

Olli-Pekka Hirssö

Muuntamoautomaation hyödyntäminen jakeluverkossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

22.10.2017

Tekijä Otsikko	Olli-Pekka Hirso Muuntamoautomaation hyödyntäminen jakeluverkossa
Sivumäärä Aika	33 sivua + 3 liitettä 22.10.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Aluepäällikkö Kalle Kontula Lehtori Tuomo Heikkinen
<p>Tämä insinööryö tehtiin Eltel Networks Oy:lle. Työssä tutkittiin muuntamoautomaatiolaitteistojen kokoonpanoja ja laitteistoista saatuja hyötyjä verkostourakoitsijan, verkkoyhtiön ja asiakkaan näkökannalta. Tutkimus tehtiin silmällä pitäen rakentamiskustannuksia, verkkoon saatavia investointihyötyjä, sekä laitteiston elinkaaren aikana kertyviä säästöjä ja ylläpidon kustannuksia. Työn tavoitteena oli kerätä yritykselle tietoa laitteistoilta vaadituista ominaisuuksista ja verkkoyhtiöiden saamista taloudellisista hyödyistä, jotta laitteistojen rakennuttaminen olisi kannattavaa niin urakoitsijan, kuin asiakkaankin näkökannalta.</p> <p>Aluksi työssä selvitettiin asiakkaiden ja Energiaviraston vaatimuksia laitteistoille, joiden pohjalta määriteltiin tärkeimmät ominaisuudet ja laitteistojen varaustarpeet myöhemmin lisättäviä ominaisuuksia varten. Näiden tietojen pohjalta seuraavaksi tutkittiin markkinoilla olevia laitteistoja, niiden liitettävyyttä toisiinsa, muuntamoiden automatisointiasteen laajentamistarvetta ja asennustapoja, jotka vaikuttavat laitteistoista saataviin hyötyihin, sekä käyttö- ja rakentamiskustannuksiin.</p> <p>Työn tuloksena saatiin laaja näkemys automatisoinnin hyödyistä, ongelmista, kustannuksista ja tarvittavista toiminnollisuuksista, joiden pohjalta parannettiin yrityksen asemaa tarjota muuntamoiden automatisointia sisältäen laitteiston toimitus, asennus, käyttöönotto ja huolto saman katon alta.</p>	
Avainsanat	Muuntamoautomaatio, jakeluverkko, vianindikointi, etäkäyttö

Author Title	Olli-Pekka Hirso Exploiting Secondary Substation Automation in Distribution Network
Number of Pages Date	33 pages + 3 appendices 22 October 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programmed	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer Kalle Kontula, Area Manager
<p>This study was made for Eltel Networks Oy. In this study, secondary substation automation equipment assemblage and benefits were explored from the viewpoint of network contractor, network company and client. Research was done observing building expenses, investment benefits available for network, and savings and costs that gather up during equipment's life-span. The aim was to collect information about features demanded from the equipment and economical profits collected by network companies so that equipment building would be profitable for contractor and client.</p> <p>First, clients and energy authority's requirements were examined. The most important functionalities and provisos were specified based on these requirements for later use. After that existing apparatuses, their connectivity to each other, rate of secondary substation automation and installation options that could affect benefits as well as costs of using and building, were researched.</p> <p>As result, benefits of automation, problems, costs and necessary functionalities are clarified. This information helps the company to tender secondary substation automation with installation, testing and maintenance.</p>	
Keywords	Secondary substation automation, Distribution network, Fault indication, Remote Access

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Jakeluverkko Suomessa	3
2.1	Verkkomuodot ja kaapelointiaste	3
2.2	Jakeluverkon turvallinen käyttö	5
3	Jakeluverkon toimitusvarmuuden parantaminen	6
3.1	Sähkömarkkinalain veloitteet	7
3.2	Energiavirasto ja valvontamenetelmät	8
4	Muuntamoautomaation mahdollisuudet	11
4.1	Jakeluverkon käyttö ja vianpaikannus	12
4.1.1	Keskijänniteverkko	13
4.1.2	Pienjänniteverkko	14
4.2	Muuntamoautomaatiolaitteisto	16
4.2.1	Vianindikointi ja kaukokäyttö	17
4.2.2	Muuntamoiden tilavalvonta	17
5	Muuntamoautomaation tiedonsiirtoratkaisut	18
5.1	Anturien ja ala-aseman väli	19
5.2	Ala-aseman ja valvomojärjestelmien väli	19
6	Eltel Networks Oy muuntamoautomaation toteuttajana	20
6.1	Mallilaitteistot	21
6.2	Asiakkaan tarpeisiin räätälöitävät laitteistot	23
6.3	Huolto- ja kunnossapito	24
7	Taloudelliset hyödyt	24
7.1	Verkon arvo	25
7.2	Kunnossapitotarpeen ennakoitavuus	27
7.3	Kaukokäyttö	28
8	Yhteenveto	31

Liitteet

Liite 1. Taajama-asutusalueen keskijännitteisen jakeluverkon rakenne

Liite 2. Haja-asutusalueen keskijännitteisen jakeluverkon rakenne

Liite 3. Havainnollistava kuva esimerkkiratkaisusta muuntamoautomaation tiedonsiirtoon

Lyhenteitä ja käsitteitä

AJK	Aikajälleenkytkentä.
AMKA	Riippukierrekaapeli, jota käytetään alle 1 kV:n pienjännitejakelussa ilma-johtona.
AMR	<i>Automatic meter reading</i> . Sähkömittareiden etäluenta.
DMS	<i>Distribution Management System</i> . Käyttötukijärjestelmä.
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> . Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.
KAH	Keskeytyksestä aiheutuva haitta.
Keskitin	Erillinen tiedonsiirtolaite, jota käytetään sähköverkossa keräämään ja edelleen välittämään etäluettavien mittareiden tai muuntamoautomaatiolaitteistojen mittaustietoja.
KJ	Keskijännite, 1–36 kV.
M2M	<i>Machine To Machine</i> . Koneiden ja laitteiden välinen tietoliikenne.
Mikrotuotanto	Sähköverkkoon liitetty sähköntuotantolaitteisto (esimerkiksi aurinkopaneeliryhmä tai tuulivoimala), jonka nimellisteho on enintään 100 kVA.
NIS	<i>Network Information System</i> . Verkkotietojärjestelmä.
PJ	Pienjännite, ≤ 1 kV.
PJK	Pikajälleenkytkentä.
Reititin	Tietoverkkoja yhdistävä laite, jonka tehtävänä on välittää tietoa tietoverkon eri osien välillä.

RTU	<i>Remote Terminal Unit.</i> Kaukokäyttölaite.
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition.</i> Käytönvalvontajärjestelmä.
SF ₆ -kaasu	Rikkiheksafluoridi on eristeenä suur- ja keskijännitekojeistoissa käytettävä kaasu.
SJ	Suurjännite, > 36 kV
VPN	<i>Virtual Private Network.</i> Virtuaalinen yksityinen lähiverkkoyhteys, joka on toteutettu julkista internetiä käyttäen.

1 Johdanto

Sähkönjakelun toimitusvarmuuden parantamisen velvoite ja jakeluverkkoon yhä enemmän kytkettävien hajautettujen mikrotuotantolaitosten sekä sähköautojen latauspaikkojen määrä painostavat verkkoyhtiöitä lisäämään muuntamoautomaatioastetta myös jakeluverkkotasolla kohti älykästä sähköverkkoa. Muuntamoautomaatiolla tarkoitetaan vianindikointia, kaukokäyttöä ja tilanvalvontaa yhdessä tai erikseen. Näillä pyritään ensisijaisesti vähentämään sähkönjakelun keskeytyksistä aiheutuneita haittoja (KAH). Verkkoyhtiöt ovatkin alkaneet sähkömarkkinalain velvoittamana uudisrakentamisessa investoimaan muuntamoiden automaatiikkaan. Vanhoihin muuntamoihin automaation lisääminen on kuitenkin tällä hetkellä hyvin vähäistä johtuen heikosta investointihyödyistä uudiskohteisiin nähden. Heikko investointihyöty ei kuitenkaan poista lisääntyvän automatisointiasteen tarvetta jakeluverkkoon, minkä vuoksi vanhaan jakeluverkkoon täytyykin kehitellä kustannustehokkaita ja innovatiivisia ratkaisuja automaation lisäämiseksi.

Insinööriyön tavoitteena on selvittää muuntamoautomaatiolaitteistojen kokoonpanoja kohteisiin, joissa laitteistot asennetaan jälkiasennuksena muuntamoihin. Kokoonpanoja tarkastellaan myös verkon turvallisen käytön kannalta, mikä on tärkeää tulevaisuudessa vaikeammin havainnollistettavan verkon rakenteen vuoksi. Vaikeasti havainnollistettavassa verkossa syöttösuuntia on lisääntyvästä mikrotuotannosta johtuen useita, eikä verkko ole nähtävissä maan alta silmämääräisesti kuten ilmalinjat.

Yritykselle tavoitellaan jälkiasennettavan laitteiston kokoonpanoa asennettuna kentälle yhtä kustannustehokkaaksi, kuin uusi laitteisto suoraan tehtaalta muuntamoon käyttövalmiina toimitettuna on. Kustannustehokkuutta haetaan laitteistojen kasaamisella itse, kohteen räätälöimisellä automatisointitarvetta silmällä pitäen ja massa-asennuksilla. Näin verkostourakoitsija voi tarjota koko muuntamon automaatiolaitteistojen kanssa avaimet käteen -periaatteella sisältäen mahdollisen käytön tuen laitteistolle. Laitteistojen ominaisuuksia tarkasteltaessa joudutaan silmälläpitämään myös rakentamiskustannuksia Energiaviraston valvontamenetelmien kannalta, jotta verkkoyhtiöiden investointien laitteistoihin pysyisi kannattavana laitteiston tuomien hyötyjen suhteen.

Työssä tutkitaan muuntamoautomaatiolaitteistojen toimintoja ja rakennetta kirjallisuuden ja aiheesta löytyvien julkaisujen pohjalta (esimerkiksi artikkelit, diplomityöt, pilotti-

hankkeiden tulokset, laitteistotoimittajien kokemukset ja esitteet). Tutkimuksessa selvitetään myös asentajien kokemuksia automaatiolaitteistoiden luona tehtävistä käyttötoimenpiteistä jakeluverkon johtolähdöillä. Opinnäytetyön tarkoituksena on toimia ohjenuorana opinnäytetyön toimeksiantajalle Eltel Networks Oy:lle muuntamoautomaation tarjoamista ja toimittamista varten.

