



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jani Heiliö

Maadoituserottimien käytettävyyden parantaminen käytöntukijärjestelmässä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

25.11.2020

Tekijä Otsikko	Jani Heiliö Maadoituserottimien käytettävyyden parantaminen käytöntukijärjestelmässä
Sivumäärä Aika	38 sivua 25.11.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	käyttöpäällikkö Juho Kuokkanen yliopettaja Jarno Varteva
<p>Sähkönjakeluverkon automaatiota sisältävistä jakelumuuntamoista saadaan välitettyä reaaliaikaisia tila- ja mittaustietoja Helen Sähkönverkon käytönvalvontajärjestelmään. Automaatiota sisältävien muuntamoiden työmaadoitukseen käytettäviä kojeistojen maadoituserottimia ei ole kuvattu yrityksen käytöntukijärjestelmän verkkomallissa, vaikka niiden tilatieto on ollut saatavilla käytönvalvontajärjestelmässä. Käytöntukijärjestelmässä jakelumuuntamoiden välisiä työmaadoituksia on ylläpidetty manuaalisesti maadoitussymbolien avulla. Insinööritöön tavoitteena oli luoda toiminnallinen ja käytönvalvontajärjestelmän tilatietoa automaattisesti hyödyntävä maadoituserotin käytöntukijärjestelmän verkkomalliin.</p> <p>Helen Sähkönverkon verkko-omaisuutta ja rakennetta mallinnetaan verkkotietojärjestelmässä, josta käytöntukijärjestelmä saa verkkomallin käyttöönsä. Insinööritöössä suunniteltiin ja mallinnettiin eli ns. digitoitiin verkkotietojärjestelmän automaatiota sisältäviin jakelumuuntamoihin toiminnalliset maadoituserottimet, joiden tilatieto on myös ylläpidettävissä manuaalisesti. Työssä keskityttiin myös käytöntukijärjestelmän toiminnallisuuden ja tiedonlaadun parantamiseen mm. puuttumalla virheellisiin tietojärjestelmien välisiin tietoihin ja digitointeihin.</p> <p>Työn tuloksena syntyi uusi digitointiratkaisu ja ohjeistus, jota voidaan hyödyntää keskijänniteverkon kaikkien jakelumuuntamoiden maadoituserottimien mallintamisessa. Automaatiota sisältävien jakelumuuntamoiden maadoituserottimien lisäämisellä käytöntukijärjestelmään selkeytettiin käyttökeskuksen ja käytönsuunnittelun työtehtäviä. Lisäksi käytöntukijärjestelmässä näkyvät työmaadoitukset ovat nyt luotettavia ja niiden tilatiedon ylläpitäminen automaattista.</p>	
Avainsanat	jakeluverkko, muuntamo, käytöntukijärjestelmä, maadoituserotin

Author Title	Jani Heiliö Improving Usability of Earthing Switches in Distribution Management System
Number of Pages Date	38 pages 25 November 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Juho Kuokkanen, Operations Manager Jarno Varteva, Principal Lecturer
<p>The switchgear of secondary substations containing automation within the power distribution network can transmit state and measurement information in real-time into the SCADA system (Supervisory Control and Data Acquisition) of Helen Electricity Network. The earthing switches used to temporarily earth secondary substations have not been depicted in the DMS (Distribution Management System) network model, even though their state information has been available in the SCADA system. The temporary earthing between in secondary substations have been maintained with temporary earthing symbols in the DMS. The goal of this bachelor's thesis study was to create a functional earthing switch in DMS that automatically utilizes state information available in the SCADA system.</p> <p>The network assets and the structure of Helen Electricity Network is modeled in the NIS (Network Information System), from which the DMS obtains the network model. Functional earthing switches, that are maneuverable also manually, were designed and modeled in the thesis study, to be used in secondary substations containing automation within the NIS network model. There was also a focus on improving the functionality and data quality in the DMS by intervening with faulty information and modeling of network models between the information systems.</p> <p>The result of this thesis study is a new solution for modeling, and instructions which can be utilized in modeling every earthing switch in the secondary substations of the medium voltage network. By adding earthing switches of secondary substations containing automation to the DMS, the work assignments of the control center and operations planning became clearer. Additionally, visible temporary earthing's in the DMS are now more reliable, and the maintaining of their state information is automatic.</p>	
Keywords	distribution network, secondary substations, distribution management system, earthing switch

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähköverkon rakenne	3
2.1	Suurjännitteinen jakeluverkko	4
2.2	Sähköasemat	4
2.3	Keskijänniteverkko	6
2.4	Jakelumuuntamo	6
2.4.1	Keskijännitekojeisto	7
2.4.2	Jakelumuuntaja	9
2.4.3	Pienjännitekeskus	9
2.4.4	Muuntamoautomaatio	10
3	Tietojärjestelmät	15
3.1	Käytönvalvontajärjestelmä	15
3.1.1	Tiedonvaihto	16
3.1.2	Ala-asema	16
3.2	Käytöntukijärjestelmä	17
3.3	Verkkotietojärjestelmä	18
4	Verkon käyttö	20
4.1	Käyttökeskustoiminta	20
4.2	Käytönsuunnittelu	21
4.3	Häiriönselvitys	21
5	Työmaadoittaminen	23
6	Digitointiprosessin kuvaus	26
6.1	Digitointi verkkokartalla	27
6.2	Digitointi käyttökaaviossa	30
6.3	Ohjeistus digitointiin	31
7	Pohdinta	32
	Lähteet	37

Lyhenteet

AIS	<i>Air Insulated Switchgear.</i> Ilmaeristeinen kojeisto.
DMS	<i>Distribution Management System.</i> Käytöntukijärjestelmä.
ELCOM	<i>Electricity Utilities Protocol.</i>
GIS	<i>Gas Insulated Switchgear.</i> Kaasueristeinen kojeisto.
ICCP	<i>Inter- Control Center Communication Protocol.</i>
KJ	Keskijännite.
MUVA	Muuntamovalvonta.
NIS	<i>Network Information System.</i> Verkkotietojärjestelmä.
RMU	<i>Ring Main Unit.</i> Rengassyöttökojeisto.
RTU	<i>Remote Terminal Unit.</i> Ala-asema.
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition.</i> Käytönvalvontajärjestelmä.
SF ₆	Rikkiheksafluoridi-eristekaasu.

1 Johdanto

Helen Sähköverkko Oy:n verkon käyttöorganisaatio suunnittelee, hallinnoi ja valvoo sähköverkon tilaa jatkuvasti sekä johtaa suunniteltuja sähköverkon töitä ja häiriötilanteita. Edellä mainittuihin toimintoihin käytetään käytöntuki- ja käytönvalvontajärjestelmiä, jossa verkkojen reaaliaikaiset tilatiedot ovat kuvattuna luotettavasti.

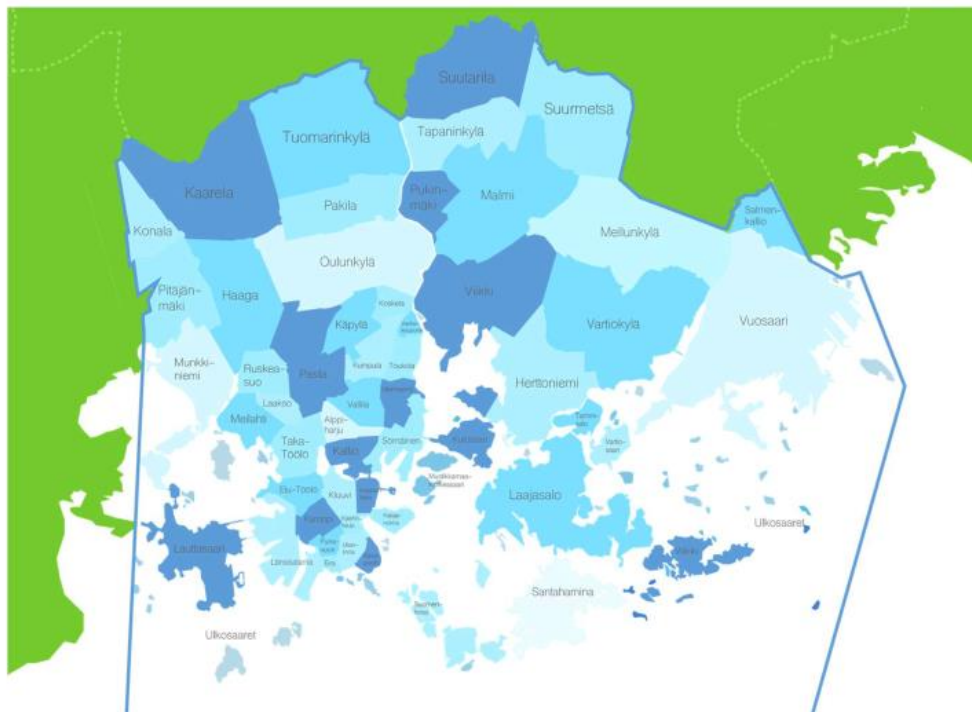
Sähköverkon kunnossapito- ja vianselvitystöissä tärkeä turvallisen työskentelyn lähtökohta on työmaadoittaminen ja näiden kytkentätilanteiden luotettava näkyminen myös käyttökeskus- ja käytönsuunnittelutoiminnassa. Työmaadoittamista varten on kiinteitä ja siirrettäviä maadoituslaitteita. Tämän työn keskiössä ovat automaatiota sisältävien jakelumuuntamoiden toiminnalliset maadoituserottimet ja näiden mallinnus verkkotietojärjestelmän verkkomalleihin. Insinööri työn seurauksena syntyi työmaadoituksen maadoituskia kuvaava toiminnallinen digitointiratkaisu. Lisäksi työssä laadittiin selkeä ohjeistus yrityksen sisäiseen dokumentointijärjestelmään, miten digitointi toteutetaan verkkotietojärjestelmän verkkomalleihin sekä käytöntukijärjestelmässä tarvittaviin toimintoihin.

Muuntamoautomaatiokohteiden maadoituserottimet sijaitsevat fyysisesti kohteiden keskijännitekojeistoissa ja niiden kuvaaminen käytöntukijärjestelmään verkon käyttötoiminnan avuksi on osoittautunut tarpeelliseksi. Muuntamoautomaatiokohteiden maadoituserottimien tilatiedosta on saatu aiemmin reaaliaikainen näkymä Helen Sähköverkon käytönvalvontajärjestelmään, josta tilatieto halutaan nyt välittää käytöntukijärjestelmään nähtäville.

Työssä on kiinnitetty huomiota käytöntukijärjestelmän toiminnallisuuden ja verkkomallien tiedonlaadun parantamiseen. Lisäksi tässä työssä esitetään Helen Sähköverkon suur- ja keskijänniteverkon rakennetta, tietojärjestelmiä sekä verkon käyttötoimintaa.

Helen Sähköverkko Oy

Helen Sähköverkko Oy on osa Helsingin kaupungin omistamaa Helen-konsernia. Helen Sähköverkko on jakeluverkkoyhtiö, jolla on yksinoikeus verkkotoimintaan Helsingissä. Helen Sähköverkko vastaa Helsingin alueen sähkön siirrosta ja jakelusta sekä sähköverkkopalveluista. Asiakasmäärältään Helen Sähköverkko on Suomen kolmanneksi suurin jakeluverkkoyhtiö, jonka sähköverkkoon on liittynyt yli 400 000 tuhatta asiakasta. Vuonna 2019 Helen Sähköverkon jakelualueen asiakkaille siirretty sähköenergia oli noin 4400 GWh [1]. Kuvassa 1 on havainnollistettu Helen Sähköverkon vastuulla oleva jakelualue.



Kuva 1. Helen Sähköverkon vastuulla oleva jakelualue [9].

