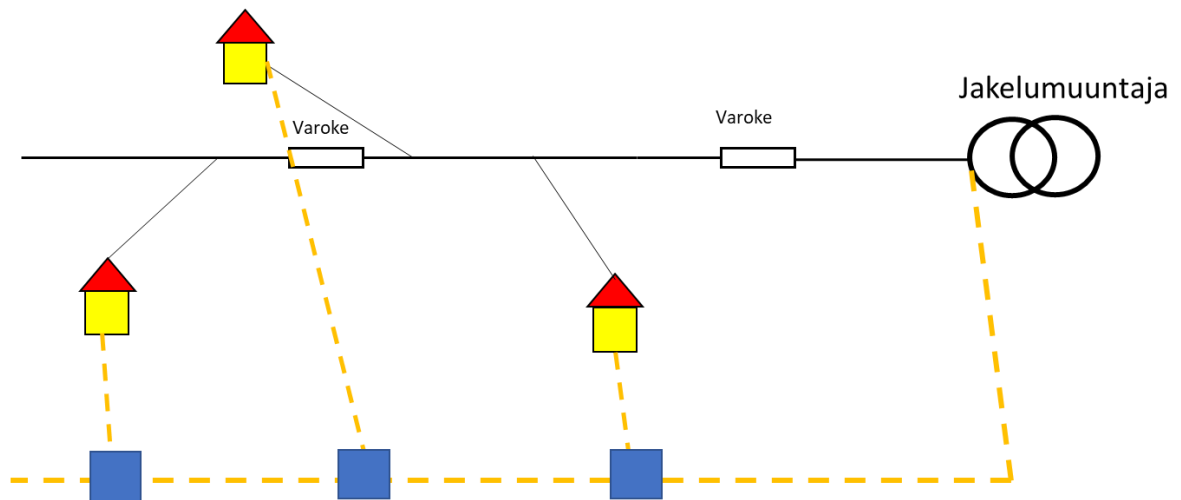
Käytöntukijärjestelmäkeskeisessä mallissa uusi verkko tuodaan käytöntukijärjestelmään ennen verkon käyttöönottoa verkon rakennuksen jälkeen. Tämä malli mukailee Carunalla käytössä olevaa kj-verkon käyttöönottoprosessia hieman kevennettynä. Kuvassa 3.5 on esitetty prosessin kulku eri järjestelmissä.



Kuva 3.5 Pj-verkon käyttöönottoprosessi käytöntukijärjestelmäkeskeisesti.

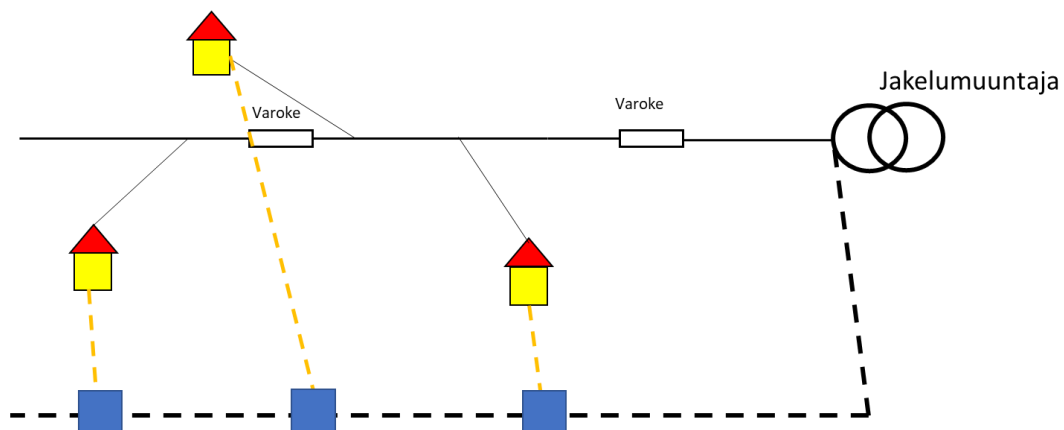
Verkkotietojärjestelmässä suoritettavat vaiheet on esitetty sinisellä pohjalla, käytöntukijärjestelmässä tehtävät vihreällä ja verkon rakentamiseen ja purkuun liittyvät maasto toimenpiteet oranssilla. Verkon rakennuksen jälkeen se masteroidaan verkkotietojärjestelmässä ja tuodaan käytöntukijärjestelmään. Käyttöönottokytkeä varten voidaan tehdä tämän jälkeen kytkeäsuunnitelma keskeytysilmoituksineen. Kytkeäjen päivitys käytöntukijärjestelmään tehdään samassa tahdissa maastossa tehtävien kytkeäjen kanssa. Uuden verkon käyttöönottokytkeäjen vaiheet voidaan suorittaa käytöntukijärjestelmän kartalla seuraavalla tavalla.

Uusi verkko dokumentoidaan verkkotietojärjestelmään niin, että se on renkaassa vanhan verkon kanssa. Kun verkko tuodaan käyttötukijärjestelmään, kytkennänsuunnittelija päivittää kytkentätilanteen vastaamaan ennen käyttöötoa kuvaavaa tilannetta. Alkutilanteessa yhdistelmäkaappien pj-kytkimet ovat auki. Jakorajoina ovat asiakkaan uusi liittymispiste yhdistelmäkaapin kytkimellä ja muuntajan lähdössä kuvan 3.6 mukaisesti.



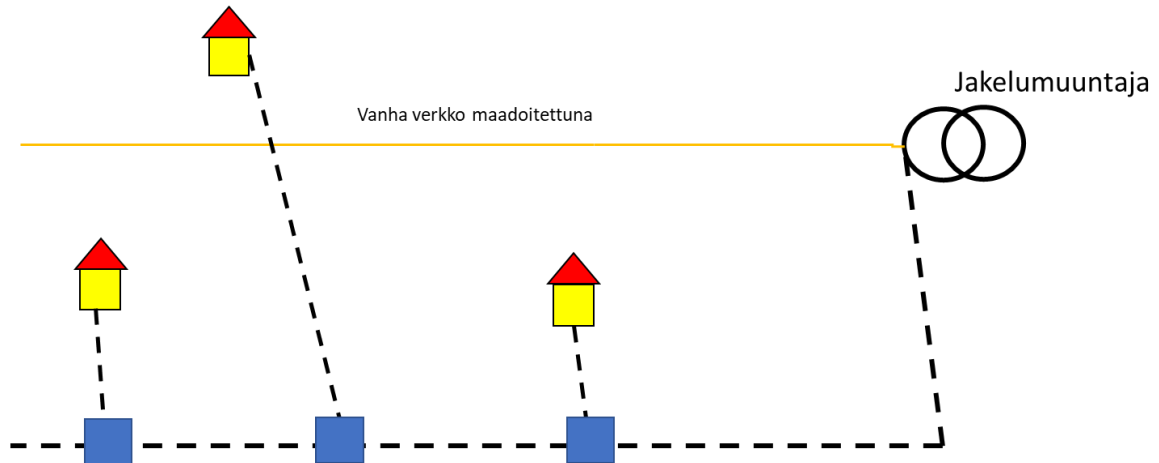
Kuva 3.6 Käyttöön otettava verkko ennen käyttöönottoa merkittynä maadoitetuksi. Asiakas saa syötön vielä vanhan verkon kautta

Verkon käyttöön ottavan urakoitsijan työnjohtaja tai kytkennänsuunnittelija tekee kytkentäsuunnitelman, johon merkitään kaikkien toimilaitteiden ohjaukset ja mahdolliset väliaikaiset komponentit verkon kytkentätilanteen päivittämiseksi. Käyttöönoton aikana päivitetään toimilaitteet oikeaan asentoon askeltamalla kytkentäsuunnitelman rivit reaaliaikaisesti asentajan toimesta käyttäen kenttäpäätelaitteella. Kuvissa 3.6 ja 3.7 on esitetty verkon kytkentätilanteen muuttuminen käyttöönoton aikana. Ensin otetaan jännite runkoverkkoon.