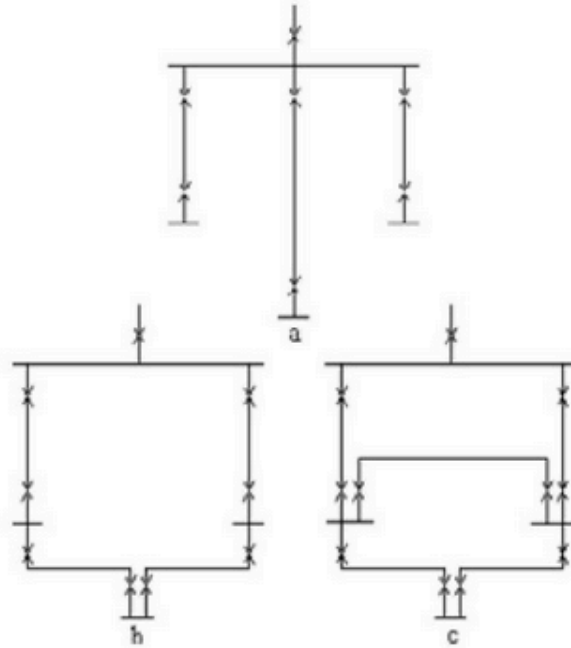
Insinööriyössä ei ole tarkoituksena käsitellä muuntamoautomaatiolaitteiston mittaavien komponenttien toimintaperiaatetta, sillä ne eivät ole toimeksiannon kannalta oleellista tietoa. Opinnäytetyössä ei myöskään ole tarkoituksena esittää minkään laitetoimittajan tuotteista kasattua malliratkaisua tai tiettyyn järjestelmään liitettävyyttä, koska eri verkko-yhtiöillä on omat kriteerinsä laitteistojen suhteen.

2 Jakeluverkko Suomessa

Keski- ja pienjännitteiset sähköverkot yhdessä muodostavat jakeluverkon. Keskijännitteisen jakeluverkon jännitetaso on pääosin 20 kV, mutta myös 10 kV:n jännitetasoa käytetään joissakin kaupungeissa. 10 kV:n jännitetason käyttö heijastuu aikaan, jolloin keskijännitekaapeleiden hankintahinnoissa oli suurempia eroja. Insinööriyössä käsitellään ainoastaan jakeluverkkoa verkkomuotojen ja kaapeloinnin suhteen, koska esimerkiksi keskijänniteverkon maadoitustavat vaikuttavat lähinnä vianindikointilaitteiden asetteluihin, eivätkä näin ollen ole muuntamoautomaation rakentamisen ja käytön hyötyjen kanssa oleellista tietoa. Lisäksi käydään läpi verkon käyttötoimenpiteiden turvallisuutta, koska se koskettaa muuntamoautomaatiota päivittäin käyttäviä henkilöitä eniten.

2.1 Verkkomuodot ja kaapelointiaste

Sähköasemilta lähtevät keskijänniteyhteydet rakennetaan silmukoituun tai säteittäiseen verkkomuotoon. Kuvassa 1 esitetään verkkomuotojen periaatteet. Silmukoitu verkkomuoto tarkoittaa, että sähköaseman johtolähdöstä lähtevä yhteys palaa toiseen johtolähtöön joko samalle tai toiselle sähköasemalle. Liite 1 havainnollistaa keskijännitteisen jakeluverkon rakennetta taajama- ja kaupunkialueilla, joissa silmukoitu muoto on yleinen. Säteittäinen verkkomuoto taas tarkoittaa, että johtolähdöstä lähtevä johto ei palaa enää takaisin sähköasemalle, jotta yhteyttä olisi mahdollista syöttää toisesta päästä verkon osan vaurioituessa. Liite 2 havainnollistaa keskijännitteisen jakeluverkon rakennetta haja-asutusalueilla, joissa hyödynnetään osittain silmukoitua ja osittain säteittäistä verkkomuotoa.

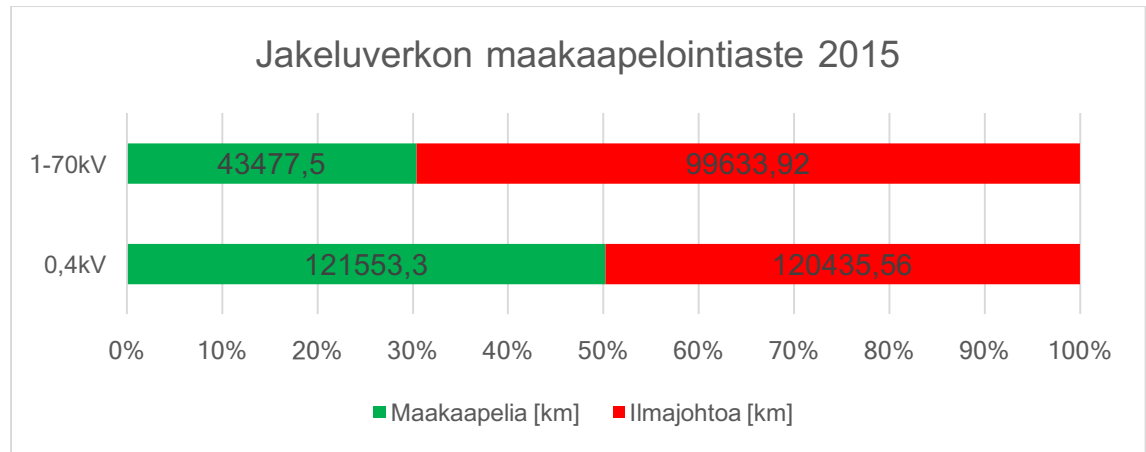


Kuva 1. a) säteittäinen verkkomuoto, b) ja c) silmukoitu verkkomuoto. Ristit kuvaavat katkaisijoita ja lyhyet poikittaisviivat kuormituspisteitä [1].

Keskijänniteverkko on perinteisesti rakennettu taajama- ja haja-asutusalueille ilmajohdoverkkona ja kaupunkien keskustoihin kaapeliverkkona. On siis selvää, että Suomen kaltaisessa harvaan asutussa maassa on keskijännitteistä ilmalinjaa enemmän, kuin maakaapelia. Tällä hetkellä Energiaviraston asettamat vaatimukset ja nykyinen sähkömarkkinalaki edellyttävät tiettyä sähkön toimitusvarmuuden tasoa ja sen parantamista tulevaisuuteen. Tästä johtuen verkkoyhtiöt ovat joutuneet toimenpiteisiin toimitusvarmuuden parantamiseksi. Suurin parannus saadaan aikaan maakaapeloimalla jakeluverkkojen myrskyille riskialttiita ilmalinjoja.

Verkon rakentaminen on kuitenkin hidasta työtä. Suomen kokoisessa maassa tulee kestämään vielä vuosia, että keskijännitteisen jakeluverkon kaapelointiaste ylittää 50%. Kuvassa 2 esitetään verkon kaapelointiaste jakeluverkon haltijoiden vuonna 2015 Energiavirastolle ilmoittamien tietojen mukaan. Luonnollisesti pääosa sähköverkon vioista tapahtuu ympäristötekijöille alttiilla ilmalinjoilla jakeluverkossa, jossa johtokadut ovat kapeita. Tyypillisimpiä vianaiheuttajia ovat tykkylumi ja puusto, jotka voivat painaa ilmalinjoja niin että johdot ottavat toisiinsa kiinni tai katkeavat niihin vaikuttavien voimien rasituksesta. Ilmajohdoilla on myös muita vikoja aiheuttavia tekijöitä, kuten pylväiden lahoaminen tai liikenneonnettomuudessa pylvään kaatava ajoneuvo.

Toimitusvarmuuteen johtoreittien osalta voidaan vaikuttaa ilmalinjojen sijoituksella, päällystettyjä johtoja käyttämällä, johtokatuja raivauksella, pylväiden lahotarkistuksilla ja tehokkaimpana keinona rakentamalla sähköverkko maahan. [2.]



Kuva 2. Jakeluverkon haltijoiden Energiavirastolle ilmoittamien kaapelointiasteiden yhteenveto vuodelta 2015. Jakeluverkkoyhtiöiden tulee KTMP 1637/95 perusteella ilmoittaa Energiavirastolle vuosittain erillisen päätöksen mukaiset tunnusluvut [6].

Toimitusvarmuutta voidaan parantaa myös lyhentämällä sähkökatkojen pituutta ja vaikutusalueita. Toteutus tapahtuu yleensä hyödyntäen kaukokäyttöä ja vianindikointia, jotka ovat osa muuntamoautomaatio -käsittelyä. Kaukokäytön täydellinen hyödyntäminen ideaaliosuhteissa edellyttää usein rengasverkkoa ja tiedonsiirtoyhteyksiä.

Kaukokäytöstä ja vianindikoinnista on kuitenkin mahdollista saada merkittäviä hyötyjä säteittäisessä verkossa haja-asutusalueilla, vaikka ne eivät ole vielä päässeet kyseisillä alueilla yleistymään. Hidasteena kaukokäytön lisääntymiselle toimitusvarmuuden parantamisessa on ollut haja-asutusalueilla laitteistojen verrattain kova hankintahinta ja niukat asentamismahdollisuudet, koska automaatiolaitteistot pitäisi saada asennettua sääsuojaan puistomuuntamoiden sisälle pylväeseen asentamisen sijaan. Lisäksi niiden kunnossapidon kustannukset ovat arveluttaneet verkkoyhtiöitä.

2.2 Jakeluverkon turvallinen käyttö

Jakeluverkoissa on aina tarve tehdä erilaisia käyttötoimenpiteitä. Rakennus-, kunnossapito- ja viankorjaustöissä tehtäviä kytkentämuutoksia varten suunnitellaan aina erilliset kytkentäohjelmat, joiden mukaan paikalliskytkijät yhteistyössä käyttökeskuksen

kanssa tekevät tarvittavat kytkentätoimenpiteet. Rakennus- ja kunnossapitotöissä toimintakuviot on selkeä, koska suunnitelmat on tehty kirjallisina ja ajan kanssa huolella verkkoon perehtyen. Viankorjauksissa vika tulee kuitenkin yllättäen ja vioittunut verkko pitää saada nopeasti erotettua ehyestä verkosta sähkön toimitusvarmuuden ylläpitämiseksi, jotta saadaan minimoitua vaurioituneen verkon vaikutusalue ja keskeytyksestä aiheutuvat haitat. Tällöin käyttöhenkilökunta verkkoyhtiön valvomosta ohjeistaa, mille erottimelle tai katkaisijalle kenttähenkilöstön pitää mennä toimenpiteitä suorittamaan.

Perinteisen jakeluverkon rakenteen vuoksi jakeluverkossa oleva vianindikointi ja kaukokäyttömahdollisuudet ovat riittäneet hyvin rajoituksissaan ainoastaan sähköasemien pään johtolähdöille. Mikrotuotannon yleistyessä kuluttajien päähän pääsee kuitenkin syntymään sähkölle toinenkin syöttösuunta, jota sähköaseman automaatiolaitteistossa sijaitsevat mittaukset eivät osaa huomioida kaikissa tilanteissa. Maastossa todellisilla vikapaikoilla olevat riskit ovat tällaisessa tilanteessa erittäin huonosti arvioitavissa valvomon päästä. Mikrotuotantolaitokset voivat vaikeuttaa myös vikapaikan löytymistä syöttäessään sähköä vaurioituneisiin verkon osiin, mikä painottaa muuntamoihin asennettavien mittausten tärkeyttä. Muuntamoautomaatiolaitteisto mahdollistaa vioittuneen verkon osan paikannuksen muuntamoiden väliltä ja näin nopeuttaa vioittuneen verkon rajaamista ja korjaustoimenpiteiden aloittamista parantaen samalla toimitusvarmuutta. Käytettäessä laitteistoa etänä pienennetään myös virhekytkentöjen vaaraa ja parannetaan viankorjaajien työturvallisuutta.