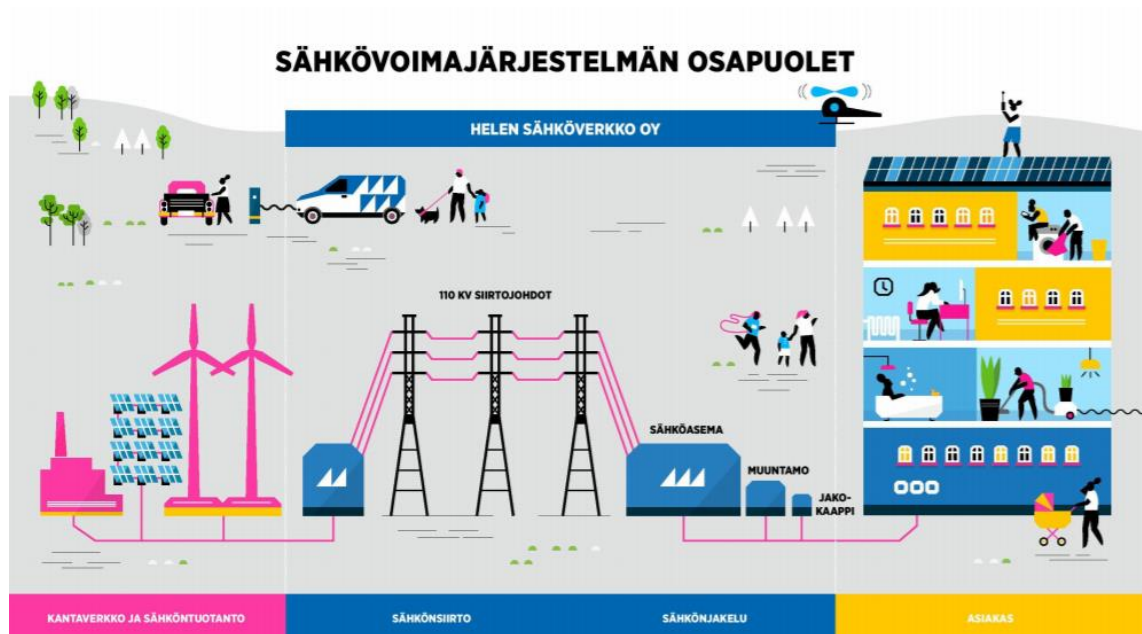
Helen Sähköverkko omistamaa sähköverkkoa on yhteensä noin 6400 kilometriä, johon on liittynyt 35 000 sähköliittymää. Sähköasemia Helen Sähköverkolta löytyy 25 kappaletta ja jakelumuuntamoita noin 1850 kappaletta, joista 28 % sisältää verkostoautomaatiota. Sähköverkon suurjännitejohdoista (110 kV) kaapeloituna on 38 %, keskijännitejohdoista (20–10 kV) 99,8 % ja pienjännitejohdoista (0,4 kV) 98 %. Korkea kaapelointiaste auttaa erinomaisen toimitusvarmuuden ylläpitämiseen. Helsingissä sähkökatkot ovat

harvinaisia ja vuonna 2019 Helsingissä asiakkaalle aiheutuvan sähkönjakelun katkos kesti keskimäärin 1,5 minuuttia. [2; 11.]

Helen Sähköverkko on noin 85 työntekijän asiantuntijaorganisaatio, jonka yksikkö rakenne koostuu omaisuudenhallinnasta, verkkopalvelusta ja liiketoiminnan kehitys yksiköstä. Vuonna 2019 yhtiön liikevaihto oli 127 miljoonaa euroa [2].

2 Sähköverkon rakenne

Sähköjärjestelmä Suomessa koostuu voimalaitoksista, kantaverkosta, suurjännitteisistä jakeluverkoista, jakeluverkoista sekä sähkön kuluttajista [3]. Suomessa kaikki kuluttajat ja voimalaitokset on liitetty yhteiseen sähköverkkoon, joka jaetaan jännitetason mukaisesti siirto- ja jakeluverkkoihin. Sähkönsiirtoverkko muodostuu Fingridin omistamasta 400, 220 ja 110 kV:n kantaverkosta, johon jakeluverkkoyhtiöt liittyvät omilla sähköasemillaan. Helen Sähköverkon omistama sähköverkko koostuu 110 kV:n suurjännitteisestä jakeluverkosta sekä keski- ja pienjännitteisestä jakeluverkosta. Kuvassa 2 on havainnollistettu Helen Sähköverkon sähköjakelujärjestelmää kantaverkon ja asiakkaiden välillä.



Kuva 2. Helen Sähköverkon sähkönjakelujärjestelmä kuvattuna [9].

Sähköverkkojen rakenteessa hyödynnetään säteittäistä-, rengas- tai silmukkamaisista verkkojen rakennetta. Jokaisella verkostotyyppillä on omat etuutensa ja heikkoutensa, joten vaihtoehtoja miettiessä on hyvä huomioida eri verkostotyyppien tekniset ja taloudelliset seikat [4].

Helen Sähköverkon suurjännitteinen jakeluverkko on rakennettu sekä käytetään silmukoidusti. Silmukoidun käyttötavan takia yksittäinen johtokeskeytys ei aiheuta sähkönjakeluun keskeytystä. Keski- ja pienjänniteverkot ovat myös rakennettu pääsääntöisesti silmukoidusti, mutta niiden käyttötapa on säteittäinen. Säteilteisesti käytetyssä verkossa sähkönjakelukeskeytykset ovat mahdollisia, mutta silmukoidun rakenteen ansiosta lähes jokaiselle muuntamolle on vähintään kaksi syöttösuuntaa. Tämä mahdollistaa sähkönjakelukeskeytyksien sattuessa sähköjen palauttamisen nopeasti toisesta suunnasta. Jakelualueella on myös yksi poikkeuksellinen jatkuvasti renkaassa käytettävä 10 kV:n rengasverkko. Tämä liittyy uuden kaupunkialueen Smart Grid -kehitykseen ja tutkimukseen. [5.]

2.1 Suurjännitteinen jakeluverkko

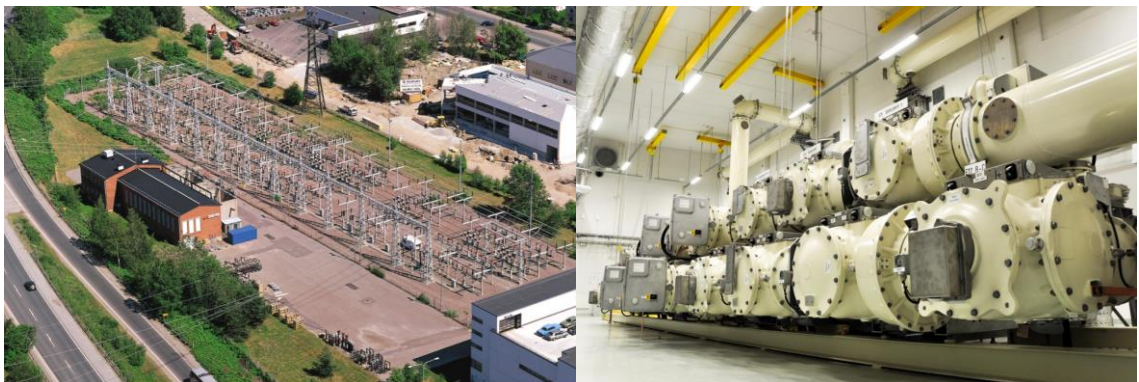
Suurjännitteinen jakeluverkko eli alueverkko on kantaverkkoon kuulumattomista 110 kV johdoista ja sähköasemista muodostuva sähköverkon osa [6]. Suurjännitteisen jakeluverkon tarkoituksena on siirtää sähköenergiaa lähemmäs kulutuskohteita sekä toimia jakelu- ja liittymisalustana isommille kulutus- sekä tuotantolaitoksille. Helen Sähköverkon suurjännitteinen jakeluverkko liittyy kantaverkkoon kahdelta Fingrid Oyj:n 400/110 kV:n sähköasemalta. Helsingin keskustan tiiviissä kaupunkiympäristössä suurjännitteinen jakeluverkko on kaapeloitua ja keskusta-alueen ulkopuolella pääosin ilmajohtoa. Helen sähköverkolla on kokonaisuudessaan 110 kV:n suurjännitteistä jakeluverkkoa 215 kilometriä, josta noin 82 kilometriä on kaapeloitua verkkoa. [2; 7.]

2.2 Sähköasemat

Sähköasemalla tarkoitetaan siirto- tai jakeluverkon kohtaa, jossa voidaan tehdä verkon kytkentöjä, muuntaa jännitetasoa ja jakaa sähköä verkon eri osiin. Tärkeitä ja kriittisiä

sähköasemien laitteistoja ovat mm. primäärilaitteet eli suur- ja keskijännitekojeistot, päämuuntajat sekä toisilaitteet eli suojaus- ja hallintajärjestelmät. Lisäksi primääri- ja toisio-laitteiden lisäksi sähköasemilta löytyy apu- ja kiinteistolaitteita. Sähköasemat voidaan jakaa niiden rakenteensa mukaan kytkinlaitoksiin tai muuntoasemiin. Helen Sähköverkon muuntoasemilla suurjänniteverkosta siirtyvä 110 kV:n jännite muutetaan jakeluverkon sopivalle 20 kV:n tai 10 kV:n tasolle. Kytkeinlaitokset eroavat muuntoasemista siinä, että niistä ei löydy muuntajia. Ne ovat yhden jännitetason asemia ja yhdistävät vain saman jännitetason verkon osia. [8; 6.]

Helen Sähköverkolla on 25 sähköasemaa, joista vielä kahden sähköaseman 110 kV yläjännitepuoli on rakenteeltaan avorakenteinen ulkokytinkenttä ilmaeristettyine laitteineen. Avorakenteisissa ilmaeristetyissä AIS-kojeistoissa (Air Insulated Switchgear) käytetään kaksikisko-apukiskojärjestelmää. AIS-kojeistoista tullaan luopumaan niiden saaneauksien yhteydessä, sillä ne vievät runsaasti tilaa kaupunkiympäristöstä ja kaasu-eristeisen kojeiston huoltotarve on huomattavasti pienempi. Muut Helen Sähköverkon sähköasemien yläjännitepuolen kojeistot ovat SF₆-kaasu-eristeisiä GIS-kojeistoja (Gas Insulated Switchgear), joissa käytetään yksikisko- tai kaksikiskojärjestelmiä. GIS-kojeistojen toteutukset vaativat huomattavasti vähemmän asennustilaa ja niitä on rakennettu rakennuksiin sekä luoliin. Helen Sähköverkon sähköasemien alajännitepuolella keskijännitekojeistot ovat ilma- tai SF₆-eristeisiä Duplex- tai kaksikiskokojeistoja. Kuvassa 3 on Helen Sähköverkon 110 kV:n AIS-kojeisto avokytinkentällä (vasen kuva) ja yksi GIS-kojeisto (oikea kuva). [7.]



Kuva 3. 110 kV:n ilma- ja SF₆-kaasu-eristeinen kojeisto [9].

Helen Sähköverkon sähköasemilla on yhteensä 49 päämuuntajaa ja nimellisteholtaan ne ovat 31,5 MVA:n tai 40 MVA:n päämuuntajia [12]. Sähköasemilla on pääsääntöisesti kaksi päämuuntajaa. Päämuuntajien huolto- tai häiriötilanteissa muuntajien kuormat pysytään kytkentämuutoksilla siirtämään toiselle päämuuntajalle. Mikäli molemmat sähköaseman muuntajat ovat yhtä aikaa pois toiminnasta, on myös mahdollista syöttää sähköaseman keskijännitekojeistoa toisilta sähköasemilta tulevilta lähdoilta. Poikkeustilanteiden varalta ylläpidetään sähköasemien ns. yleispäteviä korvaussuunnitelmia ja virta-kaavioita, joilla on varauduttu reserviyhteyksien käyttöön.

2.3 Keskijänniteverkko

Suurjännitteisestä jakeluverkosta sähköä siirretään sähköaseman kautta keskijänniteverkkoon. Helen Sähköverkon sähköasemilla jännitetaso muutetaan päämuuntajilla 10 kV:n tai 20 kV:n jakelujännitteeksi ja siirretään asiakas- tai jakelumuuntamoiden avulla lähemmäs sähköön käyttökohteita. Helsingin keskijänniteverkossa on käytössä keskusta-alueella 10 kV:n jakelujännite ja keskustan ulkopuolella 20 kV:n jakelujännite. 10 kV:n jakelualueella verkko on maasta erotettuna, kun taas 20 kV:n alueella verkko on kompensoitu ja alueen sähköasemilla käytetään maasulkuvirran kompensointijärjestelmiä [7]. Helen Sähköverkolla on keskijänniteverkkoa yhteensä 1642 km, josta kaapeloituna on 99,8 % [11].

2.4 Jakelumuuntamo

Keskijänniteverkkoon liitetyillä jakelumuuntamoilla muunnetaan suurempi keskijännite 0,4 kV pienjännitteen tasolle. Jakelumuuntamot sisältävät keskijännitekojeiston, yhden tai useamman muuntajan, pienjännitekeskuksen, pienjännitejohtolähdöt sekä mahdolliset apujännitejärjestelmät. [10.]

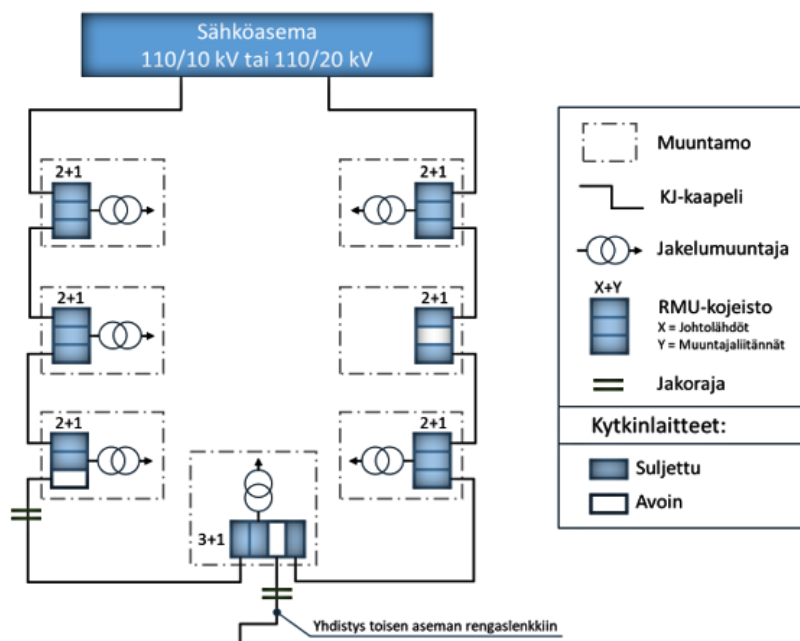
Helsingin alueen jakelumuuntamoiden toteutuksessa käytetään puisto- ja kiinteistömuuntamoita sekä puistomuuntamon tyyppisiä tilapäismuuntamoita. Ympäristöllä on suurin vaikutus muuntamotyyppin valinnassa. Helen Sähköverkon keskijänniteverkossa on verkkotietojärjestelmän mukaan 1855 kappaletta omia jakelumuuntamoita sekä 716 kappaletta asiakasmuuntamoita. Helen Sähköverkon omistamista muuntamoista noin 65

% on kiinteistömuuntamoita ja 30 % puistomuuntamoita. Tilapäismuuntamot ovat yleensä lyhytaikainen sähköntarvetta palveleva ratkaisu ja niitä on noin 5 %. [7; 11.]