Kuva 3.7 Runkoon kytketään jännite ensin. Asiakkaat vielä vanhan verkon perässä ja yhdistelmäkaappien kytkimet vielä auki.

Runkoverkon käyttöönoton jälkeen asiakkaat käännetään uuden verkon perään. Järjestelmässä askelletaan uuden verkon puolelta kytkin kiinni ja katkaistaan käyttöpaikan yhteys vanhaan verkkoon väliaikaisella komponentilla. Kun kaikki asiakkaat on käännetty pois vanhasta verkosta, jää se odottamaan maadoitettuna verkon purkamista. Purkujen jälkeen voidaan vanha verkko poistaa verkkotietojärjestelmästä loppudokumentoinnin yhteydessä, jolloin se poistuu näkyvistä myös käytöntukijärjestelmässä masterointiprosessin mukaisesti.



Kuva 3.8 Asiakkaat käännetty uuden verkon perään ja erotettu vanhasta verkosta. käytöstä poistettu verkon osa on merkattu maadoitetuksi ja odottaa purkua maastossa.

Verkon masterointi etukäteen helpottaa verkon kytkentätilanteen hallintaa, kun uusi verkko näkyy käytöntukijärjestelmässä ennen kuin se otetaan käyttöön. Verkon tarkka käyttöönottoaika voidaan päätellä käytöntukijärjestelmään tehtyjen kytkentöjen perusteella. Kytkentäsuunnitelmien teko ei vaadi muutospakettien käsittelyä, joten suunnitelmat voidaan tehdä ja suorittaa kevyemmällä prosessilla urakoitsijan työnjohdon tai kytkentäsuunnittelijan toimesta. Keskeytystiedotteiden lähettäminen asiakkaille ja käyttökeskeytysten raportointi tapahtuu automaattisesti kytkentäsuunnitelman perusteella. Muutosten tulee näkyä käytöntukijärjestelmässä vähintään neljä päivää ennen asiakkaille tulevaa keskeytystä, jotta keskeytystiedotteet ehtivät asiakkaille. Uusi verkko näkyy käytöntukijärjestelmässä aikaisintaan seuraavana päivänä, joten masterointi on tehtävä viisi päivää ennen käyttöönottoa.

Verkon rakennuksen aikana voi tulla muutoksia alkuperäisiin suunnitelmiin, joten dokumentointia voi joutua muuttamaan rakentamisen jälkeen. Suunnitelmien masterointi on parasta suorittaa vasta kun verkko on rakennettu maastossa valmiiksi. ADMS-käytöntukijärjestelmä sallii vain yhden muutospaketin yhtäaikaaisesti samalle keskijännitelähdölle, joten lähekkäin

tapahtuvia muutoksia kannattaa yhdistää samaan pakettiin prosessin nopeuttamiseksi. Masteroinnin suorittaminen rakentamis- ja käyttöönottovaiheen välissä on mahdollista, sillä käyttöönotettaessa verkko on oltava tarkastettu ja dokumentoinnin on vastattava rakennettua verkkoa. Suuria muutoksia verkon dokumentointiin ole tarvetta tehdä, mikäli verkko on rakennettu suunnitelmien mukaisesti. Verkon käyttöönottoaika voi muuttua suunnitellusta työmaalla tulevien yllättävien tapahtumien takia. Verkon masteroinnissa vaaditaan käyttöönottopäiväys komponenteille, joten masterointia tehdessä on oltava mahdollisimman hyvä käsitys käyttöönottoaikataulusta. Masterointi kannattaakin tehdä mahdollisimman lähellä aikataulutettua käyttöönottoa. Jos verkon kytkennät eivät vaadi asiakaskeskeytystä, masterointi kannattaa suorittaa viimeistään kaksi työpäivää ennen käyttöönottoa, jotta käyttöönotettava verkko näkyy käytöntukijärjestelmässä ja kytkentäsuunnitelma on mahdollista tehdä. Koko prosessin aikataulutamisessa urakoitsijan projektipäälliköllä on suuri rooli. Mahdolliset muutokset käyttöönottoajoissa voidaan korjata verkkotietojärjestelmään loppudokumentoinnin yhteydessä.

3.6 Kytkennät ja työkeskeytykset käytöntukijärjestelmässä

Pienjänniteverkon toimilaitteet eivät ole älymittareita lukuun ottamatta kauko-ohjattavia, eikä niiden tilatiedoista välity automaattisesti tietoa käytöntukijärjestelmään. Tilatiedot on päivitettävä käsin järjestelmään samalla kun toimilaitteita ohjataan maastossa. Carunan kytkentäohjeen mukaan Sj- ja kj-verkon kytkennät tehdään vain käytönvalvojan toimesta tai johdolla. Pienjänniteverkon kytkennät voidaan suorittaa kenttähenkilökunnan toimesta ilman käytönvalvojan ohjausta ja lupaa. Ohjeistuksen mukaan kytkennät on kuitenkin raportoitava käytöntukijärjestelmään reaaliaikaisesti, jotta käytönvalvoja on tietoinen verkon tilanteesta ja sen parissa työskentelevistä työryhmistä. (Caruna C, 2017)

Laadukkaaseen työsuunnitteluun kuuluu työkohteeseen tutustuminen ja tarvittavien kytkentöjen suunnittelu. Pienjänniteverkkoon tehtävät kytkentäjärjestelyt ovat verrattain yksinkertaisia johtuen verkon yksinkertaisesta rakenteesta. Maaseutuverkossa voi riittää, että avataan muuntajan pj-lähdöstä sulake. Kuvien 2.1 ja 2.4 mukaisesti taajamaverkoissa on useampia mahdollisuuksia kytkennöille. Ennen kytkentöjä on verkon kytkentätilanne oltava selvillä, jotta kytkennät voidaan suunnitella oikein ja keskeytys tulee oikeaan kohtaan verkossa. Kytkentöjen suunnittelu voidaan tehdä käytöntukijärjestelmän avulla. Monimutkaisempia kyt-

kentöjä varten on tehtävä tarkka kytkentäsuunnitelma jakorajojen siirtoineen. Yhden toimilaitteen tilan muuttaminen ei välttämättä vaadi erillistä suunnitelmaa käytöntukijärjestelmään, vaan kytkentä voidaan tehdä suoraan päivittämällä kytkentätilanne käytöntukijärjestelmän kartalle samalla kun kytkinten tiloja muutetaan maastossa.