3 Jakeluverkon toimitusvarmuuden parantaminen

Toimitusvarmuus-käsite jakaantuu siirto- ja jakeluverkkojen toimitusvarmuuteen sekä energian ja tehon riittävyteen [3]. Muuntamoautomaatiolla ei itsessään pystytä vaikuttamaan jälkimmäiseen muuten, kuin ohjaamalla kuormitusta. Tästä johtuen tämän insinööriyön tutkimuksen osakohteena on ollut tältä aihealueelta pelkästään verkkojen toimitusvarmuuteen perehtyminen. Työn tutkimuskohteena ollut toimitusvarmuutta on tarkasteltu kahdessa osassa. Ensiksi tutkitaan toimitusvarmuuden kehittämisvelvoitteita lain näkökannalta. Tämän jälkeen selvitetään valvontamenetelmät ja sitä, miten ne ohjaavat verkonrakentamista.

3.1 Sähkömarkkinalain velvoitteet

Sähkömarkkinalain tehtävänä on varmistaa tietyt edellytykset, jotta voidaan turvata hyvä sähkön toimitusvarmuus, kilpailukykyinen hinta ja kohtuulliset palveluperiaatteet loppukäyttäjälle. Sähkömarkkinalaki on uudistunut vuonna 2013, jolloin siihen tuli merkittäviä vaatimuksia toimitusvarmuuden suhteen. [4.]

Sähkömarkkinalain luvun 6 pykälä 51 asettaa laatuvaatimuksena sähköverkon suunnittelulle ja rakentamiselle, ettei myrsky tai lumikuorma saa aiheuttaa asemakaava-alueella verkon käyttäjälle yli kuusi tuntia tai muulla kuin asemakaava-alueella yli 36 tuntia kestävää keskeytystä. Verkon tulee myös täyttää kantaverkonhaltijan asettamat verkon käyttövarmuutta ja luotettavuutta koskevat vaatimukset. Lain mukaan jakeluverkonhaltija voi kuitenkin määrittää asemakaava-alueen ulkopuolella 36 tunnin vaatimuksesta käyttöpaikkaan poikkeavan tavoitetason, jos käyttöpaikka sijaitsee saarella johon ei ole liikenneyhteyttä tai käyttöpaikan vuotuinen sähkönkulutus on ollut kolmen edellisen kalenterivuoden aikana enintään 2500 kilowattituntia ja vaatimuksen täyttämiseen vaadittavat investointien kustannukset olisivat käyttöpaikan osalta poikkeuksellisen suuret sen etäisen sijainnin vuoksi muihin käyttöpaikkoihin nähden. [4.]

Luku 16 119 § Jakeluverkon toimintavarmuutta koskeva siirtymäsäännös asettaa vaatimuksen, jonka mukaan jakeluverkonhaltijan on täytettävä 51 §:n kuuden ja 36 tunnin keskeytysajan vaatimukset viimeistään 31. päivänä joulukuuta 2028. Vaatimusten on täyttyvä vähintään 50 prosentilla viimeistään 31. päivänä joulukuuta 2019 ja vähintään 75 prosentilla viimeistään 31. päivänä joulukuuta 2023. Näiden väli vaatimusten täyttymisessä ei huomioida vapaa-ajan asuntoja. Jakeluverkonhaltija voi hakea Energiainfovirastolta jatkoa täytäntöönpanoaikoihin ja hakemus on tehtävä viimeistään 31. päivänä joulukuuta 2017. Jatkoa voi saada erittäin painavista syistä jopa vuoden 2036 loppuun. [4.]

Jakeluverkonhaltijan on laadittava jakeluverkkoansa koskeva kehittämissuunnitelma joka sisältää toimenpiteet, joiden toteuttaminen johtaa edeltäneissä kappaleissa kerrotujen vaatimusten täyttymiseen ja ylläpitämiseen. Kyseinen suunnitelma on päivitettävä kahden vuoden välein. Suunnitelma toimitetaan Energiainfovirastolle, joka voi vaatia suunnitelmiin muutoksia, jos on syytä epäillä, että kehittämissuunnitelma ei johda vaatimusten täyttämiseen. [4.]

3.2 Energiavirasto ja valvontamenetelmät

Sähköverkkotoiminta on luvanvaraista monopolitoimintaa, minkä vuoksi Energiaviraston tehtävänä on valvoa sähkön siirron ja hinnoittelun kohtuullisuutta [5]. Virasto on aloittanut toimintansa Sähkömarkkinakeskuksena vuonna 1995 ja nykyisen nimensä virasto on saanut vuonna 2014, kun työ- ja elinkeinoministeriö laajensi viraston tehtäviä [6]. Tehtävistään virasto raportoi sivustoilleen julkisesti.

Valvonnan päätavoitteena siirron ja hinnoittelun kohtuullisena pitämisen lisäksi on myös muita keskeisiä tavoitteita. Näitä ovat tasapuolisuus ja verkon sekä liiketoiminnan kehittäminen, jatkuvuus ja tehokkuus. Tavoitteilla on tarkoitus turvata sähköverkkojen tulevaisuutta ja ohjata rakentamista asiakkaita palvelevaan suuntaan, koska monopoli- asema mahdollistaa muutoin sen, että verkkoyhtiöillä ei ole kannustinta kehittää toimintaansa ja omaisuuttaan. [7.]

Energiavirasto laatii valvontajaksokohtaisesti valvontamenetelmät, joiden perusteella verkkoyhtiöitä valvotaan. Menetelmät ovat julkisesti esillä Energiaviraston sivuilla ja tällä hetkellä voimassa olevat menetelmät on laadittu neljännelle vuosien 2016–2019 ja viidennelle vuosien 2020–2023 jaksolle. Sähkön jakeluverkkotoiminnan valvontamenetelmien perusteella voidaan tulkita, että muuntamoautomaation toteuttamisella saadaan suurin hyöty investointi- ja laatukannustimista. [7.]

Investointikannustin koostuu yksikköhinnoista sekä niiden perusteella oikaistusta jälleenhankinta-arvosta laskettavasta tasapoistosta. Näistä koostuva kannustinvaikutus ohjaa verkkoyhtiöitä investoimaan tehokkaammin verrattuna keskimääräiseen tasoon ja etsimään kustannustehokkuutta toteutustapoihin. Lopullinen kannustinvaikutus löytyy yksikköhintojen ja todellisten investointikustannusten erotuksesta. [7.] Yksikköhintoja käsitellään tarkemmin tämän työn luvussa 7.1 Verkon arvo.

Laatukannustimen ideana on kehittää sähkönsiirron ja -jakelun laatua. Kannustimella tavoitellaan verkkoyhtiöitä saavuttamaan sähkömarkkina- laissa edellytetty toimitusvarmuustaso oma-aloitteisesti vähimmäistasoa paremmaksi. Nykyisessä laatukannustimessa käytetään keskeytyskustannuksia kokonaisina aiempien puolikkaiden sijaan. Tällä pyritään parantamaan kannustimen vaikutusnopeutta. Kannustimen vaikutus lasketaan vähentämällä keskeytyskustannusten vertailutasosta toteutuneet keskeytyskus-

tannukset [7]. Keskeytyskustannuksia eli KAH:n yksikköhintoja käsitellään tarkemmin tämän työn luvussa 7.3 Kaukokäyttö kohdassa Keskeytysten kustannukset.

Tehostamiskannustin pyrkii tehostamaan verkkoyhtiöiden toimintaa kustannustehokkaaksi. Toiminta on kustannustehokasta, kun toimintaan käytetään mahdollisimman vähän kustannuksia tuotoksiin nähden. Yrityskohtaisen tehostamistavoitteen laskennassa käytetään panosmuuttujia, tuotosmuuttujia ja toimintaympäristömuuttujia. Panosmuuttujia ovat kontrolloitavissa olevat operatiiviset kustannukset (KOPEX) ja sähköverkon jälleenhankinta-arvo (JHA). Tuotosmuuttujia ovat siirretyn energian määrä, sähköverkon kokonaispituus, käyttöpaikkamäärä ja keskeytyskustannukset (KAH). Toimintaympäristömuuttujana käytetään liittymien ja käyttöpaikkojen suhdetta. [7.]

Innovaatiokannustimella kannustetaan innovatiivisten teknisien ja toiminnallisen ratkaisujen kehitykseen ja käyttöön verkkotoiminnassa. Kannustimeen hyväksyttävien kustannusten tulee liittyä suoraan toimialalle uuden tuotteen, toimintatavan, teknologian tai tiedon synnyttämiseen verkkotoiminnassa. Kustannukset voivat olla tutkimus-, kehitys- tai suunnittelutyöstä koostuvia. Kannustimeen hyväksytyjen hankkeiden tulosten on oltava julkisia ja muiden hyödynnettävissä, muutoin kuin asiakkaiden ja teollisoikeudellisesti luottamuksellisten tietojen osalta. Kohtuullisina innovaatiokannustimeen laskettavina kustannuksina käsitellään enintään 1 %:a vastaava osuus verkkoyhtiön valvontajakson eriytettyjen tuloslaskelmien verkkotoiminnan liikevaihtojen summasta. [7.]

Toimitusvarmuuskannustin on kehitetty mahdollistamaan sähkömarkkina-alaissa toimitusvarmuudelle veloitettujen kriteerien saavuttaminen määräajassa. Kannustimeen voi saada korvausinvestointeja, jotka on tehty lain asettamien kriteerien takia ennenaikaisesti. Mikäli toimitusvarmuus verkkoyhtiöllä on jo hyvällä tasolla ja kriteerien saavuttamiseksi ei vaadita verkkokomponenttien pitoaikojen vaihteluvälin ennenaikaisia korvausinvestointeja, ei kannustimen käyttö ole perusteltua. Kannustimeen hyväksyttävät alaskirjaukset hyväksytäänkin siis vain perusteltuihin syihin vedoten, eikä jokaisella verkkoyhtiöllä ole tähän oikeutta. Kannustimen vaikutusta laskettaessa summataan NKA-jäännösarvon alaskirjaukset sekä kunnossapito- ja varautumistoimenpiteiden kohtuulliset kustannukset. NKA-jäännösarvo lasketaan käyttäen komponentin oikaistua jälleenhankinta-arvoa, ikää ja komponentin pitoajan vaihteluvälin alarajaa. NKA-jäännösarvo on komponenttikohtainen. Jäännösarvon kannustimeen voi saada ainoastaan jakeluverkon pylväsmuuntamoista, keskijännitteisen ilmajohtoverkon kytkinlaitteista sekä keski- ja pienjännitteisistä ilmajohdoista. [7.]