2.4.1 Keskijännitekojeisto

Jakelumuuntamoiden keskijännitekojeistoissa on monia erilaisia kojeistotyppejä. Helsen Sähköverkon jakelumuuntamoissa on käytetty vuodesta 1986 asti SF₆-kaasueristeisiä rengassyöttökojeistoja (Ring Main Unit) [7]. Asiakasmuuntamoissa kojeistotyypit vaihtelevat, mutta uusien asiakasmuuntamoiden on täytettävä Helsen Sähköverkon internet-sivuilla löytyvän ohjeistuksen vaatimukset [13]. SF₆-eristeisten kojeistojen lisäksi verkossa on vielä käytössä ilmaeristettyjä avorakenteisia kojeistoja, joita korvataan koteloiduilla kojeistoilla Energiategollisuuden verkostosuosituksen mukaan [14].

RMU-kojeisto on keskijänniteverkkoon silmukoitu SF₆-kaasueristeinen kuormanerotinkojeisto, joka mahdollistaa muuntajan liittämisen ja sen erottamisen molemmista syöttösuunnista silmukoidun rakenteen ansiosta [8]. RMU-kojeiston etuna on sen vähäinen tilantarve sekä kosketussuojattujen osien synnyttämä turvallinen käyttö huoltojen yhteydessä. RMU-kojeiston silmukoitua keskijänniteverkon rakennetta esitetään kuvassa 4.



Kuva 4. RMU-kojeistolla toteutettu keskijänniteverkko [7].

Kuormanerotimien määrät vaihtelevat jakelumuuntamoissa pääosin kahdesta kuuteen. Yhdellä kojeistolla varustetuissa muuntamoissa on kahdesta kolmeen kuormanerotimia, mutta kahdella kojeistolla niitä on jo neljästä kuuteen. Kojetoista yleisesti käytettävät termit 2+1, 3+1 tai 4+1 tarkoittavat kojeistojen johtolähtöjen ja muuntajaliitännöiden määrää. Ensimmäisen numeron tarkoittaessa kojeiston johtolähtöjen määrää, voidaan päätellä kuormaerotinien määrä. [13; 7]

RMU-kojeistojen johtolähdöissä käytetään kuormanerotimia, joilla pystytään kuormitusvirran kytkentään ja katkaisuun. Jakelumuuntajia suojataan varokekuormaerottimilla, jotka ovat varustettu suurjännitesulakkeilla. Lisäksi kaikki johto- ja muuntajalähdöt varustetaan toiminnallisilla maadoituserottimilla. Kuvassa 5 on esitetty Helen Sähköverkon käytössä oleva RMU-kojeisto. [7.]



Kuva 5. RMU-kojeisto [25].

2.4.2 Jakelumuuntaja

Jakelumuuntamon jakelumuuntaja muuntaa keskijänniteverkon 20 kV:n tai 10 kV:n keskijännite pienemmäksi 0,4 kV:n pienjännitteeksi. Muuntajien kokoluokkia on pienemmän 300 kVA:n muuntajan ja isomman 1600 kVA:n muuntajaan välillä useita, mutta yleisimmät Helen Sähköverkon käyttämät muuntajakoot ovat 630, 800 ja 1000 kVA (89% muuntajista) [7]. Muuntajia voi kohteen mukaan olla muuntamoissa 0–4 kappaletta, mutta suurin osa kohteista on silti yhden muuntajan muuntamoita [13].

Rakenteeltaan jakelumuuntajat jaetaan paisuntasäiliöllisiin, hermeettisesti suljettuihin ja valuhartsieristeisiin jakelumuuntajiin. Helen Sähköverkon jakelumuuntajat ovat pääasiallisesti paisuntasäiliöllisiä ja hermeettisiä muuntajia, mutta muutamia valuhartsieristeisiä eli kuivamuuntamoita on käytetty erityiskohteissa. Helen Sähköverkon käyttämät jakelumuuntajat ovat suurimmilta osin öljyeristeisiä. 1980-luvun puolivälistä lähtien kaikki verkkoon käyttöönotetuista muuntajista ovat olleet hermeettisesti suljettuja muuntajatyyppejä. [7; 13.]

2.4.3 Pienjännitekeskus

Pienjännitekeskus on yksi jakelumuuntamon kokonaisuuden osa, joka on tarkoitettu pienjänniteverkon pää- ja jakelukeskukseksi. Muuntamoiden pienjännitekeskukset on liitetty muuntajan alajännitepuolelle. Pienjännitekeskuksesta ollaan yhteydessä runkojohdoilla jakokaapeille tai liittymisjohdoilla asiakkaiden pienjännitekeskuksille. Lisäksi pienjännitekeskuksesta voi lähteä toisen muuntamon pienjännitekeskukselle yhdyskaapelit. Keskukselta lähteviä johtoja suojataan jonovarokeytkimillä, jotka toimivat pienjännitekeskuksen kytkinlaitteina.

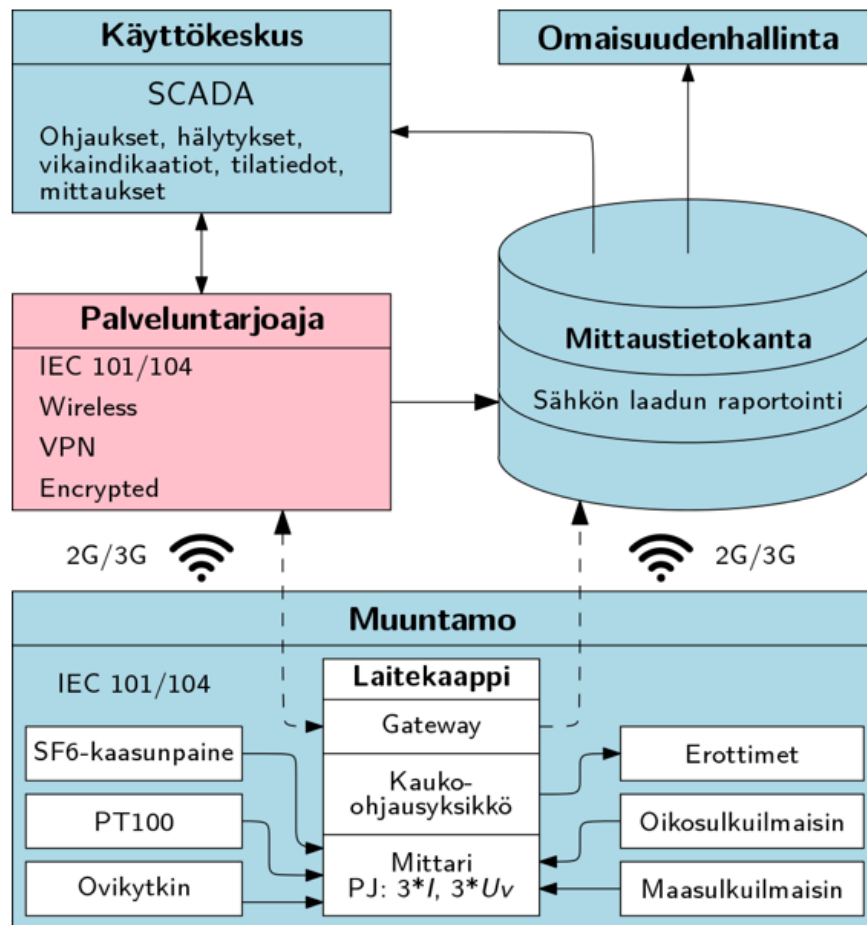
Helen Sähköverkon uusissa pienjännitekeskuksissa käytetään 400 A:n jonovarokeytkimiä. Lähtöjen määrä pienjännitekeskuksissa vaihtelee keskuskohtaisesti kymmenestä neljääntoista ja uudismuuntamoissa niitä on tyypillisesti 14 kappaletta [12]. Pienjännitekeskuksista tulee myös löytyä virtamuuntajat muuntajan virtojen mittausta varten [13]. Kuvassa 6 on esitetty Helen Sähköverkon käytössä olevan jakelumuuntamon pienjännitekeskus ja muuntaja.



Kuva 6. Jakelumuuntamon pienjännitekeskus ja muuntaja [25].

2.4.4 Muuntamoautomaatio

Muuntamoautomaatio on järjestelmäkokonaisuus, joka koostuu muuntamoiden ohjauksesta, suojauksesta, valvonnasta, mittauksista sekä erilaisista hälytyksistä. Helsingin Sähköverkon muuntamoautomaatio käsittää muuntamoiden kuormanerottimien kauko-ohjauksen, keskijänniteverkon vikaindikoinnit, kuormanerottimien tilatiedot sekä muuntamoiden monitoroinnit mittausten ja hälytysten avulla. Muuntamoiden ja käyttökeskuksen välillä kulkee salattu tietoliikenneyhteys, josta kommunikointia voidaan seurata käytönvalvontajärjestelmä SCADA:n avulla. Järjestelmä tallentaa myös pienjänniteverkon puolelta mittausdataa ja tätä voidaan hyödyntää sähkön laatutietojen seuraamisessa. Muuntamoautomaatio on yleistynyt ja on nykyään osa jakeluverkkoa. Helsingin Sähköverkon muuntamoautomaation kuvaus yleisellä tasolla on esitetty kuvassa 7. [15; 13].



Kuva 7. Muuntamoautomaation yleiskuva [16].

Vuodesta 2019 on Helen Sähköverkossa yhdistetty automaatioprojekti uusiin ja uusittaviin muuntamohankkeisiin [15]. Omien muuntamoiden lisäksi Helsingin alueella on asiakkaiden omistamia muuntamoita, joista vain osa on kauko-ohjattavia. Vuodesta 2011 verkkoon liitetyiltä ja uudistetuilta asiakasmuuntamoilta on vaadittu moottoriohjain kauko-ohjauksen käyttöönottoa varten [17].

Toimitusvarmuus

Muuntamoautomaatio on merkittävästi vaikuttanut sähkönjakelun toimitusvarmuuden parantamiseen ja ko. automaatiota käytetään päivittäin verkon kytkentätöissä. Keskijänniteverkossa käytettävillä kauko-ohjattavilla kuormaerottimilla vikapaikan erotus ja varayhteyksien kytkeminen voidaan hoitaa käyttökeskuksesta etänä. Helen Sähköverkolla

on myös muuntamoita, joissa ei ole kaukokäyttömahdollisuutta, mutta muu valvonta löytyy. Näissä muuntamoissa ohjaukset täytyy suorittaa paikallisesti. Paikalliskytkentöjä vaativien muuntamoiden vikatilanteissa häiriönselvittäjät hoitavat vikapaikan erotuksen paikan päällä. Kaukokäyttölaitteiston avulla on pystytty lyhentämään jakeluhäiriöiden kestoaikaa huomattavasti. Helen Sähköverkon keskijänniteverkon rakenteessa on hyödynnetty silmukoitua ratkaisua, joten kauko-ohjausta hyödyntäen voidaan verkossa toteuttaa häiriötilanteissa nopeasti varayhteysjärjestelyitä.

Muuntamoautomaatiolla varustetut muuntamot sisältävät muuntamovalvontalaitekaapin (MUVA-kaappi), joka sisältää kaukokäyttöön vaadittavat tiedonsiirtolaitteistot, mittalaitteet ja apujännitejärjestelmän. Tiedonsiirto MUVA-kaapin ja käytönvalvontajärjestelmän välillä on toteutettu salatun tietoliikenneyhteyden avulla. Automaatiota sisältävien jakelumuuntamoiden seinältä löytyvä MUVA-kaappi on esitetty kuvassa 8. [7.]

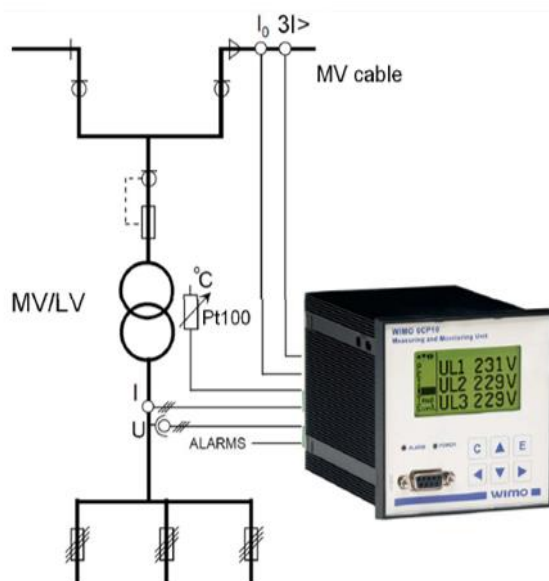


Kuva 8. MUVA-kaappi jakelumuuntamossa [25].