Kuvassa 3.9 on esitetty Carunalla nykyisin käytössä oleva pienjänniteverkon kytkentäprosessi. Työtilaus tarkoittaa, joko pientöissä tai verkon saneerausprojektissa esiin tullutta kytkentätarvetta. Pientöissä työ tilataan ja raportoidaan suoraan asiakastietojärjestelmän osana olevalla työtilausjärjestelmällä urakoitsijan rajapinnan kautta. Tilajana toimii joko verkkopalvelukeskuksessa toimiva asiakaspalvelija tai saneerausprojektin projektipäällikkö. Ennen kytkentöjä ja tehtävää asiakaskeskeytystä verkko on suunniteltu, rakennettu sekä käyttöönototarkastettu. Prosessi on käytännössä kokonaan urakoitsijan vastuulla, työn tilaajan ottaessa kantaa vain tilaus- ja raportointivaiheissa, kun tarkastetaan laskutus sekä dokumentoinnin oikeellisuus. Prosessin eri vaiheissa on käytettävää kolmea eri järjestelmää työtilausjärjestelmän lisäksi.



Kuva 3.9 Carunalla nykyisin käytössä oleva pienjänniteverkon kytkentäprosessi. Prosessin eri vaiheissa käytetään useaa eri järjestelmää.

mään tehdyn kytkentäsuunnitelman perusteella muodostuu ennakkotiedotteet asiakaskatkoista viestijärjestelmään ja asiakaspalvelun nähtäville asiakastietojärjestelmään. Kun kytkentäsuunnitelmaa askelletaan samaan aikaan maastossa tehtävien kytkentöjen kanssa, on valvomossa ja asiakaspalvelussa selvä tilannekuva verkossa olevista keskeytyksistä. Tulevaisuudessa myös asiakkaille voidaan näyttää pienjänniteverkon keskeytystilanne keskijänniteverkon tapaan.

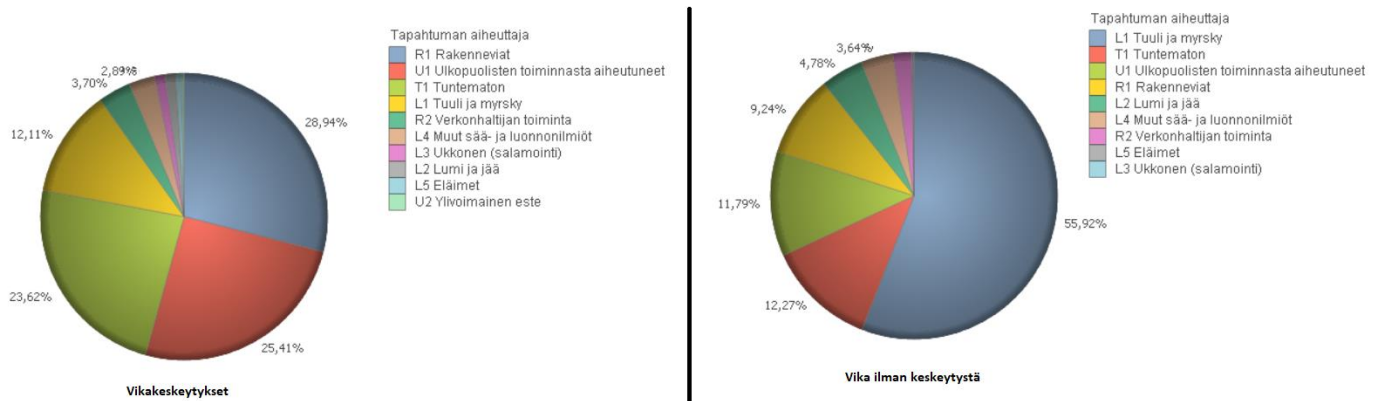
Pienjänniteverkon kytkentätilanteen hallinnan ollessa pääosin kenttähenkilöstön vastuulla, kytkentäsuunnitelmien teko pienjänniteverkkoon on pidettävä mahdollisimman yksinkertaisena ja suoraviivaisena. Kytkentätarpeen tultua verkon rakennuksen tai kunnossapidon takia, urakoitsijan työnjohtaja voi laatia kytkentäsuunnitelman ja aikatauluttaa sen toteutuksen käytettävissä olevien kenttäresurssien perusteella. Kytkentöjen aikana asentaja tai työnjohtaja askeltaa kytkentäsuunnitelman rivit toteutetuiksi järjestelmään. Kytkentäsuunnitelman perusteella syntynyt keskeytys raportoidaan käytöntukijärjestelmään muodostuneella keskeytystapahtumalla.

3.7 Viat pienjänniteverkossa

Pienjänniteverkossa tapahtuvien vikojen ja työkeskeytysten aiheuttamia sähkökatkoja on lukumääräisesti huomattavasti enemmän, kuin keski- tai suurjänniteverkossa. Pienjänniteverkossa tapahtuvat keskeytykset koskettavat kerrallaan vain yhtä tai muutamaa asiakasta verrattuna esimerkiksi keskijännitelähdössä olevaan vikaan, joka koskettaa useita satoja asiakkaita kerrallaan. (Lakervi & Partanen 2008). Vikakeskeytyksen alkuaika lasketaan alkaneeksi, kun verkkoyhtiö saa siitä tiedon ensimmäisen kerran asiakkaan ilmoituksen perusteella tai omien tietojärjestelmien kautta ja päättyneeksi kun asiakas on taas sähkönjakelun piirissä. (Energiateollisuus 2018)