Kuva 3. Neljännen ja viidennen valvontajakson valvontamenetelmät [7].

Näiden kaikkien edellä kuvattujen kannustimien vaikutukset vähennetään laskettaessa toteutunutta oikaistua tulosta kuvan 3 mukaisesti [7]. Kannustimet kannustavat ensisijaisesti sijoittamaan investoinnit maakaapelointiin, mutta kannustimia tarkasteltaessa voidaan huomata, että useiden kannustimien laskennassa vaikuttaa erityisesti keskeytysten pituus. Vaikka maakaapeloinnilla pystytäänkin toteuttamaan säävarmaa verkkoa, voi verkko silti vikaantua. Tämän vuoksi Energiavirasto pyrkii ohjaamaan verkko-yhtiöitä rakentamisessa suuntaan, jossa verkon valvontaakin lisättäisiin. Verkon valvontaa varten lisätty automatiikka onkin ainoita tehokkaita tapoja paikantaa maakaapeliverkon viat ja ohjata sähkö vaihtoehtoisia reittejä pitkin kuluttajille korjaustyön ajaksi.

4 Muuntamoautomaation mahdollisuudet

Automatisoinnilla on saatu huomattavia säästöjä ja hyötyjä sähköverkoissa jo useita vuosia. Verkojen automatisoinnin tuomat edut ovat laajat. Sähkön laatua on saatu parannettua lyhentämällä häiriöiden kestoaikaa. Vikatilanteita on pystytty ennakoimaan kuormituksia tarkkailemalla ja suuremmissa häiriötilanteissa on saatu nopeasti yleiskuva tilanteesta, mikä on edesauttanut saamaan verkoston kytkennät niin, että ensiksi saadaan supistettua vian vaikutusalue mahdollisimman pieneksi. Verkojen automaatio ohjaa myös energian hankintaa taloudellisempaan suuntaan, pienentää päivystyskustannuksia sekä laatii verkosta jatkuvasti hyödyllistä raporttia [8]. Voidaan siis todeta, että vikojen määrään automaation lisäämisellä ei ole vaikutusta, mutta niiden kestoajan ja laajuuteen on merkittäviä vaikutuksia. Lisäksi kauko-ohjauksen avulla voidaan välillisesti parantaa verkon siirtokykyä, sillä kauko-ohjausta hyödyntäen voidaan toteuttaa yhteysjärjestelyjä hyödyntämällä verkon siirtokapasiteetti täysimääräisesti. Siirtokapasiteetin hyödyntäminen pienentää investointitarpeita.

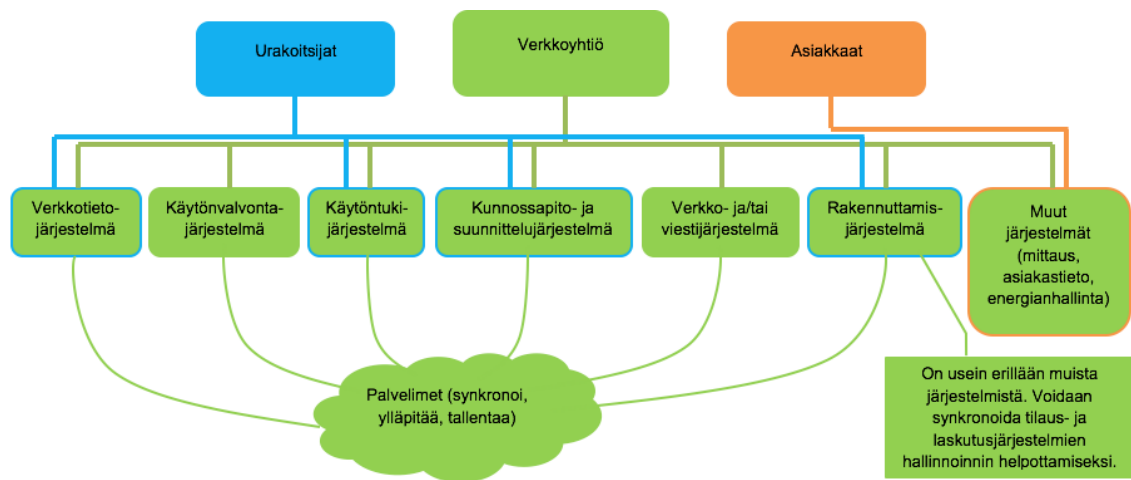
Aikaisemmin automatisointi sähköjakeluverkossa on toteutettu lähinnä vain sähköasemien johtolähdöillä ja verkon osilla, joilla keskeytyksistä aiheutuvat haitat (KAH) ovat suuret. Nyt monien tekijöiden vaikutuksesta, kuten toimitusvarmuuden kehittämisen vaatimusten ja laitteistojen tarjonnan johdosta, on automaatio jakeluverkoissa alkanut yleistyä jo huomattavasti lähempänä kuluttajia puistomuuntamotasolla ja asiakkaiden liittymissä. Esimerkkinä automaatiosta on etäluettavat mittarit eli AMR (automatic meter Reading), jotka mittaavat lähes jokaisen suomalaisen sähkökuluttajan käyttämän sähköenergian. AMR:llä voidaan mahdollistaa:

- tuntikohtainen sähkönkulutuksen tarkkailu
- automaattinen sähkön laskutus
- jännitteen laadun mittaus ja rekisteröinti
- sähköjen kytkentä ja katkaisu etänä, kuormanohjaus
- hälytykset.

Etäluettavat mittarit ovatkin olleet oiva apuväline saada kartoitettua pienjänniteverkoissa esiintyvien vikojen sijainti ja vaikutusalue.

4.1 Jakeluverkon käyttö ja vianpaikannus

Jakeluverkon käyttö ja vikojen paikantaminen perustuvat tänä päivänä hyvin suurelta osin verkkoyhtiöiden tietojärjestelmien käyttöön. Kuvassa 4 esitetään yleisimmät verkkoyhtiön tietojärjestelmät ja se, mihin kukin sähköverkon kanssa tekemisissä oleva osapuoli pääsee kiinni. Luvussa käsitellään vain verkon käyttöä koskevia järjestelmiä, koska muilla järjestelmillä ei ole tekemistä muuntamoautomaation kanssa muuten, kuin dokumentoinnin osalta.



Kuva 4. Yleisimmät verkkoyhtiön järjestelmät.

Verkkotietojärjestelmä eli NIS (Network Information System) on perusta koko yhtiön verkolle, siellä ylläpidetään verkon tärkeimmät tiedot. Järjestelmällä on graafisen käyttöliittymän avulla esitetty karttapohja, jonka päälle kaikki verkon komponentit on kuvattu tarkasti kaikkine oleellisine tietoineen. Niitä ovat mm. ikä-, sijainti- ja kunnossapitotiedot, sekä verkon komponenttien tekniset tiedot. Verkkotietojärjestelmä pitää usein sisällään kunnossapito- ja suunnittelujärjestelmät, jolloin rinnakkain ei tarvita hyvin samankaltaisia päällekkäisiä järjestelmiä.

Verkon käyttöä varten käytössä olevina järjestelminä ovat SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) ja DMS (Distribution Management System), koska verkkotietojärjestelmä on usein liian raskas ja sisältää liikaa käytön kannalta turhaa tietoa, minkä vuoksi se ei sovellu verkon reaaliaikaiseen tilanvalvontaan. Käytönvalvontajärjestelmä eli SCADA tarjoaa mahdollisuuden taltioida sekä hallinnoida kaikkia kentällä tapahtuvia laitteiden valvonnan, ohjauksen ja mittauksen tietoja hälytykset mukaan lukien. SCADAa seurataan kellon ympäri verkkoyhtiön valvomosta käsin, ja jotta verkon mittaus ja

tilatiedot olisi helppo hahmottaa kokonaisuutena käyttökeskuksesta, on verkko kuvattu järjestelmään kaaviomuodossa.

Kolmantena oleellisena järjestelmänä toimiva käytöntukijärjestelmä eli DMS mahdollistaa, että verkon tila on helposti nähtävissä ja kytkentäsuunnitelmat helposti suunniteltavissa sekä testattavissa graafisesti tietokoneavusteisesti. DMS:ään tuodaan NIS:stä komponenttien sijaintitiedot esitettyinä graafisesti karttapohjalle ja SCADA:sta puolestaan reaaliaikaiset tila- ja mittaustiedot [9]. Näin saadaan havainnollistettua kuvaa verkossa tehtävistä toimenpiteistä ja niihin kuluva ajasta, kun paikalliskytkentäryhmä siirtyy kytkinlaitteelta seuraavalle.

4.1.1 Keskijänniteverkko

Vikapaikat kartoitetaan yleisimmin verkosta saatavilla hälytystiedoilla sähköasemilla sijaitsevista johtolähtöjen vianindikointilaitteistoista tai kokonaisten muuntopiirien keskittimien kommunikointiongelmien perusteella. Keski- ja pienjänniteverkon ilmalinjoilla tapahtuvat viat ovat usein helppoja löydettäviä, sillä linjalla makaava puu tai muutoin vaurioitunut ilmalinjan komponentti on yleensä silmämääräisesti havaittavissa. Maakaapeliverkostakin löytyy usein vikoja, mutta vikojen laatu on hyvin erilainen. Siinä missä ilmalinjoilla tapahtuu lähinnä myrskyistä aiheutuvia vikoja, niin maakaapeliverkon viat ovat yleensä maanrakennustöissä tapahtuvia kaapeleihin kaivamisia tai liikenneonnettomuuksissa tapahtuvia jakokaappien tai muiden verkostokomponenttien yliajoja. Maakaapeliverkossa tapahtuu kuitenkin maan alla muitakin vikoja, jotka ilmenevät pitkällä aikavälillä verkon rakentamisen jälkeen. Huolimattomasti tehdyn jatkoksen seurauksena jatkoksen sisärakenteeseen on voinut päästä likaa, vettä tai jotain muuta sinne kuulumatonta, jonka seurauksena jatkoksesta saattaa eristeen vaurioituessa seurata läpilyönti maahan eli jatkoksen räjähdys. Vika ilmenee tällöin maasulkuna.

Kaapelireittien rakennuksessa ja kaapelointivaiheessa voi myös tapahtua asioita, joiden seurauksena kaapelin rakenne voi vaurioitua. Huolimattomasti käsitelty kaapeli ja kivinen maa-aines peittomaana ovat yleisiä juurisyytä vaurioille. Maan alla syntyneen vian paikantaminen kaapelin rakenteessa on huomattavasti ilmajohtoverkkoa haasteellisempää. Vikaa voidaan etsiä erilaisilla maakaapelivian paikannuslaitteilla, joista yksi toimivaksi todettu tapa on paukuttaminen. Tällä tarkoitetaan syöksyaallolla syötettävää jännitettä vaurioituneeseen maakaapeliin, joka alkaa paukahdella vauriokohdassa energian purkautuessa kaapelista ulos. Markkinoilla on myös muita paikannuslaitteita,

jotka hyödyntävät kaapelin ja maan impedanssia vikapaikan etäisyyden laskennassa. Tarkan paikan löytäminen kyseisillä laitteilla voi olla vaikeaa, jos tarkkaa kaapelireittiä ei saada peilattua johtuen muista jännitteisistä kaapeleista tai maanalaisista rakenteista. Vikapaikkaa voidaan etsiä myös syöttämällä vaurioituneeseen verkkoon sähköä suoraan verkosta paikantaen kuulo- ja näköaistin perusteella läpilyöntikohtaa. Keski-jännitteellä läpilyönnin kuulee ja näkee yleensä lähes poikkeuksetta maan pinnalle, kun kaapeli on asennettu normaaliin asennussyvyyteensä (70 cm).