Valvonta ja mittaukset

Muuntamoautomaatiojärjestelmällä on myös suuri rooli muuntamolaitteistojen kunnonvalvonnassa ja keskijänniteverkon vikojen vikaindikoitien selvittämisessä. Muuntamoihin asennetuilla oikosulku- ja maasulkuindikaattoreilla saadaan usein selvitettyä vika paikka muuntamovälin tarkkuudella. Muuntamoautomaation kautta on järjestetty myös mittauksia esimerkiksi muuntamon lämpötilasta, jakelumuuntajan tehoista ja virroista laatusuureineen. Hälytysarvojen ylittyessä käyttökeskus saa tämän tiedon käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmään. Mittaustietojen avulla on havaittu muuntajien ylikuormituksia ja jäähdytysten hajoamisia. Kuormitustietojen mittauksia hyödynnetään elinkaarihallinnan työkaluna. Muuntamoautomaatiolaitteistojen mittaukset ja hälytykset talletetaan analysointia varten. [15; 17.]

Mittalaitteena Helen Sähköverkon muuntamoautomaatiokohteissa käytetään WIMO-mittalaitetta. Muuntamoautomaatiokohteessa asennetaan yksi WIMO-mittauslaite muuntajaa kohden (kuva 9). [7.]



Kuva 9. Mittaus- ja valvontayksikkö WIMO [7].

Muuntamoautomaatiolaitteistojen mittauksia on hyödynnetty mm. seuraavasti:

- muuntajien ylikuormitus ja jäähdytyksen hajoaminen

- muuntamotunkeutumiset
- korkeat pienjännitteen yliaaltotasot
- jännitekuoppatallennukset pj-puolelta
- loistehoa tuottavat muuntopiirit. [18.]

Vaatimukset järjestelmältä

Verkolla tapahtuvia sähkönjakelukeskeytyksiä ja vikoja selvittäessä muuntamoautomaatiokohteita ohjataan ensisijaisesti kauko-ohjausta hyödyntäen käyttökeskuksesta. Muuntamoautomaatiokohteiden kuormanerottimilla tulee olla mahdollisuus valita ohjaukset paikalliseksi tai kauko-ohjatuksi. Muuntamon MUVA-laitekaapin ovesta tai pienjännitekeskuksen etutaulusta löytyvällä paikallis-/kauko-ohjauskytkimellä estetään kauko-ohjaus, mikäli muuntamo on samanaikaisesti miehitetty. Kauko-ohjaukset tulee aina estää paikalliskytkijöiden työskennellessä muuntamolla, jotta työskentely on turvallista. [13.]

Sähkönjakelun pidempiaikaisista keskeytyksistä aiheutuvien haittojen ollessa merkittäviä on muuntamoautomaation käytettävyydellä ja luotettavuudella suuri merkitys. Muuntamoautomaatiokohteiden apujännitteet tulevat normaalisti 230/400 V:n pienjännitekeskuksista. Kun apujännitteitä ei ole saatavilla pidempiaikaisten sähköverkon keskeytysten aikana, tulee muuntamoautomaation pystyä ohjaamaan kuormaerottimia sekä välittämään kaikki hälytykset ja indikoinnit käytönvalvontajärjestelmään. Sähkönjakelun keskeytyksen aikana muuntamoautomaatiolaitteisto hyödyntää laitteiston omia akkuja. Akkujen tulee olla toiminnassa vähintään 12 tuntia keskeytyksen aikana. Tärkeää keskeytysten jälkeen on myös, että tietoliikenne palautuu ennalleen pitkänkin yhteyskatkon päätyttyä. [13.]

3 Tietojärjestelmät

3.1 Käytönvalvontajärjestelmä

Käytönvalvontajärjestelmä SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) on käytönohjaus- ja valvontajärjestelmä, joka kokoaa reaaliaikaista tietoa sähköjakeluverkon tilasta. Käytönvalvontajärjestelmän päätehtävä on ohjata kauko-ohjattavia verkon komponentteja ja tuoda esille sähköasemilta sekä jakeluverkosta saatavia mittaus-, tila- ja tapahtumatietoja. SCADA muodostuu yleisesti varmennetuista palvelimista, sovellusohjelmista, korkeatasoisesta käyttöliittymästä ja suojatusta tiedonsiirtojärjestelmästä. [10.]

Luotettavasti toimiva käytönvalvontajärjestelmä on välttämätön verkon käyttötoiminnan ja hyvälaatuisen verkkopalvelun tuottamisessa. Käytönvalvontajärjestelmällä toteutetaan useita kriittisiä toimenpiteitä, joten sen toiminnoille ja siitä saataville tiedoille on asetettu erityiset luotettavuusvaatimukset. Kriittisimpiä käytönvalvontajärjestelmällä hoidettavia tehtäviä ovat jakeluverkon kytkentätilatiedon hallinta ja ylläpitäminen. Järjestelmän täytyy pystyä toimintaan poikkeustilanteissa, joten sen tietotekniset laitteistot ovat yleensä kahdennettuja. Tämä tarkoittaa, että yhden järjestelmän vikaantuessa voidaan verkon hallinta säilyttää ohjaamalla käytönvalvontajärjestelmää toiselta laitteistoilta. Lisäksi SCADAn laitteistot ovat varmennettuna UPS-laitteistolla, jolla pärjätään pidemmissäkin sähkökatkotilanteissa. [10.]

Helen Sähköverkossa käytönvalvontajärjestelmä on käyttökeskusoperaattoreiden ja käytönvalvontajärjestelmän ylläpitäjien päivittäisessä käytössä. SCADA-järjestelmään on mallinnettu tarkasti suurjännitteinen jakeluverkko, sähköasemat ja niiden laitteistot sekä jakeluverkon muuntamoautomaatiokohteet. Näiden edellä mainittujen kytkentätilaa seurataan ja ylläpidetään reaaliaikaisesti Helen Sähköverkon käyttökeskuksesta.

Käytönvalvontajärjestelmän tapahtumatietojen hallinnan avulla käyttökeskuksessa on nähtävissä suojareleiden havahtumia, kytkinlaitteiden tilamuutoksia, käämikytkinten ja kompensointilaitteiston toimintaa sekä vikailmaisimien indikointia. Lisäksi muut hälytykset, kuten paloilmaismien aktivoituminen, sekä muita kiinteistöautomaation hälytyksiä välittyy käyttökeskukseen SCADAn kautta. [19.]

3.1.1 Tiedonvaihto

Vuorovaikutus ja tiedonvaihto eri yhtiöiden hallintakeskusten välillä on sähköverkkoyhtiöiden toiminnassa tarpeellista. Järjestelmien välinen reaaliaikainen tiedonvaihto on tärkeää sähköverkon hallinnan toimivuuden kannalta. ELCOM ja ICCP ovat reaaliaikaisen tiedonvaihdon standardeja, jotka ovat suunniteltu maailmanlaajuisesti valvomoiden väliseen tiedonsiirtoon. Edellä mainitut standardit eroavat toisistaan käytettyjen tietomallien, käyttötapojen, turvallisuuden, joustavuuden ja siirrettävyyden osalta. Helen Sähköverkon tiedonvaihdossa noudatetaan IEC 60870-5-101/104 standardien mukaisia protokollia, jotka on tarkoitettu mm. sähköjärjestelmän valvonnalle, ohjaukselle ja viestintään. [16; 20.]

ELCOM

ELCOM-kommunikointistandardia käytetään Helen Sähköverkon reaaliaikaiseen tietojärjestelmien väliseen tiedonsiirtoon. Helen Sähköverkosta informaatiota siirretään mm. kantaverkkoyhtiön, naapuriverkkoyhtiöiden ja Helenin välillä. ELCOM:in käyttö on yleistä mittaus- ja tilatietojen siirtämisessä. Helen Sähköverkossa ELCOM on käytössä lisäksi käytöntuki- ja käytönvalvontajärjestelmien välisenä tiedonsiirtotekniikkana. Siinä ELCOM tarjoaa erilaisia käyttötapoja, mutta yleisin Helen Sähköverkolla käytetyistä käytötavoista on spontaani tiedonsiirto. Kyseistä tiedonsiirtotapaa käytetään katkaisijoiden, erottimien ja vikailmaisimien tilatiedoissa, jotta niiden reaaliaikaiset tilamuutokset siirtyvät välittömästi järjestelmien välillä. [20.]

3.1.2 Ala-asema

RTU (Remote Terminal Unit) eli ala-asema on sähköasemilta löytyvä fyysinen laite, joka on yhteydessä verkkoyhtiöiden käytönvalvontajärjestelmään. Ala-asemilta saadaan digitaalisia ja analogisia tietoja, josta ne välittyvät verkkoyhtiöiden käyttökeskuksiin tarkasteltaviksi. Ala-asemalta saadaan sähköverkon komponenttien tilatietoja ja mittauksia käytönvalvontajärjestelmän ymmärtämään muotoon. Saatuja tietoja ja mittauksia hyödynnetään käyttötoiminnan ylläpitämiseksi. Lisäksi ala-asemiin voidaan olla yhteydessä käyttökeskuksesta päin. Käytönvalvontajärjestelmästä tehtävät kauko-ohjaukset, kuten

katkaisijoiden tai erottimien auki- ja kiinniohjaukset välittyvät ala-asemien kautta verkossa käytettäville toimilaitteille. [21.]

3.2 Käytöntukijärjestelmä

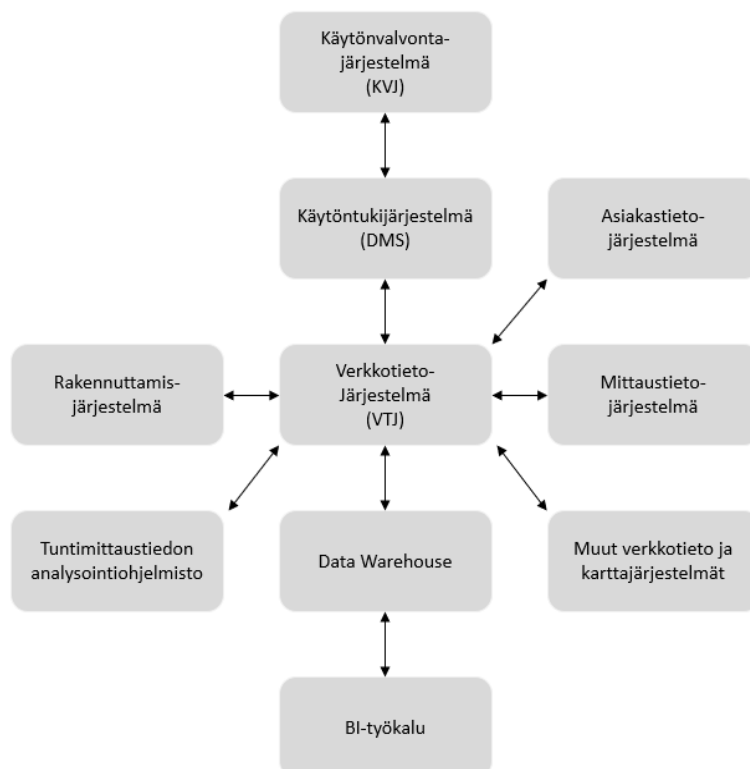
Käytöntukijärjestelmä DMS (Distribution Management System) on monipuolisia sovelluksia sisältävä järjestelmä, joka on suunniteltu käyttötoiminnan tueksi. Käytöntukijärjestelmän päätehtävänä on koota verkkoyhtiön eri tietojärjestelmistä saatavia tietoja ja hyödyntää niitä käyttötoiminnassa. Toimiakseen käytöntukijärjestelmä tarvitsee tietoja ainakin käytönvalvonta-, verkkotieto-, asiakastieto- ja karttatietojärjestelmistä. Näiden tietojärjestelmien pohjalta käytöntukijärjestelmä tarjoaa sovelluksia verkon tilaseurantaan, käytön suunnitteluun ja vikatilanteiden hallintaan. [10.]

Helen Sähköverkolla käytöntukijärjestelmä on yksi käyttökeskuksen ja verkon käytön suunnittelijoiden päätyökaluista. Käytöntukijärjestelmä hyödyntää verkkotietojärjestelmästä saatavaa verkkomallia, jonka avulla suur-, keski- ja pienjänniteverkkojen verkon rakenne eli topologia saadaan käytöntukijärjestelmään nähtäville. Käytöntukijärjestelmästä pystytään hallitsemaan suur- ja keskijänniteverkon reaaliaikaista kytkentätilaa. Käytönvalvontajärjestelmästä välittyy käytöntukijärjestelmään automaattisesti reaaliaikaiset tila- ja mittaustiedot verkon sähköasemien päämuuntajista, kj-kiskoista, katkaisijoista ja muuntamoautomaatiolla varustetuista jakelumuuntamoista. Käyttökeskusoperaattoreiden tehtävänä on pitää käytöntukijärjestelmän tilatiedot reaaliajassa paikalliskytkeä vaativien muuntamoiden osalta.