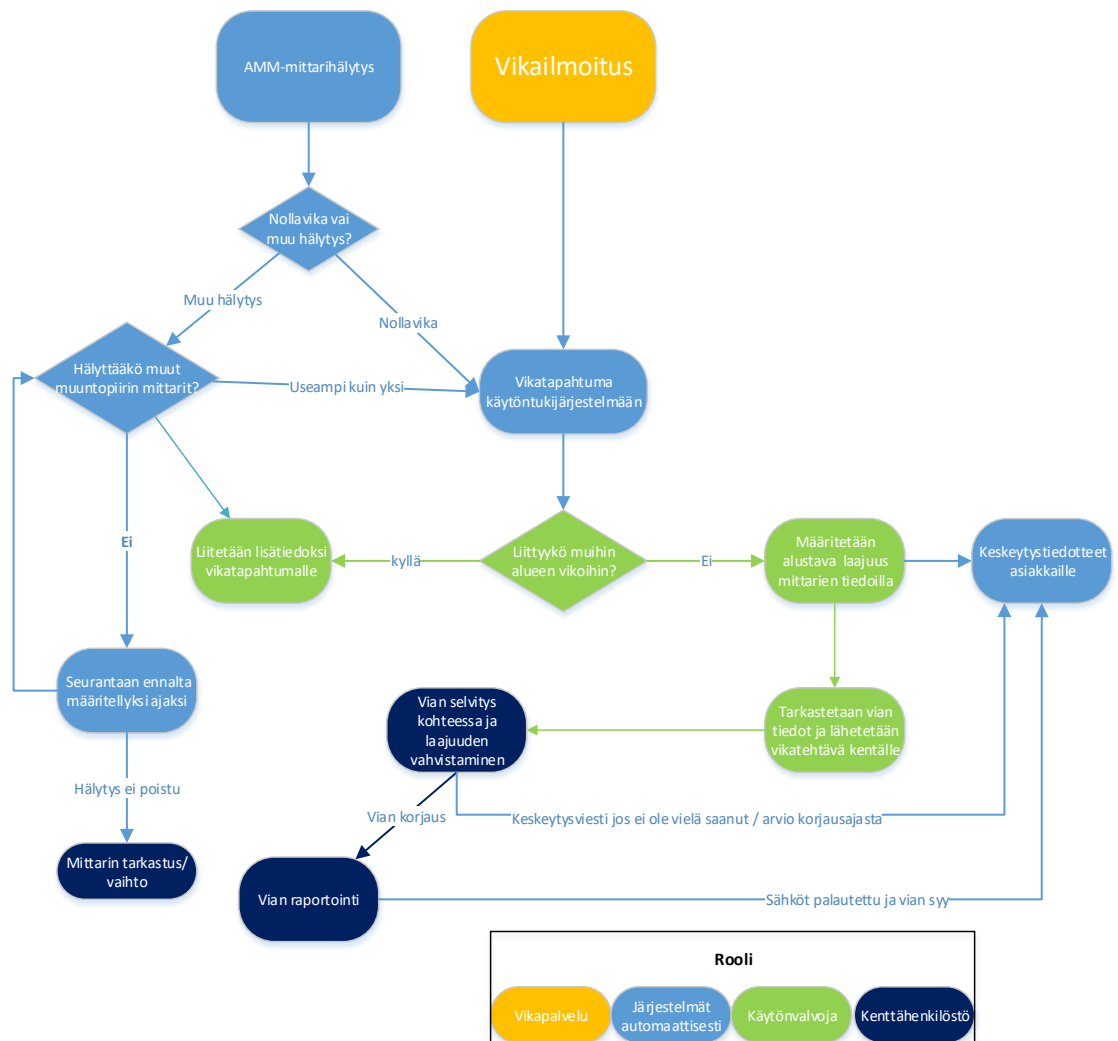
Carunan sähköverkossa oli raportoitu noin 7500 pienjännitevikaa vuonna 2017 joista hieman alle puolet oli raportoitu vikakeskeytyksiksi ja loput vioiksi, jotka eivät aiheuttaneet keskeytystä. Vikakeskeytysten suurin syy oli rakenneviat ja toiseksi suurin ulkopuolisten toiminnasta aiheutuneet viat. Ilman keskeytystä korjatuista yleisin vikatyyppeä oli tuulen ja myrskyn

aiheuttamat viat, jotka yleisimmin tarkoittavat AMKA-linjalle kaatunutta puuta ilman verkon vaurioita. Kuvissa 3.11 a ja 3.11 b on esitetty raportoitujen vikatyypin jakaumaa vuodelta 2017.(Caruna,E, 2018)



Kuva 3.11 Pienjänniteverkon vikatyypin jakauma vuonna 2017 vikakeskeytyksissä (a) sekä muissa vioissa, joista ei aiheutunut keskeytystä (b)

Pienjänniteverkon vikaprosessi lähtee liikkeelle vikapuhelun tai AMM-mittarien hälytysten perusteella. Mittarihälytysten epäluotettavuuden takia ei yksittäisen mittarin hälytyksen perusteella ei ole aina järkevää lähettää viankorjauspartiota paikalle kiireellisenä, ellei ole epäilystä nollaviasta. Mittarien rekisteröimät ohimenevät häiriöt sähkön laadussa voivat johtua kuormituksen vaihteluista tai tilapäisistä häiriöistä. Yksittäisten mittarien tuottamat hälytykset on otettava seurantaan ja mikäli hälytys jatkuu tarpeeksi pitkään, on mittarissa tai yhteyksissä todellinen vika. Tällöin mittari on vaihdettava uuteen. Verkon topologia määrittää, kuinka monen vierekkäisen mittarin hälytys aiheuttaa vikatapahtuman muodostumisen käytöntukijärjestelmään. Kahden vierekkäisen mittarin hälyttäminen yhtä aikaa on merkittävämpi tapahtuma kuin topologiassa toisistaan erillään olevien mittarien. Vikaprosessin periaate on esitetty kuvassa 3.12



Kuva 3.12 Vikailmoituksen tai AMM-mittarin perusteella alkunsa saava pienjänniteverkon vikaprosessi

Vikailmoituksia vastaanotettaessa varmistetaan, että asiakas on tarkastanut omat laitteensa sekä kysytään muita tarkentavia tietoja vian laajuudesta, joten vikailmoitusten perusteella perustuviin vikatapahtumiin voidaan suhtautua asiaan kuuluvalla vakavuudella. Vikailmoituksen tietojen perusteella ei useinkaan voida määrittää vikakeskeytyksen todellista laajuutta, sillä ilmoituksen tehnyt asiakas ei välttämättä tiedä vikapaikkaa tai syytä sähkön puuttumiselle. Vian laajuutta voidaan selvittää alustavasti tekemällä kyselyt muuntopiirin mittareille. Vastauksena saadaan mittareiden vaihejännitteet ja virrat, joiden avulla voidaan alustavasti päätellä vian laajuus. Laajuuden alustava selvittäminen mittaritietojen perusteella ennen asentajan saapumista kohteeseen nopeuttaa vikapaikan paikantamista maastossa. Lopul-

linen vian syy ja laajuus selviävät usein vasta kun asentaja menee paikan päälle. Vian selvityksen ja korjauksen ajaksi voidaan joutua ottamaan laajempi keskeytys työturvallisuuden varmistamiseksi.

Pienjänniteverkon vian laajuuden vahvistaminen järjestelmään on asentajan vastuulla. Tämä jää usein tekemättä, kun saavutaan vikapaikalle. Nykyisen toimintatavan mukaan keskeytyksen laajuus raportoidaan vikatyön laskutuksen yhteydessä jälkikäteen, usein muutaman päivän viiveellä urakoitsijan työnjohdon toimesta. Käytäntökijärjestelmän jakaminen kenttähenkilökunnalle ja pienjännitevikojen hallinta sen avulla muuttaa totuttua toimintamallia, jossa vikojen raportoinnissa tärkeintä on ollut vikojen määrä ja työn laskutus. Raportointi- ja viestintävaatimusten lisääntyessä pienjänniteverkon vikojen raportointiin ja reaaliaikaiseen vikojen hoidon tilannekuvaan on kiinnitettävä aikaisempaa enemmän huomiota.