Ilmajohdoilla keskijännite paukahtaa lähes ukkosen jyrähdystä muistuttavalla tavalla, jolloin paikantaminen onnistuu myös kauempaa linjan varrelta. Niissä sähköverkon osissa joissa ei ole mittauksia tai vianindikointia sähköaseman jälkeen kuluttajille päin mentäessä, on sähköverkon vikapaikan rajaaminen tehtävä sulkemalla katkaisijoita tai erottimia yksi kerrallaan. Johto-osuudella jolla vika ilmenee, tapahtuu lähimpien suoja-laitteiden laukeaminen. Vaurioituneen verkon osuuden rajaaminen voidaan toteuttaa tämän jälkeen mahdollisimman pienelle alueelle korjaustöiden ajaksi. Vikatöissä olevien paikalliskytkijöiden on oltava ammattitaitoisia ja tietoisia riskeistä, joita voivat olla vaurioituneet kytkinlaitteistot, suuret oikosulkutehot, valokaarivaarat, rinnakkaissyötöt ja takajännitteet.

Alueilla joiden muuntamoilla on käytössä vianindikointilaitteistoja, vältetään useilta riskeiltä, kun vikapaikka voidaan osoittaa suoraan tietylle johtovälille ja mahdollisesti kytkeä kaukokäytöllä kyseinen johto-osuus vaarattomaksi.

4.1.2 Pienjänniteverkko

Vianpaikannus on huomattavasti helpompaa, kun ollaan tavallisten kuluttajien kanssa samalla jännitetasolla sähköverkossa keskijännitteisten jakelumuuntamoiden jälkeen, koska etäisyydet ovat huomattavasti lyhyempiä verrattuna korkeampiin jännitetasoihin. Viankartoitus toteutetaan muuntamoilla sijaitsevien keskittimien sekä yksittäisten mitta-reiden kommunikointivirheiden tai perinteisten kuluttajien vikailmoitusten perusteella, joilla saadaan riittävän tarkka tieto vikaantuneesta muuntopiiristä tai sen osasta.

Yksittäisen mittarin kommunikoimattomuuden syynä on useimmiten vian aiheuttajana vaurioitunut mittari tai ylikuormituksen johdosta palaneet kuluttajan pääsulakkeet. On tosin monia muitakin vianaiheuttajia, kuten esimerkiksi nollavika. Nollavika voi johtua löyhistä liitoksista tai ilmajohtoverkossa poikkiolevasta riippukierrekaapelin kannatin-

köydestä, joka toimii PEN-johtimena. Vikana nollajohdon ongelmat esiintyvät valojen kirkkauden vaihteluna, sähkölaitteiden poikkeuksellisenä toimintana, laitteen metallikuoresta saatavina sähköiskuina tai sähkökeskuksesta kuuluvana poikkeuksellisenä ääntelyä. [10.]

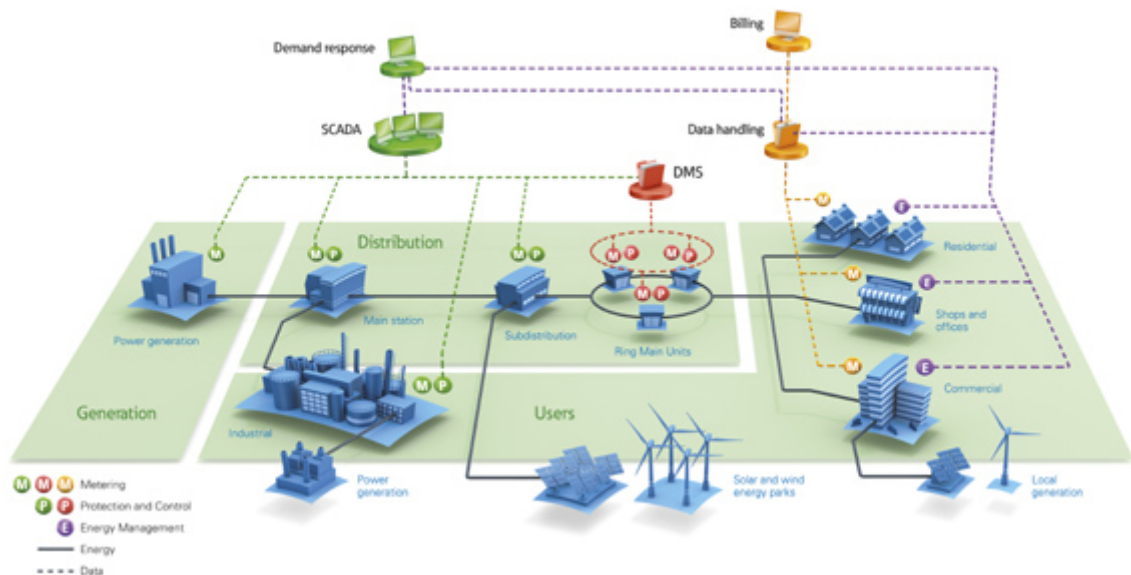
Pienjänniteverkossa on hyvin harvoin muita mittauksia tai viananalysointia AMR:n lisäksi, koska pelkästään etäluennan perusteella saadaan hyvin kattavasti tieto mahdollisista sähkökatkoksista. Verkko on siis rakenteena hyvin yksinkertainen, sillä sen ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus toteutetaan sulakkein. Jokaista verkon osaa suojaa syötön puolelta sulake. Verkon suojauksen rakenne kuuluu toteuttaa selektiivisenä, mikä tarkoittaa sitä, että vikaa lähimpänä olevat sulakkeet palavat.

Pienjänniteverkossa laajalla alueella esiintyvä vika on nopea paikantaa mitattaessa jännitteellisyyttä järjestyksessä erotuskohdista muuntajalta kuluttajille päin. Mittaukset voidaan aina tehdä kuluttajien liittymiskaapeleille asti. Vian tiedetään ilmenneen heti seuraavalla johto-osuudella, josta sulakkeet ovat palaneet. Mikäli verkossa ei ole havaittavissa silmämääräisesti vikaa eikä sellaista ole eristysvastusmittauksellakaan testattaessa havaittavissa, voidaan verkkoon kokeilla syöttää sähköä uusilla sulakkeilla. Sulakkeiden pysyessä ehyenä voidaan päätellä vian aiheutuneen ylikuormituksen johdosta. Verkon kuormitus on kuitenkin tällöin hyvä vielä mitata, jotta tiedetään mahdollinen verkon vahvistustarve.

Pienjänniteverkossa maakaapeleissa ei juurikaan esiinny vikoja ja maakaapeliverkon vikaantuminen tapahtuu hyvin pitkälti vastaavasti kuin keskijänniteverkossakin. Vianpaikannuskin tapahtuu tällöin vastaavasti, kuten luvussa 4.1.1 kerrotaan. Ilmajohtoverkko taas on rakenteeltaan erilaista kuin keskijänniteverkolla, koska kaapelit ovat nykyään lähes poikkeuksetta eristettyjä riippukierrekaapeleita eli AMKA-kaapelia. Pienjänniteverkon ilmajohtojen viat johtuvat pääosin liitinviosta tai korroosion sekä vetorasituksen johdosta poikkimenneistä kannatinköysistä, sekä myrskyjen kaatamien puiden vaurioittamista johdoista ja pylväistä.

4.2 Muuntamoautomaatiolaitteisto

Johtolähtöjen virtamittauksia, jännitemittauksia, sulakepalojen tunnistimia, sähkönlaatuanalysointilaitteita, kytkin- ja erotinlaitteistojen ohjainlaitteita sekä muuntamon tilavalvontaa tiedonsiirtolaitteineen yhdessä tai jotain näistä erikseen keskitettynä muuntamolle kuvataan muuntamoautomaatiolaitteistona. ”Laitteisto”-käsite tarkoittaa yksittäisen muuntamon laitteistoa, jonka tehtävänä on valvoa ja tarvittaessa ohjata etänä kyseiseltä muuntamolta lähteviä johtolähtöjä. Muuntamoautomaatiolaitteistot kootaan tiedonsiirron kannalta sopivalta alueelta yhteen ja tieto näistä siirretään verkkoyhtiön valvomoon esimerkiksi erillisten kytkimien kautta. Muuntamoautomaatiolaitteistojen kokonaisuutta kutsutaan muuntamoautomaatiojärjestelmäksi, joka on oleellisimpia älykkään sähköverkon kokonaisuuksia.



Kuva 5. Älykkään sähköverkon periaate [11].

Kuvassa 5 muuntamoautomaatio keskittyy käytönvalvontajärjestelmän punaisella kuvattuun osuuteen, jossa alla esitetyistä puistomuuntamoista kootaan mittautustieto yhteen ja edelleen välitetään muiden verkosta saatavien tietojen kanssa eteenpäin aina valvomoon saakka. Yksittäistä muuntamolle keskittyvää laitteistoa voidaan räätälöidä asiakkaan tarpeen ja vaatimusten mukaan hyvin eri kohteisiin skaalautuvaksi. Syrjäisemmällä alueilla, joissa verkon perässä on vähän kuluttajia eikä joukossa esiinny merkittävää teollisuutta, on järkevää pitää laitteistojen ominaisuudet järkevinä suhteutettuna hankinta- ja ylläpitokustannuksiin.

4.2.1 Vianindikointi ja kaukokäyttö

Vianindikointia voidaan toteuttaa eri johtolähdöille kriittisiin solmukohtiin ja tarpeen vaatiessa näihin voidaan sisällyttää myös kaukokäyttöä mahdollistavia toimilaitteita ainakin osaan johtolähdöistä. Kaupunkialueilla taas laitteistoon on tarpeen sisällyttää vikapaikan rajaamista edesauttavien toimintojen lisäksi myös tilanvalvonnasta tarpeelliseksi koettuja toimintoja (ks. luku 4.2.2).

Taulukko 1. Verkkoyhtiölle hyödyllisiä muuntamoautomaation toimintoja (pl. tilavalvonta).