Käytöntukijärjestelmällä on myös tärkeä tehtävä keskijänniteverkon vikatilanteiden selvittämisessä. Sen laskennallisen vikapaikan määrittämisen ja muuntamoautomaatiokohdeiden vianilmaisimien ansiosta vikapaikan etäisyys voidaan selvittää melko tarkasti. Käytöntukijärjestelmällä myös suunnitellaan ja simuloidaan kytkentöjä virhekytkentöjen välttämiseksi [16].

3.3 Verkkotietojärjestelmä

Verkkotietojärjestelmät ovat tietokantaperustaisia tietojärjestelmiä, jotka muodostuvat tietokannasta ja sen hallintajärjestelmästä sekä monipuolisista sovellusohjelmista. Verkkotietojärjestelmä toimii verkkotiedon tietopankkina ja sisältää dokumentointi- sekä suunnittelutoiminnot. Siihen sisältyy monipuolisia sovelluksia, joista tärkeimpiä ovat ylläpito-, suunnittelu- ja laskentasovellukset. Kuvassa 10 on esitetty, miten verkkotietojärjestelmä linkittyy verkkoyhtiön muihin tietojärjestelmiin. [10.]

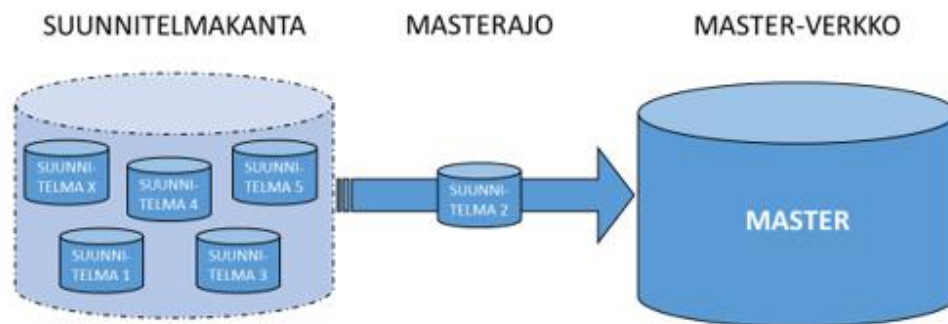


Kuva 10. Helen Sähköverkon verkkotietojärjestelmän yhteydet muihin tietojärjestelmiin.

Helen Sähköverkossa on käytössä graafinen verkkotietojärjestelmä NIS (Network Information System), joka on merkittävä työkalu sähköverkon suunnittelussa, laskennassa ja dokumentoinnissa. Verkkotietojärjestelmällä dokumentoidaan ja hallitaan yrityksen verkko-omaisuutta. Verkkotietojärjestelmällä ylläpidetään ja mallinnetaan suur-, keski- ja

pienjännitteistä verkkoa sekä maadoitusverkkoa. Verkkoa mallinnetaan verkkotietojärjestelmään verkkokartta- ja käyttökaaviomuodossa. Verkkokartalla on pyritty esittämään sähköverkon komponenttien fyysiset sijainnit ja niiden ominaisuustiedot mahdollisimman tarkasti. Käyttökaavio on selkeä ja verkonhallintaan soveltuva malli, johon on kuvattu suur- ja keskijänniteverkko käyttötoimintaa varten. [7; 16.]

Verkkotietojärjestelmän käyttämä ja tuottama tieto perustuu tallennettuun relaatiotietokantaan. Tietokanta rakentuu järjestelmään kahdennetusta relaatiotietokantataulusta, master-tietokannasta sekä suunnitelmakannasta. Master-tietokannassa on kuvattuna Helen Sähköverkon ajan tasalla oleva verkkomalli. Verkon muutokset ja lisäykset tehdään suunnitelmakantaan, josta ne siirretään master-ajon avulla master-tietokantaan (kuva 11). Verkkotietojärjestelmän tietokantaan verkkoa mallinnetaan pistemäisinä ja viivamaisina kohteina. [7; 16.]



Kuva 11. Verkkotietojärjestelmän tietokannat [7].

4 Verkon käyttö

Verkkoyhtiöiden käyttötoiminnalla pyritään luotettavaan ja toimivaan sähkön laadun, turvallisuuden, asiakaspalvelun ja taloudellisuuden ylläpitoon. Käyttötoiminnassa pääta-voitteena on huolehtia verkon turvallisuudesta ja käyttövarmuudesta. [10.]

Helen Sähköverkossa verkon käyttö- ja toimitusvarmuudesta huolehtii verkon käyttö -ryhmä. Vastuu verkkoyhtiön käyttötoiminnasta on yrityksen käytön johtajalla.

4.1 Käyttökeskustoiminta

Helen Sähköverkon 110 kV siirtoverkkoa, sähköasemia ja keskijänniteverkkoa hallitaan vuorokauden ympäri käyttökeskuksen toimesta. Verkon tilaa valvotaan sähkönjakelujärjestelmän suojaus- ja kytkinlaitteiden toiminnan sekä verkon kuormitustilan osalta [9]. Lisäksi kriittisten kiinteistöjen, kuten sähköasemien turvallisuutta valvotaan valvontakameroiden avulla. Käyttökeskuksen vastuulle kuuluvat mm.

- suunniteltujen kaukokäyttökytkentöjen suorittaminen
- kentällä tapahtuvien paikalliskytkentöjen johtaminen
- reaaliaikaisen kytkentätilanteen ylläpitäminen käytöntukijärjestelmässä
- kaukokäyttöjärjestelmään tulevien hälytysten käsitteleminen. [5.]

Verkon käyttötoimintaa ohjataan käyttökeskuksesta. Verkon ohjaukseen liittyy suuri vastuu työ- ja sähköturvallisuudesta [9]. Verkon kytkennät, joita ei voida suorittaa kauko-ohjauksien avulla, toteutetaan käyttökeskuksen ja häiriönselvittäjän yhteistyönä. Tällöin kytkennän johtajana toimii käyttökeskuksessa työvuorossa oleva työntekijä, jonka tehtävänä on vastata kytkentätilanteen suorittamisesta turvallisesti sekä varmistaa kytkentätilanteen olevan jatkuvasti käyttökeskuksen tiedossa. Kytkennän johtajalla tai suorittajalla on aina oikeus ja velvollisuus keskeyttää kytkentä havaitessaan riskejä käyttötoimenpiteen turvallisuudessa. [22.]

4.2 Käytönsuunnittelu

Käytönsuunnittelulla varaudutaan riittävän käyttövarmuuden säilyttämiseen suunniteltujen huolto-, korjaus- ja verkonrakennustöiden aikana. Helen Sähköverkon käytönsuunnitteluun kuuluu mm. suunniteltujen keskeytysten ajoittaminen, kytkentäohjelmien tarkastaminen sekä laajoihin keskeytyksiin varautuminen. Käytönsuunnittelu varautuu asiakasvaikutuksiltaan laajoihin keskeytyksiin työkohtaisilla varautumissuunnitelmilla, joilla sähkönjakelu on mahdollista palauttaa tarvittaessa nopeasti. Suunnitelmissa on huomioitu keskeytyskohteiden erityispiirteet sekä mahdolliset kriittiset tarpeet. [5.]

Helen Sähköverkon kaikista 110, 20 ja 10 kV:n verkkoihin liittyvistä keskeytyksistä tehdään kirjallinen kytkentäohjelma. Kirjalliset kytkentäohjelmat tehdään palveluntuottajien ja tarvittaessa Helen Sähköverkon käytönsuunnittelun toimesta. Suur- ja keskijännitteisen verkon kytkentäohjelmien hyväksyminen ja tarkastaminen kuuluu Helen Sähköverkon käytönsuunnittelun ja käyttökeskuksen tehtäviin. Pienjännitteisen verkon kytkentäohjelmista vastaa palveluntuottoja. Turvallisen ja toimivan käyttötoiminnan olennaisena osana ovat laadukkaat ja kattavat kytkentäohjelmat. [5.]

Kirjalliset kytkentäohjelmat tehdään Helen Sähköverkon käytöntukijärjestelmällä. Niihin kirjataan jokainen työssä suoritettava yksityiskohtainen kytkentä ja siihen liittyvät turvallisuustoimenpiteet. Kytkeäohjelmassa tulee esittää vähintään suunniteltujen toimenpiteiden toteutusjärjestys, kytkinlaitteen tunnus ja tyyppi sekä toteutettava toimenpide. Kytkeäohjelman kytkinlaitteet askelletaan eli käydään läpi niiden tarkastusvaiheessa ennen verkolla tehtäviä toimenpiteitä. Askellus tapahtuu kytkentä kerrallaan käytöntukijärjestelmän simulointitilassa. [23.]

4.3 Häiriönselvitys

Verkon kehittämisellä ja ennakoivalla kunnossapidolla sekä käyttövarmuusasiat huomioinnottavalla käyttötoiminnalla ja käytönsuunnittelulla on onnistuttu lyhentämään verkon keskeytysaikoja ja ehkäisemään häiriöiden syntymistä. Helen Sähköverkon keskijänniteverkossa asiakkaille keskeytyksen aiheuttavia häiriötä tapahtuu noin 30–50 kappaletta

vuodessa ja suurjännitteisessä verkossa harvemmin kuin kerran vuodessa. Keskijänniteverkossa esiintyviä häiriöitä johtuu mm. päätteiden ja jatkosten rakennevirioista sekä maankaivuusta. Pienjänniteverkon osalta häiriönselvityksestä vastaa palveluntuottajan PJ-verkon hallintapalvelu. [5.]

Suur- ja keskijänniteverkon häiriöselvitystä johdetaan käyttökeskuksesta ja se alkaa välittömästi, kun käyttökeskus saa hälytyksen vikatapauksesta käytönvalvontajärjestelmään tai ulkopuoliselta ilmoittajalta. Työvuorossa oleva käyttökeskusoperaattori analysoi tilanteen ja aloittaa toimenpiteet sähkönjakelun palauttamiseksi sekä tarvittaessa hälyttää tarvittavat resurssit häiriönselvitykseen. [22.]

Helen Sähköverkon ensisijaiset häiriönselvityskeinot koostuvat vikapaikan etsimisestä, verkosta erottamisesta ja sähkönjakelun palauttamisesta verkossa tehtävien kytkentöjen avulla. Kiireettömät häiriöt, jotka eivät heikennä verkon käyttövarmuutta, suoritetaan suunnitelmallisesti kirjallisten kytkentäohjelmien avulla. Mikäli sähkönjakelun palauttaminen asiakkaalle toisesta syöttösuunnasta ei ole mahdollista, ryhdytään vikaa korjaamaan välittömästi ilman kirjallisia kytkentäohjelmia. Kun verkon kytkentöjä suoritetaan ilman kytkentäohjelmia, käyttökeskuksen tehtävänä on ylläpitää reaaliaikaista kytkentätilannetta manuaalisesti käytöntukijärjestelmässä. [5.]

5 Työmaadoittaminen

Kaikissa verkon suurjännitelaitteiden osien yhteydessä suoritettavissa jännitteettömissä työtehtävissä tulee suorittaa työmaadoitus. Vastuu työmaadoittamisesta kuuluu työkohteen käytöstä, erottamiskytkennöistä ja niiden palauttamisesta vastaaville kytkentäluvan omaaville henkilölle. Ensisijaisesti ennen työmaadoitusten suorittamista on varmistuttava kohteen jännitteettömyydestä. Työmaadoituksella maadoitetaan työkohteen jännitteiden verkon osa tai laitteisto. Verkolla tehtävien työmaadoitusten avulla estetään työkohteiden joutuminen vaarallisesti jännitteiseksi kytkinlaitteiden vikaantumisien tai virhekytkentöjen seurauksena. Tarvetta työmaadoituksen käyttöön on huoltojen, keskeytysten ja häiriöiden yhteydessä. SFS 6002 -sähköturvallisuusstandardissa on esitetty työmaadoitusten asettamista ja poistamista sekä niiden merkitsemistä koskevat ohjeet. [22.]

Työmaadoittaminen suoritetaan aina ensisijaisesti kiinteitä maadoituserottimia käyttäen. Maadoituserotinta käytetään suur- ja keskijännitekojeistoissa, jotta verkossa työskenteilyn aikana indusoitunut jännite tai vikavirrat eivät pääsisi aiheuttamaan vaaratilanteita [8]. Mikäli maadoituserottimia ei ole käytettävissä, niin työmaadoitukseen käytetään jännitetasolle soveltuvia siirrettäviä maadoitusvälineitä. Työmaadoituksia suoritetaan maadoituserottimien lisäksi paikallisesti maadoitusköysillä. Niiden käytössä tulee huomioida köyden poikkipinta-ala sekä oikosulkukestoisuus. Jos oikosulkutehot ovat liian korkeat, voidaan maadoitusköysien sijasta käyttää myös riittävän vahvaa oikosulkukiskoa, joka kiinnittyy jokaiseen vaiheeseen. [22.]

Sähköasemilla päämuuntajien, 110 kV:n reaktorien, kompensointikondensaattorien ja omakäyttömuuntajien töissä tehollinen maadoitus suoritetaan kojeistojen maadoituserottimilla. Tämän lisäksi työkohteessa näkyvä työmaadoitus suoritetaan maadoitusköysillä. [22.]