Kuvassa 3.12 esitelty vikaprosessi voisi olla mahdollista automatisoida suurelta osin järjestelmän tehtäväksi, jolloin esimerkiksi valvomossa käytönvalvojan työkuorma vähenee ja vikatehtävä saadaan sujuvammin kentälle. Käytönvalvojan osuus vikaprosessissa on jo nykyisessä prosessissa pieni. Valvoja lähinnä tarkastaa vikatietojen olevan kunnossa ja vika-alueen laajuuden esiselvitys mittaritietojen perusteella sekä varmistaa vian olevan todellinen eikä esimerkiksi järjestelmävirheistä johtuva. Käytönvalvojan tehtävänä on myös tehdä työtilaus vianhoidosta vastuussa olevalle urakoitsijalle. Periaatteessa työtilaus voitaisiin tehdä jo suoraan vikapalvelussa, jolloin käytönvalvojan osuus vähenisi entisestään. Tähän liittyy tosin riski päällekkäisten vikatehtävien lähettämiseen, mikäli vikapalvelussa ei ole riittävää kokonaiskuvaa alueen tilanteesta.

Kentällä toimiville asentajille järjestelmien reaaliaikainen päivitys vian korjauksen aikana on uutta, joten sujuva työn raportointi edellyttää järjestelmiltä helppokäyttöisyyttä ja luotettavuutta. Järjestelmän hidas toiminta ja huonosti toimiva tietoliikenneyhteys voi tarkoittaa sitä että, toimilaitteiden tilojen päivittäminen manuaalisesti käytöntukijärjestelmään ei aina ole mahdollista tehdä reaaliaikaisesti, jolloin keskeytysaikojen tarkkuus kärsii. Jälkikäteen raportoitujen keskeytysten kestossa ja laajuudessa voi olla epätarkkuutta verkon topologian muuttuessa. Älymittareiden tapahtumista voidaan osassa tapauksista lukea keskeytyksen jälkeen tarkka keskeytysaika ja se on mahdollista yhdistää käytöntukijärjestelmän keskeytystietoihin, mikäli vian laajuus on raportoitu oikein. Tietojen yhdistäminen ei aina onnistu, jos

vian laatu on katkeilevaa tai mittariin ei jostain syystä saada yhteyttä raportointihetkellä. Jälkikäteen keskeytystietojen tarkastaminen manuaalisesti on työlästä suuren vikamäärän vuoksi.

Keskeytysviestintä on merkittävä osa vikaprosessin hoitoa. Asiakkaan ajatukset siirtyvät sähköverkkoyhtiön suuntaan yleensä sähkölaskun tullessa tai sähköjen katketessa. Vikakeskeytyksistä lähetettävät keskeytysviestit parantavat asiakaskokemusta, sillä tieto katkon syystä sekä mahdollisesta palautumisesta on tärkeä. Pienjänniteverkon vikojen reaaliaikainen päivittäminen mahdollistaa ajantasaisen viestinnän vian korjauksesta asiakkaan suuntaan keskijänniteverkon vikojen tapaan. Esimerkiksi vikailmoituksesta alkaneen vikaprosessin edistymistä voisi seurata nettipalvelussa, jolloin asiakas pysyisi ajan tasalla asentajan saapumisesta paikalle ja vian korjauksen arvioidusta valmistumisajasta.

4. TYÖVAIKUTUKSET

Tässä kappaleessa tarkastellaan pienjänniteverkon suunniteltujen kytkentöjen sekä verkon käyttöönottoon liittyvien eri prosessien työvaikutuksia. Suunniteltujen kytkentöjen prosesseja vertaillaan mittaamalla eri toimintatapoihin kuluva aikaa. Käyttöönottoprosessien työvaikutuksia arvioidaan käytöntukijärjestelmään tehtävien toimenpiteiden osalta.

4.1 Suunnitellut kytkennät ja verkon käyttöönottoprosessi

Suunniteltujen kytkentöjen tekeminen järjestelmätasolla ja keskeytysten raportointi voidaan tehdä kahdella kappaleessa 3.6 esitetyllä tavalla. Vertaillaan näitä kahta tapaa yksinkertaisessa asiakaskeskeytyksen vaativassa tapauksessa. Oletetaan, että keskeytysalueella on kulluttaja-asiakkaita, joille lähetetään keskeytysilmoitukset viestijärjestelmän kautta. Työhön kuluvaan aikaan kuuluu järjestelmiin kirjautuminen ja itse työn suoritus. Vertailu suoritettiin kellottamalla saman työkohteen vaatimat työvaiheet. Vertailussa jätetään huomioimatta työnjohdon resursointiin ja muutosten dokumentointiin kuluva aika sillä niiden voidaan olettaa olevan samat riippumatta mallista.

Nykyisellä mallilla keskeytysviestintä ja kytkentöjen suunnittelu sekä raportointi tehdään eri järjestelmillä. Yksinkertaisissa kytkennöissä ei tehdä erikseen suunnitelmaa. Vaadittavat kytkimet paikannetaan joko verkkotietojärjestelmän tai käytöntukijärjestelmän kartoilta ja kirjataan muistiin. Työkohteen selvittyä tarvittavien kytkentöjen selvittämiseen kuluu noin 5 minuuttia. Aikaa kuluu enemmän, jos on ensin selvitettävä jakorajat. Keskeytysviestintä voidaan tehdä laputtamalla eli viemällä keskeytystiedotteet asiakkaiden postilaatikoihin tai viestijärjestelmän kautta sähköisesti. Viestijärjestelmän kautta keskeytysviestien lähettäminen ennalta määritellyille asiakkaille karttarajauksella kestää ajanoton mukaan 3- 5 minuuttia riippuen rajauksen koosta ja monimutkaisuudesta. Tätä ennen on selvitettävä keskeytysalueelle jäävät käyttöpaikat kytkentätilanteen perusteella. Keskeytyksen raportointiin käytöntukijärjestelmässä kuluu 5-10 minuuttia järjestelmään kirjautumiseen kuluvan ajan lisäksi. Useiden eri järjestelmien käyttö nostaa riskiä jonkin prosessin osan tekemättä jäämiseen. Suurin puute on havaittu olevan keskeytysten raportoinnissa, osaksi riittävän ohjeistuksen ja valvonnan puutteen vuoksi.

Toinen malli kytkentöjen tekoon on käytöntukijärjestelmäkeskeinen. Keskeytysviestintä, kytkentöjen suunnittelu sekä katkon raportointi hoituu yhdellä suunnitelmalla. Tämä malli

vaatii verkon topologiaan merkittävästi vaikuttavien muutosten dokumentoinnin ja masteroinnin etukäteen, jotta kaikki tarvittavat kytkennät voidaan tehdä suunnitelmaan niin kuin ne tehdään maastossa. Yksinkertaisen kytkentäsuunnitelman tekoon kuluu aikaa noin 10 minuuttia. Keskeytystiedotteet lähtevät automaattisesti kytkentäsuunnitelman tietojen perusteella viestijärjestelmästä, joten niiden lähettämiseen ei kulu aikaa. Kytkentäsuunnitelman askellus maastokytkentöjen yhteydessä asentajan toimesta tuo hieman lisää työtä maastossa. Jälkikäteen tehtynä askellus oikeiden aikojen päivittämiseen vie 5-10 minuuttia järjestelmään kirjautumisen lisäksi. Katko raportoidaan kytkentäsuunnitelman perusteella perusteella keskeytystapahtumalla automaattisesti. Taulukkoon 4.1 on kerätty kummankin mallin eri vaiheisiin kellotetut ajat ilman järjestelmiin kirjautumisia.