Toiminto	Kuvaus
Virta- ja jännitemittaukset	Antavat reaaliaikaista tietoa verkon tilasta ja turvaavat paikalliskyt-kijöiden työtä ilmaisemalla lähdön jännitteisyyttä ja kuormitusta.
Päto- ja loistehon mittaus	Tietoon mm. kuormitushuiput, häviöt, kuormitusten tasaaminen, verkon vahvistustarve.
Sulakepalojen tunnistus	Tieto johtolähdöissä tai muuntopiirissä tapahtuneesta sulakepalosta. Voidaan toteuttaa pj –sähkönlaatuanalysointilla.
Hälytykset sähkökatkoista	Tieto saadaan AMR:n kautta, mutta on laajennettavissa myös muuntamoautomaatioon.
Sähkönlaadun analysointi	Kokonaissärö, yliaallot, välkyntä, jännitekuopat ja muut häiriöt.
Kaukokäyttö	Kytkinlaitteiden etäohjaus valvomosta. Toteutetaan KJ-kojeistoon integroiduilla tai jälkiasennettavilla moottoriohjaimilla.
Kytkinlaitteiden tilatieto	Rajakytkimet kytkinlaitteiden rajoille.
Oikosulkuvian indikointi	Vaiheen ja maan tai vaiheiden välisten oikosulkujen tunnistaminen.
Maasulkuvian indikointi	Vaiheen ja maan välillä tapahtuvan vian tunnistaminen. Sovellet-tavissa ensisijaisesti kj –tasolla.
Katkeilevan maasulkuvian tunnistus	Ajoittain esiintyvän vaiheen ja maan välillä tapahtuvan vian tunnis-taminen. Sovellettavissa ensisijaisesti kj –tasolla.
Tapahtumaloki	Verkosta saatavien hälytysrajojen ylityksien taltiointi.

Taulukossa 1 esitetyillä toiminnoilla mahdollistetaan vikapaikan nopea paikantaminen ja vian laatu, joiden perusteella osataan varautua oikeilla viankorjaustarvikkeilla ja riit-tävän kokoisella asentajaryhmällä korjaustoimenpiteisiin. Muuntamoautomaatiolaitteis-to välittää määritellyt tiedot verkkoyhtiön käytönvalvontajärjestelmään näyttäen verkon reaaliaikaisen tilan valvomon käyttöhenkilökunnalle.

4.2.2 Muuntamoiden tilavalvonta

Murtohälytysjärjestelmät liiketunnistimiseen, ovikytkimiseen, lasinrikkoilmaisimiseen ja vesivuotovahteineen ovat hyviä esimerkkejä tilanvalvontakokonaisuuksista. Tilanvalvonta on mukautettavissa erittäin hyvin asiakkaan käyttötarpeiden mukaan. Sähköver-kossa tilavalvontaa toteutetaan pääasiassa sähköasemilla, joissa valvotaan pääasi-

allisesti sisäänkäyntien aukaisemista ovikytkimin ja aluetta valvontakameroin. Joissain kohteissa voidaan myös valvoa kytkinlaitteiden tilatietoja kameroin, että käyttötoimenpiteistä voidaan varmistua etänä käyttökeskuksesta. Jakeluverkon muuntamoilla tilavalvonta on vielä toistaiseksi hyvin harvinaista johtuen verrattain kalliista ja monimutkaisista järjestelmistä, vaikka muuntamotiloja olisikin syytä valvoa. Tulevaisuudessa mahdollisesti yleistyvä muuntamoiden kaukokäyttö ja vianindikointi antavat laitteiston puolesta puitteet tilanvalvontaankin, mikäli verkkoyhtiön tahtotilana on saada tietoa muuntamoiloista.

Taulukko 2. Verkkoyhtiölle hyödyllisiä tilavalvonnan toimintoja.

Toiminto	Kuvaus
Kulunvalvonta	Tieto muuntamotilaan tehdyistä käynneistä. Ovikytkimien kautta saadaan tieto, jos muuntamotilan ovi on jäänyt auki.
Muuntajatilän lämpötila	Ilmanvaihdon rikkoutumisen, suodattimien tukkeutuminen tai termostaattien väärinasettelujen korjaustoimenpiteet.
Muuntajakoneen lämpötila	Muuntajakoneen likaisuus tai ylikuormitustilanne.
Vesivahinkojen tunnistus	Muuntamotilan rakenneaurio, sade- tai pohjaveden pääsy tilaan.
Paloilmaisuus	Muuntamotilassa tulipalo.

5 Muuntamoautomaation tiedonsiirtoratkaisut

Tärkeimpänä edellytyksenä toimivaan vianindikointiin ja kaukokäyttöön on toimivien tietoliikenneyhteyksien toteuttaminen, jolla tulisi pystyä välittämään tietoa myös sähköverkon vikaantuessa. Muuntamoautomaatiossa tiedonsiirtoa ei olla nähty niin kriittisenä kuin sähköasemilla, joten tiedonsiirron edellytyksenä ei pidetä tarpeellisenä toteuttaa kahdennettuja järjestelmiä. Muuntamoautomaatiossa siirrettävä tieto on kuitenkin arkaluontoista, minkä vuoksi tietoturvaan tulee kiinnittää huomiota. Tietoturvassa ratkaisuna käytetään yleensä VPN-tunnelia (Virtual Private Network), koska laitteistojen tiedonsiirrossa käytetään tänä päivänä kattavien GSM- ja 3G/4G-yhteyksien mahdollistaessa julkista internetiä. Laitteiden tiedonsiirto voidaan jakaa karkeasti mittaavien anturien ja ala-aseman sekä ala-aseman ja valvomon väliseen tiedonsiirtoon. Liitteessä 3 havainnollistetaan tiedonsiirtoyhteyksiä kuvitteellisella esimerkkiratkaisulla.

5.1 Anturien ja ala-aseman väli

Tarkasteltaessa sähkönjakeluverkkojen automaatiolaitteistoja tiedonsiirto on syytä toteuttaa IEC 60870-5-101 ja -104 -standardeihin. Standardien erona on se, että IEC 60870-5-101 mukainen protokolla on suunniteltu sarjaliikenneverkoissa käytettävään ja IEC 60870-5-104 mukainen protokolla IP-verkoissa käytettävään viestintään [12]. Laitteistojen eli ala-asemien sisältämistä laitteista kuitenkin merkittävä osa vaatii signaalien protokollamuunnosta Modbus RTU (Remote Terminal Unit) -väylästä. Tämä onkin otettu usein huomioon ja vikaindikaattoreissa löytyy valmiina liitännät ulos edellä mainittujen standardien mukaiselle tiedonsiirrolle. Usein indikaatiolaitteissa on lisäksi Modbus RTU -liitännät, joilla mahdollistetaan muiden edellä mainittuja standardeja tukemattomienkin laitteiden käyttäminen ala-asemissa. Tällöin vikaindikaattorilaitteet toimivat protokollamuuntimina. Jos muuntamoautomaatiolaitteiston laitteista ei löydy tällaista ominaisuutta, joudutaan turvautumaan erillisiin väylämuuntimiin.

Pelkän Modbus RTU- tai jonkin muun väylän omaavia laitteita voidaan tarvita, kun muuntamolle tarvitaan sellaisia toimintoja, joita ei pystytä toteuttamaan jakeluverkon vianindikointilaitteilla. Tällaisia toimintoja voivat olla tilanvalvontaan liittyvät mittaukset. Suurin osa jakelumuuntamon mittauksien signaaleista hoidetaan perinteisillä analogisilla (esimerkiksi 4–20 mA tai 1–10 V) tai digitaalisilla (I/O, esimerkiksi 12 V tai 24 V) signaaleilla. Muut virran, jännitteen, sähkönlaadun ja tehon mittaukset toteutetaan yleensä omilla laitekohtaisilla antureilla ja laitteilla.

5.2 Ala-aseman ja valvomojärjestelmien väli

Ala-asemien IEC 60870-5-101 ja -104 -standardien protokollien mukainen signaali ei ole välttämättä kaikkien laitteiden tai järjestelmien ymmärrettävissä, minkä vuoksi tarvitaan usein vielä M2M-terminaalin käyttämistä. Ala-asemilta tuleva viesti siis tuodaan ensin M2M-terminaaliin, josta se edelleen syötetään valvomojärjestelmiin. Terminaali sijaitsee yleensä fyysisesti verkkoyhtiön palvelintiloissa, ja yhteen terminaaliin on usein kytkettävissä mallista riippuen ala-asemia sadoista jopa useampiin tuhansiin. Tätä terminaalia eli päätelaitetta kutsutaan arkikielessä myös reitittimeksi. Terminaali voi sijaita myös ala-asemalla sijaitsevan reitittimen yhteydessä.

Itse ala-asemalta välitettävä signaali voidaan tuoda valvomoon käyttäen kaapelia tai langatonta yhteyttä. Kustannussyistä ei ole järkevää toteuttaa kaapeloitavia yhteyksiä muuten kuin uuden verkon rakentamisen yhteydessä tai olemassa olevia yhteyksiä käyttäen. Tästä johtuen joudutaan turvautumaan pääosin julkista verkkoa käyttäen VPN-tunneliin.

6 Eltel Networks Oy muuntamoautomaation toteuttajana

Useat verkkoyhtiöt ovat jo kokeilleet muuntamoautomaatiota pilottikohteina ja saaneet tietoa vianindikoinnin, kaukokäytön ja tilavalvonnan saralta. Verkkoyhtiöiden intressinä on usein saada hankittua tietyt materiaalit samalta toimittajalta. Jakeluverkon muuntamot halutaan tänä päivänä pääosin rakentaa puistomuuntamoiksi, joihin verkon suunnittelu, rakennus ja käyttö ovat kustannustehokasta. Muuntamoita rakennetaan kuitenkin myös kiinteistöihin, jolloin komponenttien sijoittelu jää urakoitsijan vastuulle.

Verkonrakennusalalla on kova kilpailu niin urakoitsijoiden kuin tavarantoimittajien kesken, mikä on myös juurisyynä toimittajien vaihtumisiin. Useilla verkkoyhtiöillä, joilla muuntamoautomaatio-pilotteja on kokeiltu tai muuntamoautomaatiota on muutoin rakennettu, on jo laitteistoihin vaadittavat järjestelmät käytössä. Tämä yhdenmukaistaa markkinoiden järjestelmien liitettävyyttä toisiinsa ja ei sido verkkoyhtiöitä pelkästään tietyn toimittajan laitteistojen hankintaan. Eri järjestelmien liitettävyys toisiinsa mahdollistaa järjestelmien lisäyksen jälkikäteen sekä vanhan laitteiston vaihdon uuteen.

Muuntamoiden valmistajien kanssa kilpailu ei ole yleensä järkevää kustannussyistä, koska komponenttien valmistajat ovat etulyöntiasemassa. Valmistaja tuntee itse oman kojeistonsa, joten tarvittavien moottoriohjainten, johdotusten ja mittauselinten suunnitteluun sekä tuotantohallissa laitteiston asennukseen käytettävä aika saadaan kustannustehokkaaksi. Urakoitsija joutuu taas ottamaan huomioon laitteistojen suunnittelussa asennuskohteen rakenteen, joka on pahimmassa tilanteessa tiedossa vasta, kun laitteisto on tullut tehtaalta, sekä asennuksen kenttäolosuhteet ja maantieteellisesti mahdollisesti kaukaisen sijainnin, koska muuntamot toimitetaan usein työmaalle suoraan varastointitilojen ahtauden vuoksi.