Työmaadoituksia seurataan ja niiden tilatietoa ylläpidetään yrityksen käytöntukijärjestelmässä. Sähköasemien suur- ja keskijännitepuolen sekä automaatiota sisältävien jakelu- muuntamoiden kojeistojen maadoituserottimien tilatiedot päivittyvät automaattisesti käytönvalvontajärjestelmästä, joten käytöntukijärjestelmässä on aina oikea tilatieto. Paikal-

lisiä kytkentöjä vaativilla maadoituserottimilla ja siirrettävillä maadoitusköysillä suoritettujen työmaadoituksien tilatietoja ylläpidetään manuaalisesti käyttökeskuksen toimesta. Kauko-ohjattavien maadoituserottimien tilatiedon on välityttävä luotettavasti käytönvalvontajärjestelmään, mikäli niitä halutaan ohjata kauko-ohjauksen avulla.

Helen Sähköverkon sähköasemien kojeistoista löytyy kauko-ohjattavia ja paikallisesti ohjattavia maadoituserottimia. Suurimmalla osalla sähköasemien suurjännitekojeistoista on maadoituserottimien kauko-ohjaus mahdollisuus, mutta keskijännitekojeiston lähdöillä maadoituserottimet vaativat paikallista ohjausta. Verkolla on myös sähköasemia, joista löytyy kauko-ohjaus mahdollisuus suur- ja keskijännitekojeistojen maadoituserottimille. Lisäksi on vielä sähköasemia, joiden kojeistoista puuttuu maadoituserottimien kauko-ohjaus mahdollisuus kokonaan. Keskijänniteverkon jakelumuuntamoiden maadoituserottimien ohjaus hoidetaan aina paikalliskytkennöin, sillä niissä ei ole kauko-ohjaus mahdollisuutta.

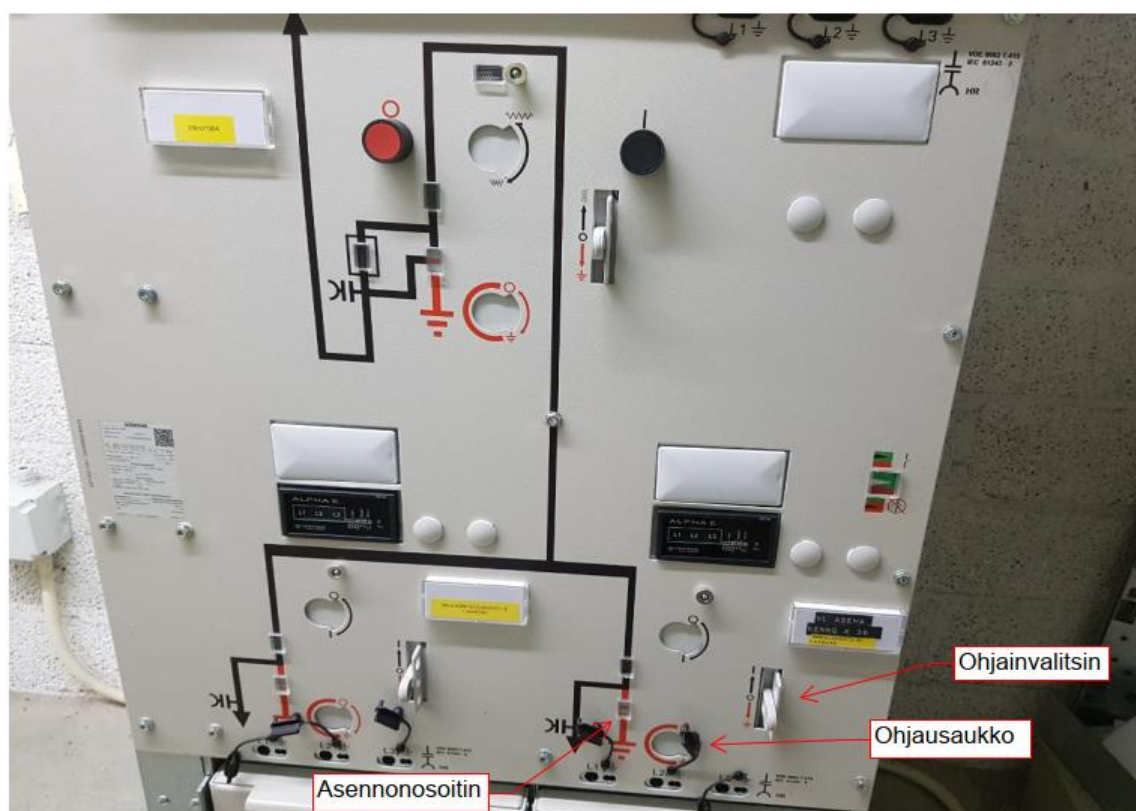
Maadoituserottimien kaukokäyttö edellyttää jännitteettömyyden toteutusta paikan päällä tai luotettavasti etänä. 110 kV:n kojeiston maadoituserottimet ohjataan yleisesti kauko-ohjauksen avulla aina, kun siihen on mahdollisuus. Kauko-ohjauksen toteutumisen varmistaa sähköasemalla paikalla olevat kytkijät. Päämuuntajakeskeytyksissä ja keskijännitelähtöjen työmaadoituksissa käytetään myös kauko-ohjauksia, mikäli se on mahdollista ja tilanne sen vaatii. Työmaadoituksien suorittaminen on huomattavasti turvallisempaa ohjata etänä, sillä tällöin kytkijöiden ei tarvitse olla kojeiston lähetyvillä ohjauksen aikana. Taulukossa 1 on havainnollistettu Helen Sähköverkon maadoituserottimien ominaisuuksia ja käyttöä verkon eri osissa.

Taulukko 1. Helen Sähköverkon kohteet, joissa käytetään maadoituserottimia.

Kohde	Maadoituserotin	Ohjaus	Tilatieto
Sähköaseman 110 kV kojeisto	Kiinteä	Kauko-ohjaus, paikallisesti	Automaattisesti käytönvalvontaja käytöntukijärjestelmään
Sähköaseman kj-lähdöt	Kiinteä	Kauko-ohjaus, paikallisesti	Automaattisesti käytönvalvontaja käytöntukijärjestelmään
Kj-verkon muuntamoautomaatiokohteet	Kiinteä	Paikallisesti	Automaattisesti käytönvalvontaja käytöntukijärjestelmään
Kj-verkon muut jakelumuuntamot	Kiinteä, maadoituserotin puuttuu ja työmaadoitus maadoitusköysien avulla	Paikallisesti	Manuaalisesti käytöntukijärjestelmään

Helen Sähköverkon keskijänniteverkossa on vielä jakelumuuntamoita, joiden kojeistot eivät sisällä maadoituserottimia. Näiden kohteiden muuntamolta lähtevien kaapeleiden maadoitukset suoritetaan siirrettäviä maadoitusköysiä käyttämällä. Maadoituserottimia sisältävän kojeiston jokaisessa kaapeli- ja muuntajalähdössä tulee olla oma oikosulun kytkemiseen kykenevä maadoituserotin.

Jakelumuuntamon kojeistoissa maadoituserotin voidaan yhdistää toimimaan kuormanerottimen tai erottimen kanssa. Maadoituserottimen sekä kuromanerottimen/erottimen välillä on normaalisti lukitus, jolla estetään molempien laitteiden yhtäaikainen kiinni kytkeytyminen. Lisäksi kojeiston kennon oven ja maadoituserottimen välillä on mekaaninen lukitus, jolla kennon ovi aukeaa vain maadoituserottimen ollessa kiinni. Paikallisesti ohjattavien jakelumuuntamoiden maadoituserottimien ohjaus suoritetaan ohjauskammella kojeiston etukannesta. Kuvassa 12 on esitetty Helen Sähköverkon jakelumuuntamon keskijännitekojeiston kennon työmaadoittamiseen liittyvät osat. [24.]



Kuva 12. Keskijännitekojeiston kennon maadoittaminen [25].

6 Digitointiprosessin kuvaus

Helen Sähköverkon käyttämään verkkotietojärjestelmään on kuvattuna suur-, keski- ja pienjännitteisen jakeluverkon tärkeimmät komponentit sekä verkon topologia eli rakenne. Jokainen verkkomalliin liitetty jakeluverkon komponentti on ensin digitoitu verkkotietojärjestelmän verkkokartalle ja tämän lisäksi käyttökaavioon. Verkkokartalle ja käyttökaavioon digitoitujen komponenttien välillä on tärkeää se, että niiden osien toiminta on yhdenmukaista. Jakeluverkon toiminnalliset komponentit, kuten sähköasemien lähtökatkaisijat, lähtöerottimet ja maadoituserottimet sekä jakelumuuntamoiden kuormanerotimet ja muuntamoautomaatiokohteiden vianilmaisimet ovat digitoituna molempiin alustoihin.

Verkkotietojärjestelmästä verkkokartan ja käyttökaavion verkkomalli siirtyy master-tietokantaan, josta käytöntukijärjestelmä saa ne käyttöönsä. Kun verkkokarttaan ja käyttökaavioon digitoitujen verkon komponenttien toiminta on yhdenmukaista, voidaan ne ristiviittaussominaisuuden avulla yhdistää käytöntukijärjestelmässä. Ristiviittausten seurauksesta verkkokartan ja käyttökaavion toiminnalliset komponentit ohjautuvat yhdessä kytkentätilanteen mukaan. Käytönvalvontajärjestelmässä on luotu toiminnallisille komponenteille omat ELCOM-tunnukset, jotka linkitetään käytöntukijärjestelmään. Käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmän välillä linkitettyjen ELCOM-tunnusten avulla verkon komponenttien reaaliaikainen tilatieto välittyy käytöntukijärjestelmään.

Tässä työssä käsitellään digitoinnin osalta erityisesti muuntamoautomaatiokohteiden maadoituserottimien digitointia ja sen kehittämistä. Helen Sähköverkon muuntamoautomaatiokohteiden maadoituserottimien digitointi on jatkumoa aiemmin verkkotietojärjestelmään digitoiduille sähköasemalähtöjen maadoituserottimille. Muuntamoautomaatiokohteiden maadoituserottimien digitointiratkaisua ja toteutusta lähdettiin suunnittelemaan Helen Sähköverkon käytönsuunnittelun asiantuntijan ja verkkotietojärjestelmän konsultin kanssa. Suunnittelun ja erilaisten toiminnallisten vaatimusten määrittelyn jälkeen verkkokartalle ja käyttökaavioon saatiin luotua maadoituserottimen toimintaa kuvaavat pistemäiset ja viivamaiset lajit.

Maadoituserottimien toimintaa on kuvattu aiemmin käytöntukijärjestelmässä ulkoisten työmaadoitussymbolien avulla. Työmaadoitussymboleita on aiemmin lisätty käyttökeskuksen toimesta manuaalisesti. Lisäksi niitä on lisätty kirjallisiin kytkentäohjelmiin, jolloin työmaadoitus on kytkentäohjelmaa askeltaessa liitetty kytkentäsuunnittelijan osoittamaan kohtaan. Nyt kiinteiden maadoituserottimien lisäämisen ja käytönvalvontajärjestelmän linkitysten ansiosta verkon reaaliaikaiset maadoituserottimien tilatiedot päivittyvät automaattisesti käytöntukijärjestelmään. Kuvassa 13 on esitetty käyttökaavioon manuaalisesti lisätty työmaadoitussymboli (vasemmalla) ja nykyinen projektissa kehitetty muuntamoautomaatiokohteiden maadoituserottimien digitointitapa (oikealla).



Kuva 13. Jakelumuuntamoiden välinen maadoitus kuvattuna käytöntukijärjestelmässä.

6.1 Digitointi verkkokartalla

Keskijännitteisen verkon uusien kohteiden verkkomallinnusta digitoidaan verkkotietojärjestelmän verkkokartalle Helen Sähköverkon palveluntuottajan toimesta. Palveluntuottaja hoitaa sähköverkon toteutussuunnittelun keski- ja pienjänniteverkon osalta. Verkkokartalla (kuva 14) esitetään jakeluverkon verkkorakennetta ja sen tärkeimpiä komponentteja.

Jakeluverkon muuntamot ja niihin liittyvät komponentit kuvataan verkkokarttaan niiden maantieteellisille sijainneille. Verkkokartan tulee kuitenkin olla selkeästi luettavissa, jotta sen lukeminen on mahdollista myös tulostettuna. Verkkokartan luettavuuden vuoksi verkon komponenttien digitoitu ja fyysinen sijainti voivat hieman erota. Tämän takia on hyvä tarkastella verkon sijaintitietoja tarkemmin kuvaavasta sijaintikarttasovelluksesta. Sijaintikarttajärjestelmään on kartoitettu palveluntuottajien toimesta olemassa olevien verkon komponenttien ja kaapeleiden tarkat sijainnit.



Kuva 14. Muuntamot ja niiden kaapeloinnit kuvattuna verkkokartalle.