Taulukko 4.1 Suunniteltujen kytkentöjen aiheuttamien asiakaskeskeytysten suunnitteluun, viestintään ja raportointiin kuluva aika

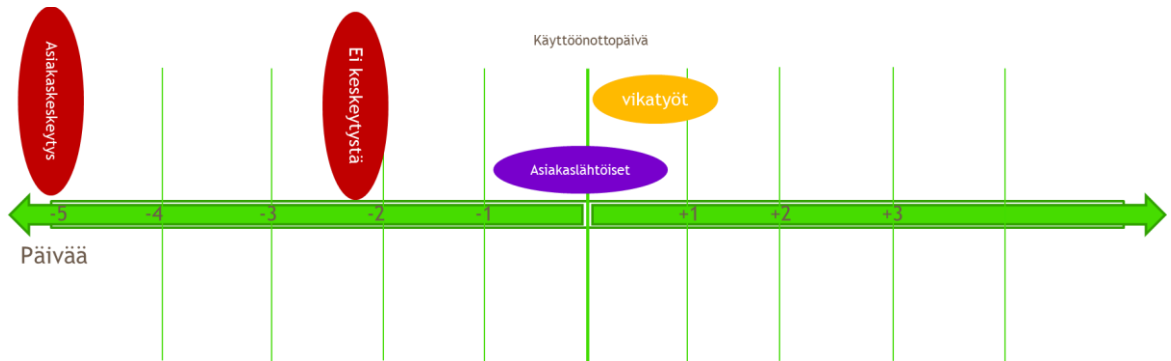
	Ilman kytkentäsuunnitelmaa	Kytkentäsuunnitelmalla
Keskeytysviestintä	3-5 min	0
Kytkentäsuunnittelu	0-10 min	5-10 min
Raportointi	5-10 min	0-10 min
yhteensä	8-25 min	5-20 min

Malleja vertailtaessa on otettava huomioon järjestelmien käytettävyyksien erot sekä käyttäjien tottumukset. Kytkentäsuunnitelman käyttö ohjaa huomiota ajantasaisen kytkentätilanteen ylläpitoon myös pienjänniteverkon kytkennöissä keskijänniteverkon kytkentöjen tapaan.

Verkon käyttöönottoprosessien välillä maastossa tehtävien työvaiheiden erona on käytöntukijärjestelmän kytkentätilanteen päivittäminen kytkentöjen aikana. Dokumentoinnin päivittämisen ja masteroinnin osalta työmäärä siirtyy aikaisempaan ajankohtaan, ennen käyttöönottoa. Verkon päivityksen jälkeen on varmistuttava oikeasta kytkentätilanteesta käytöntukijärjestelmässä. Kytkentätilanteen päivittäminen ja ylläpito on merkittävin ero kahden masterointitavan välillä, jos oletetaan dokumentoinnin olevan kunnossa masterointihetkellä. Kytkentätilanteen kannalta merkittävimpiä tietoja ovat jakorajat sekä liittymien sijainti uuden ja vanhan verkon välillä. Verkon päivityksessä käytöntukijärjestelmän verkkomalliin

tulevat kytkimet ovat siinä tilassa, johon ne on määritelty verkkotietojärjestelmässä masterointihetkellä. Yleensä tämä tila on suunniteltu kytkentätilanne. Kytkinten tila on tarkastettava ja tarvittaessa muutettava verkkomalliin tulevan verkon kytkentätila vastaamaan maastossa päivityshetkellä olevaa todellista kytkentätilaa. Käyttötukijärjestelmän kytkentätilanetta voidaan korjata väliaikaisilla komponenteilla masteroinnin ja maastossa tehtävien toimien väliseksi ajaksi, jos verkko puuttuu järjestelmästä. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi liittymien ja pj-verkon siirtäminen uuden käyttöönotetun verkon perään. Kytkentätilanteen ylläpitämiseksi reaaliaikaisena joka tilanteessa, on väliaikaisia komponentteja käytettävä riippumatta siitä, tuodaanko uusi verkko käyttötukijärjestelmään ennen vai jälkeen käyttöönoton. Verkon päivitykseen käytettävä työmäärä kasvaa, mikäli kytkentätilanetta on korjattava aina päivityksen yhteydessä. Verkko onkin hyvä tuoda käyttötukijärjestelmään valmiiksi oikeassa kytkentätilanteessa. Jos uusi verkko voidaan ottaa käyttöön ilman asiakaskeskeytystä, on masterointi ja verkon päivitys helpompi tehdä käyttöönoton jälkeen. Asiakaskeskeytyksen vaativaa verkon käyttöönottoa varten verkko on oltava käyttötukijärjestelmässä ennen suoritettavia kytkentöjä, jolloin kytkennät ja keskeytys voidaan päivittää järjestelmään kytkentäsuunnitelman avulla. Ennakkoon tehtävässä masteroinnissa kytkentätilanne on dokumentoitava käyttöönottoa edeltävään tilaan ja päivitettävä oikeaksi käyttöönottokytkentöjen yhteydessä.

Optimaalinen masterointi ajankohta riippuu verkon rakennuksen syystä. Saneerausprojektissa, jossa verkko rakennetaan ja otetaan käyttöön yhden urakoitsijan toimesta, tiedetään verkon rakenne ja suunniteltu kytkentätilanne etukäteen. Verkko voidaan masteroida kaivamisen jälkeen, kun siihen ei tule enää muutoksia. Mikäli pienjänniteverkko rakennetaan samaan aikaan keskijänniteverkon kanssa, uusi verkko voidaan masteroida samalla kertaa ja asetella kytkentätilanne vastaamaan käyttöönottoa edeltävää tilaa. Kun pienjänniteverkko otetaan käyttöön, päivitetään kytkentätilanne maastossa tehtyjen kytkentöjen perusteella käyttötukijärjestelmään. Kuvassa 4.1 on esitetty eri masterointien suositellut ajankohdat työpäivinä verrattuna verkon käyttöönottoon. Punaisella värillä on merkattu verkon saneeraukseen ja suurempiin alueisiin liittyvät työt. Keltaisella värillä vikatyöt ja violetilla värillä asiakaslähtöiset palvelutyöt, joissa verkkoa otetaan käyttöön vain yksittäisen asiakkaan liittämiseksi muuten valmiiseen verkkoon.



Kuva 4.1 Eri prosessien masterointiajankohdat verrattuna käyttöönottopäivään.