6.1 Mallilaitteistot

Eltel Networks Oy:n tahtotilana on tarjota verkkoyhtiöille muuntamoille eri ominaisuuksilla olevia Retrofit-automaatiolaitteistoja, jotka olisivat asennettavissa niin uudiskohteisiin kuin vanhoihin muuntamoihinkin. Taulukossa 3 esitellään toimintokokonaisuus neljästä eri mallilaitteistosta, joista on mahdollista valita sopivin kokonaisuus käyttötarpeen mukaan.

Mallilaitteistojen kokoonpanon suunnittelussa on otettu huomioon seikkoja, jotka palvelevat sekä verkkoyhtiötä, että verkon käyttötoimenpiteitä tekeviä paikalliskytkijöitä mahdollisimman monipuolisesti, kustannustehokkain ja yksinkertaisin ratkaisuin. Kokoonpanoja on pyritty tarkastelemaan myös Energiaviraston voimassaolevan yksikköhinnaston mukaisesti verkkoyhtiöiden eduksi (ks. lukua 7.1 Verkon arvo). Energiaviraston yksikköhinnat perustuvat kustannuskyselyyn, johon on pyydetty vastauksia kaikilta Suomen sähkön jakeluverkonhaltijoilta ja suurjännitteisen jakeluverkonhaltijoilta investointikustannuksien perusteella [13]. Kun verkkoyhtiö saa laitteiston asennettuna alle yksikköhinnan, saa yhtiö kirjattua verkon arvoa enemmän, kuin mitä se on siihen investoinut.

Taulukko 3. Muuntamoautomaatio –mallilaitteistojen toimintoja. Merkintöjen selitykset: X) Sisältyy ja O) saatavilla optiona.

	Laitteisto 1	Laitteisto 2	Laitteisto 3	Laitteisto 4
Kennojen lukumäärä	2+1	3+1	2+1	3+1
Virta- ja jännitemittaukset	X	X	X	X
Päto- ja loistehon mittaus	X	X	X	X
Sulakepalojen tunnistus (PJ)	O	X	O	X
Hälytykset sähkökatkoista	O	X	O	X
Sähkönlaadun analysointi (PJ)	O	X	O	X
Kaukokäyttö	O	O	X	X
Kytkinlaitteiden tilatieto	O	O	X	X
Oikosulkuvian indikointi	X (KJ)	X (KJ & PJ)	X (KJ)	X (KJ & PJ)
Maasulkuvian indikointi (KJ)	X	X	X	X
Katkeilevan maasulkuvian tunnistus (KJ)	X	X	X	X
Tapahtumaloki	X	X	X	X
Tiedonsiirtopintojen avoimuus	X	X	X	X
Laajennettavuus	X	X	X	X
Eri laitevalmistajien komponenttien liitettävyyys	X	X	X	X
Kulunvalvonta	O	O	O	O
Muuntajatilän lämpötila	O	O	O	O
Muuntajakoneen lämpötila	O	O	O	O
Vesivahinkojen tunnistus	O	O	O	O
Paloilmaisuus	O	O	O	O

Taulukossa 3 esitettyjen laitteistojen kokoonpanoissa kustannustehokkuutta on haettu supistamalla osasta laitteistoista kaukokäyttö pois, jolloin ne sisältävät pelkän vianindikoinnin. Kaukokäytön poisjättämisen syynä on moottoriohjainten poisjätto ja mahdollisuus käyttää pienempiä akustoja pienemmän hankintahinnan ja käyttökustannusten takia. Pelkän vianindikoinnin sisältävät laitteistot antavat kuitenkin haja-asutusalueilla tarpeeksi tarkan tiedon syntyneen vian laadusta ja sijainnista ja näin mahdollistavat paikalliskytkijöiden ohjaamisen oikeaan paikkaan rajaamaan keskeytysten vaikutusalueen mahdollisimman pieneksi. Mahdollisesti syntyvä vika on tällöin riittävän nopeasti kytkettävissä pois, jolloin keskeytyksestä aiheutunut haitta jää pienemmäksi kuin kaukokäytön tuoma hyöty.

Laitteiston kustannuksiin vaikuttaa oleellisesti myös mitattavien ja kaukokäytettävien kennojen lukumäärä, minkä vuoksi ratkaisuksi esitetään laitteistot ilman kaukokäyttöä sekä kaukokäytöllä 2+1 -ja 3+1 -kojeistoille. Myös 3+1 -kojeistosta on mahdollista priorisoida automatisoitavat johtolähdöt ja tehdä siitä osittain automatisoitu kojeisto 2+1 -laitteistoa käyttäen, kuten kuvan 6 kojeistossa on tehty. Ratkaisu voi täyttää muunta-

mon automatisointitarpeen hyvin tilanteessa, jossa muuntamolta yksi johtolähdöstä on haarautuva yhteys yksittäisille kuluttajille ja kaksi rengasyhteydessä muihin muuntopii-reihin.



Kuva 6. 3+1 -kojeisto varustettuna 2+1 -laitteiston vikaindikaattorilla sekä jänniteilmaisimin. Valmistajina kojeistolla Siemens ja muuntamoautomaatiokomponenteilla Kries [6].

6.2 Asiakkaan tarpeisiin räätälöitävät laitteistot

Muuntamoautomaatiolaitteistojen toteuttajana Eltel Networks Oy voi tarjota mallilaitteistoja muokattuna tai täysin erikseen räätälöitäviä laitteistoja asiakkaan käyttötarpeen mukaan. Taulukossa 3 esitettyjen mallilaitteistojen kokoonpanojen lisäksi asiakkaalle voidaan tarjota vaikkapa muuntamoillensa läheisiltä ilmajohtojen erottimilta tietoja, joiden ala-asemana muuntamon automaatiolaitteisto toimii. Asiakkaan tarve voi olla huomattavasti suppeampaakin, kuten vanhaan muuntamoon pelkkien jänniteilmaisimien asennus. Tietyissä paikoin jännitteenilmaisimien lisäykselle voi olla tarvetta, jotta kojeistolta päästäisiin koestamaan jännitteettömyys tai jännitteellisyys, sekä vaiheistamaan vaihejärjestys. Vaiheistamisen tarve tulee usein eteen, jos vanhoja kaapeliyhteyksiä joudutaan siirtämään uusille reiteille uusiin kaapeleihin tai jos on tapahtunut kaapelivaurio maanrakennustöiden yhteydessä ja kaapelista on mennyt poikki useampi kuin yksi vaihe. Kuvassa 7 on esillä jänniteilmaisimen kannen alla sijaitsevat mittauspää, joilta vaiheistus voidaan toteuttaa.



Kuva 7. Kriesin IKI -vikaindikaattoreita ja CAPDIS -jänniteilmaisimia laitakaapin kanteen kasatuna. Oikealla jänniteilmaisimessa vaiheistamisen mahdollistavat kosketussuojatut liittimet näkyvillä.

6.3 Huolto- ja kunnossapito

Muuntamoautomaatilaiteistojen huolto- ja kunnossapito kohdistuu pääosin kuoleutuneiden komponenttien vaihtoihin, joista yleisimpänä on akusto. Lisäksi komponentteja voi vaurioitua valmistusvirheistä johtuen, kuten kaikessa muussakin elektroniikassa. Laitteiston keskimääräisen käyttöiän pitäisi olla 15–30 vuotta, mikä asettaa paineita laadullisten vaatimusten suhteen laitteistoa valittaessa. Laitteiston ikään vaikuttavia tekijöitä ovat kosteus, lämpötila ja ympäristön pölyisyys. Huolto- ja kunnossapito laitteistoille on erityisen vaivatonta, koska vikaantumiselle alttiit komponentit ovat helposti korvattavissa uusilla ja niiden vaihtamiseen ei tyypillisesti tarvita sähköjakaiverkon kytkentäjärjestelyitä tai jakelun keskeytyksiä. Itse automaatiolaitteisto ei tarvitse kunnossapidon puolelta muita toimenpiteitä kuin normaalin muuntamotilan puhtaana pitämisen.

7 Taloudelliset hyödyt

Automatisoitu jakeluverkko tuottaa taloudellisia hyötyjä niin verkkoyhtiöille, urakoitsijoille kuin asiakkaillekin. Verkkoyhtiön saamat hyödyt tulevat ensisijaisesti investointi-hyödyistä, lyhenevistä keskeytysajoista ja vika-alueen tehokkaasta rajaamisesta. Urakoitsija hyötyy työajassa ja matkakustannuksissa, sillä työkohteen jännitteettömäksi tekeminen onnistuu vaivattomasti kaukokäytöllä ja koestus ja vaiheistus mahdolliste-

taan suoraan muuntamoautomaatiolaitteiston luota avaamatta mahdollisesti jännitteisiä kennoja. Asiakas hyötyy verkkoyhtiön tapaan keskeytyksien lyhyestä kestosta, etenkin jos asiakkaan tuotanto tai työ on riippuvainen sähköstä.

7.1 Verkon arvo

Verkkoyhtiöiden verkko-omaisuuden arvo määritellään kaikille verkonhaltijoille samoilla keskimääräisillä yksikköhinnoilla mikä tarkoittaa sitä, että osa verkonhaltijoista investoi enemmän saamaansa verkonarvoon nähden ja osa taas vähemmän. Tämän tavoitteena on kannustaa ja ohjata verkonhaltijoita kilpailuttamaan sekä tekemään kustannustehokkaita ratkaisuja investointien yhteydessä. Johtopäätöstä hyödyistä valvontamenetelmien kannalta yksikköhintojen ja todellisten investointikustannusten erosta suuntaan tai toiseen ei kuitenkaan voida suoraan tehdä siitä syystä, että osa yhtiöistä kirjaa investointiin liittyviä kustannuseriä kuluiksi ja osa taas aktivoi enemmän investointiin liittyviä kustannuksia taseeseen. [14.]

Taulukko 4. Muuntamoautomaatiolaitteistoista saatavat yksiköt neljännellä 1.1.2016–31.12.2019 ja viidennellä 1.1.2020–31.12.2023 valvontajaksolla [7].

Verkkokomponentti	Yksikkö	Yksikköhinta, euroa	Pitoaikaväli, vuotta
20 kV MAAKAPELIVERKON EROTTIMET JA KATKAISIJAT			
Kauko-ohjauslaitteisto: muuntamolla tai erotinasemalla	kpl	3 100	20 – 35
Vianindikointilaitteisto: muuntamolla tai katkaisijattomalla erotinasemalla	kpl	1 200	15 – 25
Tiedonsiirtolaitteisto muuntamolla tai erotinasemalla	kpl	4 800	15 – 30
KÄYTÖNVALVONTAJÄRJESTELMÄ			
Kauko-ohjattavien muuntamoiden ja kauko-ohjattavien erotinasemien määrään perustuva osa	kpl	2 200	10
KÄYTÖNTUKIJÄRJESTELMÄ			
Kauko-ohjattavien muuntamoiden ja kauko-ohjattavien erotinasemien määrään perustuva osa	kpl	550	10

Yksikköhinnat sisältävät kaikki investointiin liittyvät kustannuserät, kuten suunnittelun, luvat, sopimukset, rakentamisen, materiaalin, käyttöönoton ja dokumentoinnin.