Muuntamokaavio

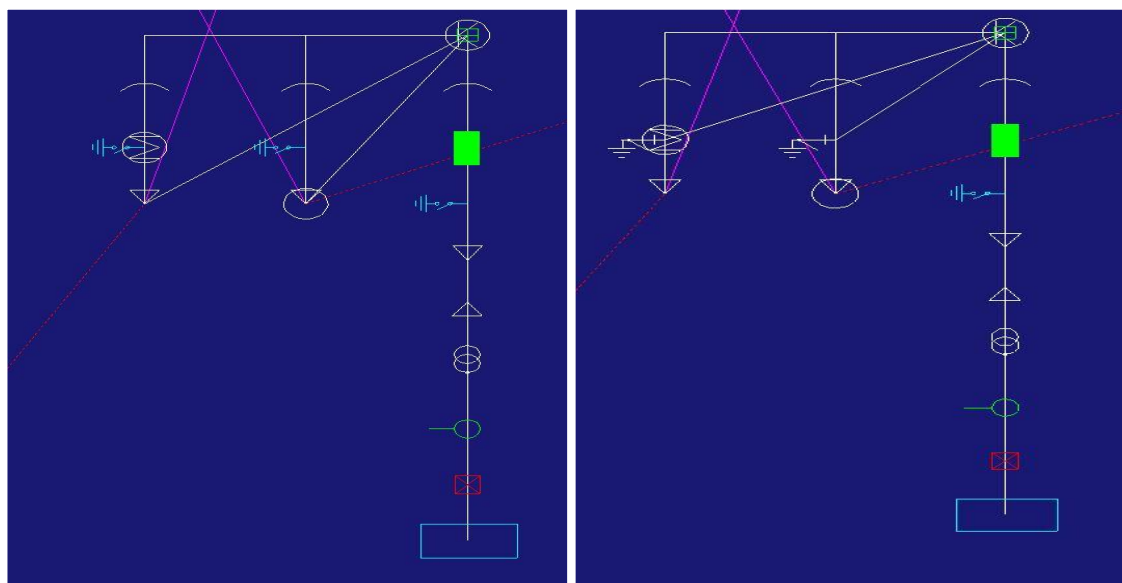
Muuntamokaavioiden digitoinnissa hyödynnetään verkkotietojärjestelmän sisään rakennettua mallikirjastoa, johon on mallinnettu Helen Sähköverkon verkossa käytettäviä muuntamokaavioita sekä sähköasemakaaviot. Mallikirjastosta voidaan kopioida valmis muuntamokaavio verkkoon ja lisätä siihen tarvittavat tunnustiedot ja muuntamoautomaatiokomponentit, joita niihin ei ole valmiiksi lisätty. Toiminnalliset maadoituserottimet voidaan tulevaisuudessa lisätä mallikirjaston muuntamokaavioihin, jotta ne löytyvät uusista kohteista automaattisesti.

Helen Sähköverkon verkkotietojärjestelmän ylläpitäjät tarkistavat palveluntuottajan verkkoon suunnittelemaat muutokset ja suorittavat tarvittavat master-ajot verkkotietojärjestelmässä. Muuntamokaaviot ja niiden tunnukset sekä kytkennät tarkastetaan tarkasti virheellisuuden välttämiseksi. Vielä toistaiseksi Helen Sähköverkon toimesta lisätään muuntamoautomaatiokohteisiin tarvittavat lisäykset, kuten vianilmaisimet muuntamokaavioihin. Palveluntuottajan toiminnan ylösajo on vielä käynnissä, mutta muuntamoautomaation lisäykset ovat myös tulevaisuudessa siirtymässä palveluntuottajan tehtäväksi.

Maadoituserottimen digitointi

Muuntamoautomaatiokohteiden maadoituserottimille luotiin uusia lajeja verkkotietojärjestelmän verkkokartalle. Uusien lajien sekä muuntamokaavioiden viivamaisten johtokaiden ja johto-osien muokkaamisen avulla toiminnallisten maadoituserottimien digitointi onnistuu ja verkon topologia toimii oikein.

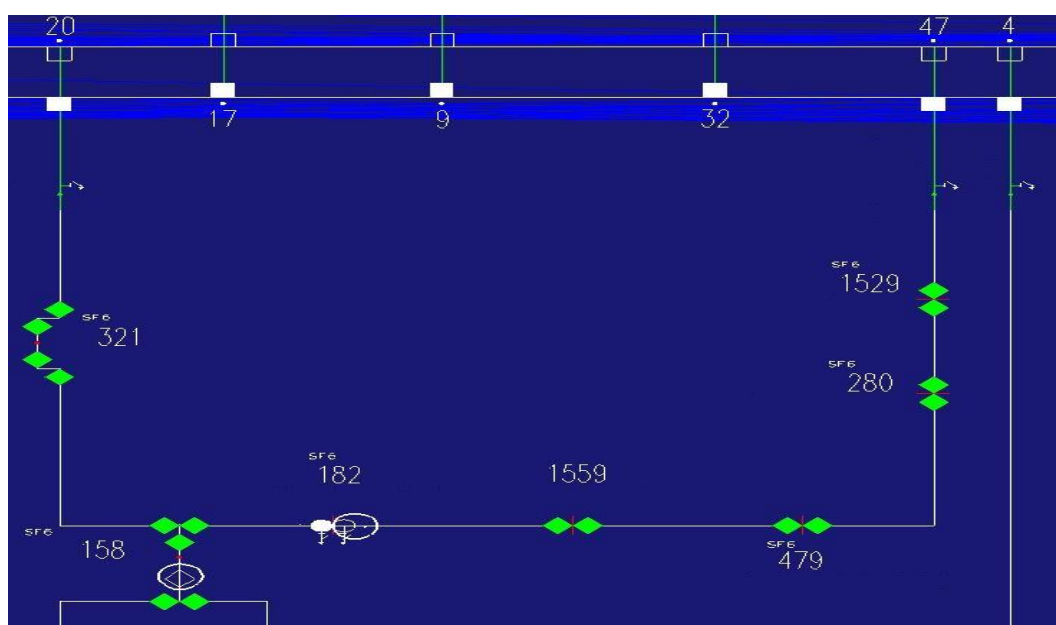
Verkkokartalla maadoituserottimet on esitetty symbolin avulla, mutta nyt muuntamoautomaatiokohteiden osalta symboleita ollaan korvaamassa toiminnallisilla maadoituserottimilla. Kuvassa 15 on esitetty muuntamoautomaatiota sisältävän kohteen muuntamokaavio vanhan ja uuden digitointityylin mukaan.



Kuva 15. Muuntamokaavio ennen (vas.) ja jälkeen (oik.) toiminnallisten maadoituserottimien lisäyksen.

6.2 Digitointi käyttökaaviossa

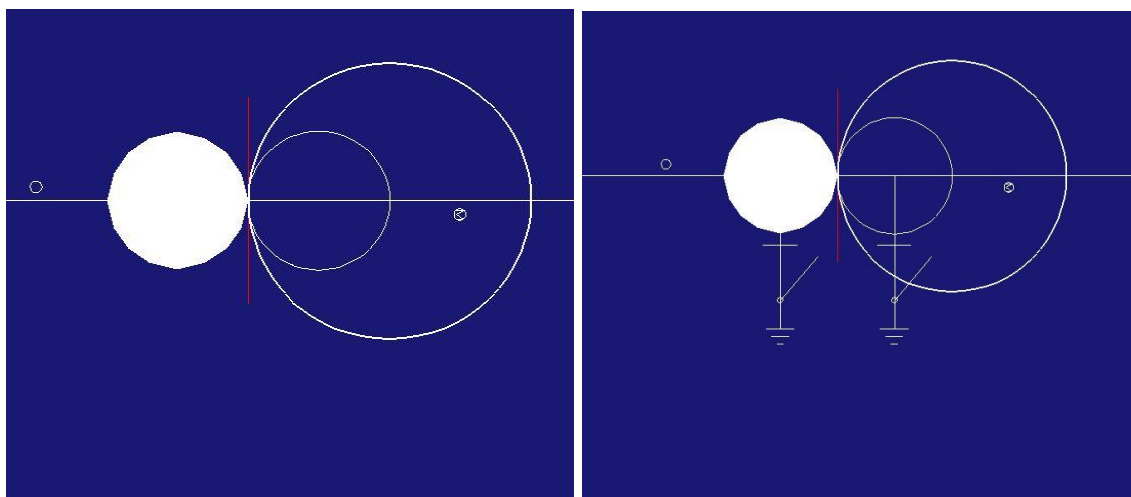
Käyttökaavion tarkoitus on selkeästi ilmaista keskijänniteverkossa olevien sähköasemien ja muuntamoiden välisiä yhteyksiä. Verkkotietojärjestelmässä käyttökaavio suunnitellaan ja rakennetaan niin, että keskijänniteverkon sähköasemalähtöjen ja muuntamoiden topologia kuvaa verkon reaaliaikaista tilannetta. Kun verkkotietojärjestelmään on suunniteltu muutokset, ne ajetaan master-tietokantaan, josta ne saadaan käytöntukijärjestelmään käytettäviksi. Käyttökaavion verkon komponenttien tilatietoja ja ohjauksia hyödynnetään verkon käyttötoiminnassa käytöntukijärjestelmästä. Kuvassa 16 on havainnollistettu näkymä Helen Sähköverkon verkkotietojärjestelmän käyttökaaviosta.



Kuva 16. Verkkotietojärjestelmän käyttökaavio.

Käyttökaavion digitoinnista vastaa Helen Sähköverkon käyttökaavion ylläpitäjät. Heidän tehtävänä on pitää käyttökaavio muuntamoiden ja sähköasemalähtöjen osalta keskijänniteverkon mukaisena. He tekevät tarvittavat lisäykset ja muutokset verkkotietojärjestelmän käyttökaavioon, josta ne master-ajon jälkeen siirtyvät käytöntukijärjestelmään. Ylläpitäjien tehtävänä on suorittaa käyttökaavion ja verkkokartan väliset ristiviittaukset käytöntukijärjestelmästä. Tämän lisäksi he lisäävät verkon automaatiota sisältäville komponenteille ELCOM-tunnukset, jotka linkittyvät käytönvalvontajärjestelmään.

Muuntamoautomaatiokohteiden toiminnallisten maadoituserottimien digitointia varten täytyi myös luoda uusia lajeja verkkotietojärjestelmän käyttökaavioon. Käyttökaavion osalta ei tarvitse tehdä muutoksia olemassa oleviin muuntamoiden mallinnuksiin. Muuntamoautomaatiokohteiden kuormanerotimien keskelle lisättiin maadoituserottimien toimintaa kuvaavat lajit ja tarkastettiin niiden kytkeytyminen topologiaväriytyksen avulla. Kuvassa 17 on esitetty käyttökaavioon digitoidun maadoituserottimen lopputulos.



Kuva 17. Muuntamoautomaatiokohde käyttökaaviossa ennen (vas.) ja jälkeen (oik.) maadoitus-erottimien lisäämisen.

6.3 Ohjeistus digitointiin

Toiminnallisten maadoituserottimien digitointiin on laadittu ohjeistus yrityksen dokumentointijärjestelmään. Siinä on esitetty kaikki tarvittavat vaiheet, kuten verkkokartan ja käyttökaavion digitoinnit sekä käytöntukijärjestelmässä tehtävät toimenpiteet. Ohjeistus koskee tällä hetkellä Helen Sähköverkon henkilöstöä ja otetaan käyttöön myös palveluntuottajalla. Olemassa oleviin verkon muuntamoautomaatiokohteisiin maadoituserottimet on lisättävä ohjeistetulla tavalla. Tulevaisuudessa uusiin kohteisiin ne on mahdollista lisätä jo suunnitteluvaiheessa, kun hyödynnetään verkkotietojärjestelmän mallikirjastoa.

7 Pohdinta

Sähköasemien ja jakelumuuntamoiden kojeistojen maadoituserottimien reaaliaikainen tilatieto on saatavilla käytönvalvontajärjestelmässä. Nytkin on havahduttu siihen, että maadoituserottimien reaaliaikainen tilatieto olisi myös hyvä saada näkyville käytöntukijärjestelmään verkon käyttötoiminnan kannalta. Verkkotietojärjestelmään digitoiduilla ja käytönvalvontajärjestelmän kanssa kommunikoivilla toiminnallisilla maadoituserottimilla saadaan käytöntukijärjestelmään automaattisesti muuttuvat tilatiedot maadoitetuista yhteyksistä. Ennen toiminnallisten maadoituserottimien digitointia kaikki keskijänniteverkon topologian maadoitukset on lisätty ja poistettu manuaalisesti käyttökeskuksen tai kytkentäsuunnittelun kirjallisten kytkentäohjelmien toimesta.

Toiminnallisten maadoituserottimien digitointi on aloitettu sähköasemien keskijännitelähtöjen maadoituserottimista. Sittemmin maadoituserottimia digitoidaan Helen Sähköverkon keskijänniteverkon automaatiota sisältäviin muuntamoihin, mutta tarkoituksena olisi tulevaisuudessa digitoida ne kaikkiin jakelumuuntamoihin, joista maadoituserotin fyysisesti löytyy. Uuden digitointitavan myötä käytöntukijärjestelmän käytöstä tulee entistä turvallisempi ja luotettavampi, kun automaatiota sisältävien jakelumuuntamoiden työmaadoitusten osalta verkon topologia päivittyy automaattisesti reaaliajassa. Näin ollen työmaadoituksesta on aina oikea tilatieto käytöntukijärjestelmässä. Kun sähköasemien ja muuntamoautomaatiokohteiden lisäksi toiminnalliset maadoituserottimet digitoidaan muihin jakelumuuntamoihin, tulee käytöntukijärjestelmän topologiasta realistisempi ja helppokäyttöisempi. Käytöntukijärjestelmä on yksi sähköverkon käytön päätyökaluista, ja työmaadoitusten merkkäminen mm. huoltojen ja keskeytysten aikana on lähes päivittäistä.