Mikäli muutokset eivät vaikuta verkon topologiaan merkittävästi, muutosten masterointi ja verkon päivitys voidaan tehdä käyttöönottohetkellä tai jälkikäteen osana työn raportointia. Asiakastietojen ja verkon ajantasaisuuden ylläpitämiseksi on raportointi ja muutosten masterointi tehtävä käyttöönotosta mahdollisimman pian eli viimeistään seuraavana arkipäivänä. Vikatöiden yhteydessä tehtävät verkostomuutokset ja komponenttien vaihdot voidaan dokumentoida vasta työn jälkeen.

5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä tutkittiin pienjänniteverkon hallintaan liittyviä käytäntöjä uuden verkon käyttöönotosta sen vikaantumiseen. Verkon kytkentätilanteen hallinta hoidetaan käytöntukijärjestelmällä. Perinteisesti pienjänniteverkon kytkentätilanteen ajantasaisuus ei ole ollut korkealla prioriteetilla. Yhteiskunnan ollessa jatkuvasti riippuvaisempi sähköstä jokaisen sähkökatkon syy ja arvioitu korjausaika kiinnostaa asiakkaita entistä enemmän, joten myös pienjänniteverkon tilanteesta on oltava tarkka tieto verkkoyhtiöllä. Aikaisemmin Pienjänniteverkon vikakeskeytykset on raportoitu jälkikäteen osana vikatyötä ja tilastointi on kattanut lähinnä vikamäärät. Viranomaisen vaatimukset pienjänniteverkon tilastoinnin tarkkuuteen tulevat mitä luultavammin kasvamaan tulevilla valvontajaksoilla.

Caruna on ottanut käyttöön uuden käytöntukijärjestelmän, joka mahdollistaa kaikkien jännitetasojen hallinnan aikaisempaa tehokkaammin. Pienjänniteverkon osalta verkon hallintaan ja voidaan käyttää kenttäpääteillä tai mobiililaitteissa toimivia käyttöliittymiä. Uusi järjestelmä vaatii vielä vähän kehitystä, jotta sen käyttö on mielekästä myös maastossa. Kenttähenkilöstöä tulee kouluttaa ja kannustaa laitteiden käyttöön aktiivisemmin, sillä työnjako sähköverkon hallinnassa jakautuu verkkoyhtiön valvomon ja kenttähenkilöstön kesken. Valvomo keskittyy pääasiassa suur- ja keskijänniteverkon kytkentöjen johtamiseen ja valvontaan. Valvomossa ei ole resursseja johtaa pienjänniteverkon kytkentöjä, joten kenttähenkilöstön rooli pienjänniteverkon hallinnassa on merkittävä. Käytöntukijärjestelmän jakaminen kenttähenkilöstön käyttöön tuo uudenlaisen mallin kytkentöjen seuraamiseen ja raportointiin. Reaaliaikaisen kytkentätilanteen näkyminen kaikille verkon parissa työskenteleville kasvattaa työturvallisuutta ja parantaa asiakasviestintää.

Tämän työn yhtenä tavoitteena oli selvittää mitä tapoja on tehostaa reaaliaikaisen kytkentätilanteen ylläpitoa ja verkon vikojen havaitsemista pienjänniteverkossa. Toinen tavoite oli löytää sopiva aika uuden verkon dokumentoinnin päivittämiseen suunnitelmista verkkotietosekä käytöntukijärjestelmän tietokantoihin verkon käytön näkökulmasta.

5.1 Kytkentätilanteen hallinta

Pienjänniteverkon vikojen havaitseminen perustuu AMR-mittarien tietoihin ja asiakkaiden ilmoituksiin. Mittarien avulla voidaan tehostaa vikojen havaitsemista ja vian laajuuden selvittämistä. Mittarien tekemien hälytysten perusteella voidaan aloittaa korjaustoimenpiteet jo ennen kuin asiakas on edes huomannut vikaa. Tämä on etenkin nollavika-tapauksissa erityisen tärkeää asiakkaiden turvallisuuden kannalta. Vikakeskeytyksen aikana asiakastiedotus on tärkeää, joten vian tietojen ja keskeytystilanteen päivittämiseen kentällä on panostettava mahdollisimman reaaliaikaisesti.

Suunniteltujen kytkentöjen valmisteluun ja toteutukseen käytöntukijärjestelmä antaa hyvät työkalut ja yksinkertaistaa kytkentäprosessia erityisesti, kun kytkennöistä aiheutuu asiakaskeskeytyksiä. Keskeytyksen vaatimat keskeytystiedotteet, aikataulut ja raportointi hoituvat yhdellä kertaa ilman useiden järjestelmien päivittämistä erikseen. Kytchentäsuunnitelma on mahdollista jakaa asentajille käytöntukijärjestelmän kenttäsovellukseen. Askeltaessa suunnitelman rivit sovelluksessa, kytkennät rekisteröityvät käytöntukijärjestelmään samaan aikaan kun ne tehdään maastossa. Ajankäyttöä vertailtaessa Kytchentöjen suunnitteluun, asiakastiedotukseen ja raportointiin kuluviissa ajoissa ei ole huomattavaa eroa mallien välillä.

5.2 Verkon dokumentointi käyttöönottoprosesseissa

Pienjänniteverkon dokumentointikäytäntöjen tarkastelussa tuli ilmi ohjeistuksien puutteita ja epäselvyyksiä. Dokumentoinnin laatu on hyvää, mutta masteroinnin viiveeseen ei ole kiinnitetty suurta huomiota. Viive pienjänniteverkon masteroinneissa on pahimmillaan useita kuukausia käyttöönotosta. Tässä työssä tarkasteltiin nykyistä masterointiprosessia ja käytäntöjä sekä esiteltiin vaihtoehtoinen malli masteroinnille. Työn aikana haastattelin useita urakoitsijan ja verkkoyhtiön edustajia. Ongelma on tiedostettu jo aikaisemmin, mutta konkreettisia toimenpiteitä ei ole esitetty tarpeeksi. Syiksi masteroinnin viiveeseen tunnistettiin kommunikointi katkot kenttätöryhmien ja dokumentointia hoitavien tahojen välillä. Investointitahdin ollessa suuri ei yksittäisen projektin seuraamiseen voi käyttää niin paljon aikaa, jotta yksittäisten kohteiden viiveisiin voisi puuttua tehokkaasti verkkoyhtiön projektipäälliköiden toimesta. Urakoitsijan projektipäälliköllä on suuri vastuu dokumentoinnin ajantasaisuudesta.

Vallitseva ohjeistus määrittää, että masterointi on tehtävä pikimmiten käyttöönoton jälkeen antamatta kuitenkaan tarkkoja aikamääreitä, jossa pienjänniteverkko on oltava masteroitu ja näkyvillä järjestelmissä. Suur- ja keskijänniteverkon osalta prosessit ja ohjeistukset ovat huomattavasti tarkempia. Työssä esitetty malli pohjautuu keskijänniteverkon saneerauksessa käytettyyn prosessiin, jossa verkko masteroidaan etukäteen ja päivitetään käytöntukijärjestelmään käyttöönoton yhteydessä. Pienjänniteverkolle prosessia on kevennetty niin että urakoitsija voi hoitaa käyttöönottokytkennät itsenäisesti ilman valvomon ohjausta.

Työssä esitellyssä mallissa masterointi on tehtävä verkon rakennuksen jälkeen viimeistään kaksi päivää ennen tai keskeytystä vaativissa kytkennöissä viisi päivää ennen verkon käyttöönottoa. Käyttöönottoja varten tehdään yksinkertainen kytkentäsuunnitelma, joka askelataan samalla kun verkko otetaan käyttöön. Etupainotteinen malli sopii parhaiten laajemmissa projekteissa rakennettaviin verkkoihin, jolloin verkko voidaan masteroida ennen käyttöönottoa heti rakentamisen jälkeen. Kun verkko on näkyvillä, voidaan verkon käyttöönottoprosessia seurata eri järjestelmiin päivittyvien tietojen perusteella reaaliaikaisesti. Pienissä, maksimissaan yhtä liittymää koskevissa muutoksissa masterointi voidaan tehdä jälkikäteen, mikäli verkko otetaan käyttöön heti sen valmistuttua. Dokumentoinnin tarkastus ja masterointi on järkevää tehdä osana työn tarkastusta. Verkon päivityksen jälkeen on varmistettava käytöntukijärjestelmästä, että uuden verkon kytkentätilanne vastaa maastossa olevaa tilannetta.

LÄHTEET

- Ahlnäs S. 2018 Pienjänniteverkon uusi rakentamiskonsepti. Carunan sisäinen dokumentti.
- Caven S. 2016 AMM-mittarien hyödyntäminen sähkönlaatumittauksissa. Insinööriyö Metropolia Ammattikorkeakoulu. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/112491/Caven_Sampo.pdf?sequence=1 [viitattu viimeksi 5.11.2018]
- Caruna A. 2018 Vuosiraportti 2017 [Verkkodokumentti] Saatavilla: <http://vuosiraportti2017.caruna.fi/raportti/> vastuullinen-toimija [Viitattu viimeksi 6.11.2018]
- Caruna B. 2018 Verkon rakentamistavat sisäinen ohje [viitattu viimeksi 4.5.2019]
- Caruna C. 2017. KytKentäohje 0,4 - 110 kV. Sähköverkon käyttötoimenpiteet 0,4 - 110 kV:n jakeluverkossa. Sisäinen dokumentti. Ei julkinen.
- Caruna D 2017 ADMS-käytöntukijärjestelmän käyttö. Sisäinen dokumentti. Ei julkinen
- Caruna E, vikatilastot 2018 sisäinen dokumentti.
- Energiateollisuus 2018: keskeytystilastot 2017 [verkkodokumentti] saatavilla: https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/sahkon_keskeytystilasto_2017.html#material-view. viitattu 28.11.2018
- Energiavirasto. 2015. Valvontamenetelmät neljännellä 1.1.2016 – 31.12.2019 ja viidennellä 1.1.2020 – 31.12.2023 valvontajaksolla. [VERKKODOKUMENTTI]. Saatavilla: http://www.energiavirasto.fi/documents/10191/0/Liite_2_Valvontamenetelm%C3%A4t_S%C3%A4hk%C3%B6jakelu.pdf/c48d64d7-4364-4aa1-a91b9e1cf1167936 [Viitattu 28.11.2018]
- Energiavirasto 2018 aurinkosähkötilasto [verkkodokumentti] saatavilla: https://www.energiavirasto.fi/media/-/asset_publisher/ooKNxg1qkv7p/content/sahkonpientuotanto-kovassakasvussa-aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-2-5-kertaistui-vuodessa viitattu 28.11.2018
- Hirvonen Timo, Voimatel, sähköpostihaastattelu 5.6.2018
- Jalonen Ismo, KytKennän suunnittelija, Eltel networks, sähköpostihaastattelu 5.6.2018
- Javanainen, J, Projektipäällikkö Jari Javanainen Eltel Networks, sähköpostihaastattelu 8.11.2018
- Lakervi, E., Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Otatieto. Helsinki. ISBN: 978- 951-672-359-7
- Luoto Samu, työpäällikkö Eltel Networks osana pienjänniteverkon workshopia 1.10.2018
- Löf, N. 2009. Pienjänniteverkon automaatoratkaisuiden kehitysnäkymät. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. saatavilla: http://www.tut.fi/eee/research/inca-public/tiedostot/Raportit/Diplomityo_Lof_Niklas_final.pdf [luettu viimeksi 5.11.2018]

Löf, N., Pikkarainen, M., Repo, S., Järventausta, P. 2011. Utilizing Smart Meters in LV Network Management. CIRED Seminar 2011: 21st International Conference on Electricity Distribution. Frankfurt, Germany, June 2011. 5 p [verkkodokumentti] Viitattu 20.11.2018 saatavilla: http://sgemfinalreport.fi/files/CIRED2011-Niklas-Lof_final_Paper-1050.pdf

Kainulainen R. 2015. Älykäs pienjännitejakeluverkko. Diplomityö. Aalto Yliopisto Saatavilla: https://aalto.doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/18618/master_Kainulainen_Riina_2015.pdf?sequence=1 [Viitattu viimeksi 5.11.2018]

Kenttämää V. 2017 Sähkönjakeluverkon rakentamisen laatu ja havaittujen virheiden kustannusvaikutukset verkkoyhtiöille ja urakoitsijoille. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto saatavilla: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/149299/Diplomityo_Kenttamaa_Ville.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Viitattu viimeksi 6.11.2018]

Korkka M. 2018 käyttöpalveluasiantuntija. Hajautetun tuotannon näkyminen käyttötukijärjestelmässä ja sen vaikutus verkon käyttöön. Haastattelu

Kaerla Petri ja Kokkonen Joakim. Carunan projektipäälliköiden rooli saneerausprojekteissa. Haastattelu 9.10.2018

Metsäranta E. 2018 Eija Metsäranta dokumentointiasiantuntija. Haastattelu 8.5.2018

Paukkeri Hannes, verkostosuunnittelija Infratek. sähköpostihaastattelu 5.6.2018

Rokka, A 2018. Käytönsuunnittelija – Caruna Oy. Haastattelu 23.10.2018

Salo Pauli, Kehityshankepäällikkö, asiakaspalvelun edustajana pienjänniteverkon workshopissa 26.9.2018

Siukola T. 2018 Johtava asiantuntija Tarvo Siukola Energiavirasto. sähköpostihaastattelu 9.10.2018

Sähkömarkkinalaki 588/2013. Annettu Helsingissä 9.8.2013.

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Annettu Helsingissä 16.12.2016.

VTT 2013 AMM-tietoturvaselvitys. tutkimusraportti VTT-CR-08759-13 [Verkkodokumentti] viitattu 20.11.2018. Saatavilla: https://energia.fi/files/967/AMM_Tietoturvaselvitys.pdf

Standardit

SFS 6000-5-55:2017 Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-55: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Muut sähkölaitteet. Helsinki Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2017

SFS-6000-8-801 Pienjännitesähköasennukset. Osa 8-801: Täydentävät vaatimukset. Jakeluverkot Helsinki Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2017

SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus. Helsinki Suomen standardisoimisliitto SFS ry 2015