Paikalliskytkentöjä vaativien ja etäohjattavissa olevien muuntamokohteiden maadoituserottimien toiminta tai digitointitapa verkkomalleihin eivät eroa toisistaan. Jakelumuuntamoiden kojeistojen maadoituserottimet vaativat aina paikallista ohjausta, sillä niissä ei ole kaukokäyttömahdollisuutta. Ainoa ero kyseisten jakelumuuntamoiden välillä on se, että muuntamoautomaatiokohteista saadaan maadoituserottimen reaaliaikainen auki- ja kiinni-tilatieto käytönvalvontajärjestelmään. Tämä vaikuttaa käyttökeskuksen työtehtäviin siinä, että uuden digitointiratkaisun takia muuntamoautomaatiokohteiden osalta ei

tarvitse normaalitilanteessa työmaadoituksia ylläpitää manuaalisesti käytöntukijärjestelmässä. Kohteissa, jotka eivät sisällä automaatiota joudutaan työmaadoitukset merkitsemään vielä tulevaisuudessakin manuaalisesti käytöntukijärjestelmässä. Jakelumuuntamoiden mallinnukseen lisättävien toiminnallisten maadoituserottimien manuaalinen auki- tai kiinniohjaus onnistuu yksinkertaisesti suoraan verkkomallin kuvasta. Ulkoisten työmaadoitussymbolien käyttäminen ei kuitenkaan vielä häviä kokonaan käytöstä, sillä verkolla on vielä jakelumuuntamoita, joista kiinteät maadoituserottimet puuttuvat.

Maadoituserottimien digitointi vaikuttaa käyttökeskuksen ja käytönsuunnittelun työtehtäviin positiivisesti. Käyttökeskuksen ja käytönsuunnittelun tarkastamiin kytkentäohjelmiin saadaan aiempaa selkeämpi kuvaus tarvittavien yhteyksien maadoittamisesta. Työmaadoitusten merkkaaminen kytkentäohjelmiin helpottuu ja niihin saadaan automaattisesti oikeat tunnukset näkyviin. Maadoituserottimen ohjauksen toimenpiteen lisääminen kytkentäohjelman suunnitelmaan onnistuu nyt suoraan käyttökaaviokuvasta. Aiemmin ne on täytynyt lisätä käytöntukijärjestelmän lisätyökaluja käyttäen.

Operatiivisen käyttötoiminnan turvallisuus ja tehokkuus parantuu maadoituserottimien automaattisten tilatietojen tuomisella käytöntukijärjestelmään. Inhimillisten unohdusten tai väärinymmärrysten riski pienenee, kun automaatiokohteista saadaan oikea tilatieto ilman manuaalisia ohjauksia. Nyt muuntamoautomaatiokohteiden maadoituserottimien tilatietoon voi luottaa, mikäli yhteydet jakelumuuntamoon ovat kunnossa. Lisäksi aiemmin käytetyt työmaadoitussymbolit kiinnittyivät verkkomallin heikosti ja niiden pyörittelyyn kului oma aikansa. Toiminnalliset maadoituserottimet on digitoitu verkkokartta- ja käyttökaavioverkkomalleihin, joten verkon topologiaan voidaan luottaa kumpaakin mallia tarkkaillessa.

Uuden digitoititavan tuomia haasteita ja ongelmia on myös varmasti vielä edessä ennen, kun digitointiprojektia jatketaan muihin jakelumuuntamokohteisiin. Viimeistään siinä vaiheessa uuden digitoititavan tuomat maadoituserottimien manuaaliset ohjaukset tulevat käyttötoiminnassa tutuksi. Nyt muuntamoautomaatiokohteissa automaattisesti päivittyvät tilatiedot tuovat helpotusta ja selkeyttä käytöntukijärjestelmään. Mikäli yhteydet käytönvalvontajärjestelmään kuitenkin katoavat muuntamolta, täytyy maadoituserottimien tilatiedot päivittää manuaalisesti. Tämä voi aiheuttaa alkuun hieman ihmetystä, sillä

normaalikäytössä maadoituserottimiin ei tarvitse koskea. Käytöntukijärjestelmän simuloititilassa maadoituserottimien ohjaukset tehdään kuitenkin aina manuaalisesti, kun kytkentäohjelmia testataan.

Tiedonlaatu

Käytöntukijärjestelmän toiminnallisuuden parantaminen on ollut avainasemassa uuden digitointiratkaisun toteutuksessa. Muuntamoautomaatiokohteiden osalta on projektin aikana tarkastettu ja korjattu muuntamoiden digitointia sekä puutteita verkkotieto-, käytöntuki- ja käytönvalvontajärjestelmässä. Uusia toiminnallisia maadoituserottimia digitoidessa on ilmennyt virheellisiä tietoja kaikissa tietojärjestelmissä.

Maadoituserottimien digitointia suorittaessa on ilmennyt puutteita verkon komponenttien tunnuksissa, muuntamoautomaatioon liittyvien vianilmaisimien digitoinnissa, käytöntukijärjestelmän ristiviittauksissa ja käytönvalvontajärjestelmän muuntamoautomaatiokohteiden kuvissa sekä tietokannassa. Projektin aikana verkkomallien tiedonlaatu ja järjestelmien toiminnallisuus on parantunut huomattavasti. Virheelliseen tietoon on ollut tärkeää puuttua, sillä järjestelmien päivittämisen yhteydessä virheelliset ja puutteelliset tiedot tulevat usein esille. Järjestelmien päivittämisen aikana virheellinen tai puutteellinen tieto voi aiheutua suureksi ongelmaksi ja aiheuttaa ylimääräistä työtä.

Käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmän välillä tietojen tulee olla yhdenmukaisia. Käyttökeskuksessa ja käytönsuunnittelussa hyödynnetään molempia järjestelmiä verkkojen topologian ylläpitämisessä ja seuraamisessa. Käytönvalvontajärjestelmään on kuvattu suurjännitteisen verkon topologia ja kaikki automaatiota sisältävät jakelumuuntamot. Keskijänniteverkon topologia on kuvattu käytöntukijärjestelmässä. Koska verkon ohjauksia tehdään järjestelmiin mallinnettua topologiaa seuraten, tulee tilatietojen ja verkon komponenttien ominaistietojen olla täysin vastaavat järjestelmien välillä. Käyttökeskuksen tulee olla tietoinen esimerkiksi jakelumuuntamoiden tietojen ja komponenttien tunnusten oikeellisuudesta, kun etäohjauksia tehdään käytönvalvontajärjestelmästä. Kun käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmän tiedot eivät vastaa toisiaan, on käyttökeskuksen pahimmassa tapauksessa kieltäydyttävä etäohjauksista ja lähetettävä paikalliskyt-kijä kohteeseen.

Käytännön haasteena tärkeiden järjestelmien tiedonlaadun ylläpitämisessä on se, että digitointia ja tietojen ylläpitoa suoritetaan Helen Sähköverkossa eri yksiköiden ja palveluntuottajan toimesta. Uusien automaatiokohteiden osalta järjestelmien välillä tarvittavien digitointien ja mallinnusten prosessi toimii hyvin, sillä niissä kohteet mallinnetaan järjestelmiin ennen verkolla tehtäviä käyttöönottoja. Järjestelmien vastaavuuden ylläpitämisessä on ollut haasteita, kun muuntamoita on poistettu käytöstä tai yhteyden ovat muuttuneet.

Nyt toiminnallisia muuntamoautomaatiokohteiden maadoituserottimia digitoidessa on tullut korjattua sellaisia kohteita, jotka ovat ajansaatossa unohtuneet tai huolimattomasti päivitetty järjestelmien välillä. Kun Helen Sähköverkko otti käyttöön uuden tehtävienhallintasovelluksen, niin muutokset järjestelmissä ovat pysyneet hyvin hallinnassa. Sitä ennen tieto verkon topologian muutoksista on välittynyt heikommin järjestelmien ylläpitäjien välillä ja sen seurauksesta järjestelmissä on ollut eroavaisuuksia. Tämänhetkisessä prosessissa käytöntukijärjestelmään tuotujen muutosten jälkeen luodaan käytönvalvontajärjestelmän ylläpidolle tehtävänanto tarvittavista muutoksista. Näin verkkojen topologia pysyy käytöntuki- ja käytönvalvontajärjestelmässä luotettavana.

Tulokset

Kokonaisuudessaan insinööri työ onnistui tavoitteiden mukaisesti ja käytöntukijärjestelmässä muuntamoautomaatiokohteiden maadoituserottimet saatiin tuotua esiin ja helpommin käytettäviksi. Työssä saatiin kuvattua jakelumuuntamoiden maadoituserottimien lisäämiseen liittyvä verkkomallien digitointiprosessin ohjeistus ja toteutettua digitointia muuntamoautomaatiokohteiden osalta. Ohjeistusta voidaan hyödyntää jatkossa kaikissa jakelumuuntamoiden maadoituserottimien digitoinnissa. Siitä on hyötyä yrityksen henkilöstölle sekä palveluntuottajan verkonsuunnittelijoille.

Työn tuloksena verkkotietojärjestelmän digitoinnin laatu ja käytöntukijärjestelmän toiminnallisuus parantui. Verkkotietojärjestelmässä tulee käytyä jokaisen muuntamoautomaatiokohteen verkkomallit käyttö- ja muuntamokaavion osalta läpi, kun maadoituserottimia digitoidaan. Myöhemmin on myös tarkoituksena lisätä maadoituserottimet muihin jakelumuuntamoihin, joten verkkomallit tulee tarkastettua perusteellisesti.

Käytöntukijärjestelmän luotettavuus ja turvallisuus myös kasvaa, kun siihen saadaan lisää automaattista ja reaaliaikaista tietoa verkon tilanteesta. Työn lopputulos lisää operatiivisen käyttötoiminnan ja käytönsuunnittelun jokapäiväiseen työskentelyyn helpotusta kytkentäohjelmien tarkastamiseen ja luotettavuutta keskijänniteverkon työmaadoitusten tilatietoihin.

Lähteet

- 1 Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut 2019. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12862527/S%C3%A4hk%C3%B6verkon-tekniset-tunnusluvut-2019.xlsx/a865afb0-b761-b386-10b2-752bb74c65cf?t=1599477163576>. Luettu 21.9.2020.
- 2 Helen Sähköverkko Oy:n yritysesitys. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 3 Suomen sähköjärjestelmä. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <https://www.fingrid.fi/kanta-verkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma/>. Luettu 15.9.2020.
- 4 ABB:n TTT-käsikirja 2000-07 luku 13. Verkkoaineisto. ABB Oy. http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/13_S%84hk%94asemat-kojaistot-muuntamot.pdf. Luettu 1.10.2020.
- 5 Helen Sähköverkko Oy:n varautumissuunnitelma. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 6 Korpinen Leena. Sähkövoimatekniikkaopus. Verkkoaineisto. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf. Luettu 2.10.2020.
- 7 Keski- ja pienjänniteverkon suunnitteluohje. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 8 Elovaara Jarmo & Haarla Liisa. 2011. Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto.
- 9 Hellman Hannu-Pekka. Jakeluverkkotoiminta. Verkkoaineisto. https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/879509/mod_resource/content/3/Jakeluverkkotoiminta_Helmann_2019.pdf. Luettu 15.9.2020.
- 10 Lakervi Erkki & Partanen Jarmo. 2008. Sähkönjakelutekniikka. 3.painos. Helsinki: Otatieto.
- 11 Verkkotietojärjestelmä. 2020. Helen Sähköverkko Oy.
- 12 Hyvönen Eemeli. 2019. Keski- ja pienjänniteverkon suunnitteluohjeen laatiminen. Insinööritoimisto.
- 13 Muuntamoautomaation tekniset vaatimukset. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 14 Verkostosuositus RM 3:16. 2016. Kaapeliliitäntäinen verkonhaltijan muuntamo. Energiateollisuus ry.
- 15 Loukkalahti Mika. 2019. Sähköverkon automaation tulevaisuuden näkymiä. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.

- 16 Jakeluverkon suunnitteluperiaatteet. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 17 Paavola Minna. 2014. Muuntamoautomaation avulla parempi toimitusvarmuus. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 18 Asiakascase: Helen Sähköverkko Oy. 2018. Videotiedosto. Emtale Oy. <https://www.youtube.com/watch?v=OjrAYLzILjw>. Haettu 20.10.2020.
- 19 Holopainen Pekka. 2020. Sähköverkon käyttökeskuskoulutuksen kehittäminen. Diplomityö.
- 20 Koto Antti. 2009. Tietojärjestelmien väliset rajapinnat sähkönjakeluverkon käyttötoiminnassa. Diplomityö.
- 21 Launonen Antti. 2016. Sähköasemien ala-asemat ja niiden konfigurointi. Insinöörityö.
- 22 S-003 Sähköverkon paikalliskäyttö ja häiriönselvitys. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 23 Pien- ja keskijänniteverkon kytkentäsuunnittelu. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 24 SF6-eristeinen moduulikojeisto. Verkkoaineisto. Finn Electric Oy. http://media.klinkmann.fi/catalogue/content/data_fe/RB/RB_SF6-eristeinen_moduulikojeisto_0414.pdf. Luettu 29.10.2020.
- 25 Vanhat loppudokumentit. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.