Seuraavassa eritellään taulukossa 4 esitettyjen verkkokomponenttien sisältömaarityksiä:

20 kV:n Maakaapeliverkon erottimet ja katkaisijat

Kauko-ohjauslaitteet

Käsittää kauko-ohjauslaitteet asennettuna kaapeliverkon muuntamolla tai kaapeloidulla erotin/katkaisija-asemalla. Kustannuksiin sisältyvät moottori-ohjaimet.

Kustannuksiin eivät sisälly tietoliikennelaitteet (ala-asema yms.), akusto ja asennustyö sekä omakäyttömuuntaja.

Vianindikointilaitteet

Käsittää maasulun vianindikointilaitteet asennettuna kaapeloidulla erotinasemalla tai kaapeliverkon muuntamolla. Kustannuksiin sisältyvät maasulkuvikaindikaattorit ja mittausanturit, suojaus/vikailmaisinlogiikka ja tilavalvonta.

Kustannuksiin eivät sisälly kauko-ohjaus- ja tietoliikennelaitteet (ala-asema yms.) sekä omakäyttömuuntaja.

Tietoliikennelaitteet

Käsittää kauko-ohjausta tai vianindikointia varten tarvittavat tietoliikennelaitteet asennettuna kaapeliverkon muuntamolla tai kaapeloidulla katkaisija/erotinasemalla. Kustannuksiin sisältyvät ala-asema, tietoliikennelaitteet, akusto ja asennustyö ja vastaanottopään kustannukset.

Kustannuksiin ei sisälly omakäyttömuuntaja.

Käytönvalvontajärjestelmä

Kauko-ohjattavien muuntamoiden ja kauko-ohjattavien erotinasemien määrään perustuva osa

Erotinasemakohtainen lisäosa sisältää perusjärjestelmän laite- ja ohjelmistolajennukset kauko-ohjattavien erotinasemien osalta. Erotinasemakohtaisen lisäosan kustannuksiin sisältyvät perusjärjestelmän laite- ja ohjelmistolajennukset, tietojen syötön osalta tietokantojen ja ala-asemaliikenteen parametrinti sekä näyttöjen suunnittelu ja tekeminen. Testauksen ja käyttöönoton osalta kustannuksiin sisältyvät perustestit.

Käyttötukijärjestelmä

Kauko-ohjattavien muuntamoiden ja kauko-ohjattavien erotinasemien määrään perustuva osa

Erotinasemakohtaiset lisähinnat sisältävät tietojen syöttöön ja parametrintiin liittyvät kustannukset sekä järjestelmän laajentamisen verkon laajuuden kasvaessa. [14.]

Koska yksiköt ovat muuntamokohtaisia eivätkä ota tarkemmin kantaa automatisoitavien johtolähtöjen määrään, mahdollistuu verkonhaltijoille kustannustehokkaiden ja innova-

tiivisten ratkaisujen kehittäminen. Esimerkkinä ratkaisuissa voidaan jaotella muunta-
moita ja niiden yksittäisiä johtolähtöjä tärkeysjärjestykseen. Tämän pohjalta voidaan
asentaa vianindikointia ja kaukokäyttöä tarpeen mukaan yhdessä tai erikseen vaikka
pelkästään yksittäisille johtolähdöille.

Muuntamoautomaatiolaitteisto ei ole pelkkä passiivinen laite muuntamalla, vaan sen
täytyy viestiä jatkuvasti järjestelmien kanssa välittääkseen ja vastaanottaakseen tietoa.
Tämän takia muuntamoautomaatiolaitteiston lisääminen vaatii aina toiminnantestauksia
ja toimenpiteitä myös järjestelmään, minkä vuoksi myös järjestelmään liittämistä on
otettu kustannukset huomioon. Jos muuntamolle asennetaan johtolähdöille tai osalle
johtolähdöistä vianindikointi- ja kaukokäyttölaitteita sekä tiedonsiirtokomponentit järjes-
telmään liittämistä varten, saadaan jo pelkästään yksiköistä investointikannustimeen
11850 euroa.

Muuntamoiden automatisointi täysin tai osittain olisi siis todella kannattavaa verkkoyh-
tiöille jo pelkän investointikannustimen tuomien hyötyjen suhteen, etenkin jos muunta-
moautomaatio asennuksia toteutettaisiin massana laajemmille alueille, mikä laskisi
asennuskustannuksia yksittäistä laitteistoa kohden. Lisäksi otettaessa tarkastelussa
huomioon hyödyt, joita verkon automatisointi toisi muihin kannustimiin osaavan käyttö-
henkilökunnan käsissä, kun KAH pienentyisivät merkittävästi, on ihmeellistä, miksi
verkkojen automatisointiaste jakelumuuntamotasolla on edelleen kovin alhainen.

7.2 Kunnossapitotarpeen ennakoitavuus

Vianindikointilaitteet varustettuna tapahtumalokilla mahdollistavat tietojen keräämisen
ja saatuja tuloksia tarkasteltaessa voidaankin arvioida kattavasti verkon kunnossapidon
tarve. Ilmajohdo-osuuksilla yleisimpänä kunnossapitotarpeena on johtoalueen raivaus,
mikä ilmenee automaatiolaitteiston keräämissä tiedoissa PJK:n (pikajälleenkytkentä) ja
AJK:n (aikajälleenkytkentä) kasvavilla määrillä, kun oksat pääsevät osumaan ilmajoh-
toihin aiheuttaen suoran- tai katkeilevan maasulun. Alueilla, joilla sijaitsee paljon haa-
rautuvia linjoja, voi olla kannattavaa sijoittaa haarautuvien linjojen alkuun erillisiä vi-
kaindikaattoreita, jotka keskustelevat lähimmällä muuntamalla sijaitsevan ala-aseman
kautta valvomoon. Kuvassa 8 esitetään Kriesin valmistamia ilmajohdoihin asennettavia
vikaindikaattoreita. Erikseen asennettavia indikaattoreita ei kuitenkaan ole kustannus-
systä kannattavaa asentaa ilmalinjoihin, jotka lähtevät puistomuuntamolta syötettävältä

pylväsnuousulta eivätkä haaraudu useammaksi linjaksi, koska tällöin vianindikointi voidaan suorittaa suoraan automatisoidun muuntamon kojeiston johtolähdöltä.



Kuva 8. Kriesin valmistaman IKI-tuoteperheen ilmajohtoihin asennettavat vikaindikaattorit. [15]

Vianindikointilaitteistojen kuormituksen ja tehon mittaukset voivat ilmaista verkon vahvistustarpeen, mikä voi tulevaisuudessa tulla tarpeen sähkön kulutuksen kasvaessa verkon osuuksilla, jotka nykyiselläänkin ovat lähellä nimellistä kuormitustaan.

7.3 Kaukokäyttö

Erottimien ja katkaisijoiden kaukokäyttömahdollisuus tuo huomattavia säästöjä keskeytyskustannuksissa sekä ajassa vika-alueita rajattaessa. Kaukokäytön yleistyminen vähentää myös virhekytkentöjen riskiä, kun kytkentöjen suorittaja suorittaa kytkennät suoraan valvomosta käsin nähden koko ajan verkon kytkentätilanteen lähes reaaliaikaisesti päivittyvässä kaaviossa lukuun ottamatta tiedonsiirtoviivettä. Kustannussäästöjä syntyy etenkin alueilla, joilla ohjattavien kytkinlaitteiden etäisyys toisistaan on pitkä.

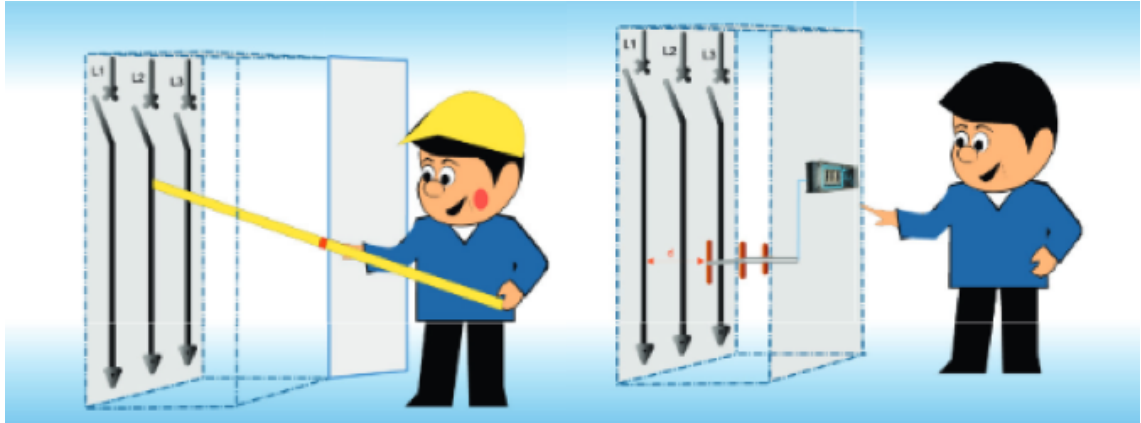
Vika-alueen rajaaminen

Verkkoon syntyvä vika ilmenee yleensä maa- tai oikosulkuna sähköasemilla sijaitsevis- sa johtolähtöjen automaatiolaitteistoissa. Vikapaikkaa aletaan tällöin paikantaa kytkin- laite kerrallaan edeten aina pisteelle, jossa lähimmät suojalaitteet toimivat katkaisten sähkön pois. Tämä aiheuttaa huomattavia kustannuksia käytettäessä paikalliskytkentä- ryhmiä, koska aikaa kuluu kytkinlaitteelta toiselle matkustamiseen ja ajan kulumisen tarkoittaa sähkön siirtämisestä saatavien myyntitulojen menettämistä sekä paikalliskytkentäryhmien palkkakustannuksia.

Vikaindikointilaitteilla varustetut muuntamoautomaatiolaitteistot sijoitettuna verkon kan- nalta tärkeisiin pisteisiin pystyvät osoittamaan vikaantuneen johto-osuuden ja näin ollen lyhentävät keskeytysaikaa. Muuntamoautomaatiolaitteisto varustettuna kaukokäytöllä mahdollistaa myös automaattisen kytkinlaitteiden ohjauksen laitteiston havaitessa vian. Täydellisesti automatisoitu verkko pystyy tällöin rajaamaan täysin itsenäisesti vaurioi- tuneen verkon osuuden pois terveestä verkosta ja muuttamaan jakorajoja niin, että mahdollisimman suppea määrä kuluttajia olisi vian vaikutusalueen piirissä.

Rakentamistyöt

Muuntamoiden automatisoinnin tuoma hyöty rakentamistöissä näkyy ensisijaisesti työ- turvallisuudessa, koska käyttötoimenpiteet ovat hallitumpia automatisoiduissa kojeis- toissa. Työturvallisuuden kehittyminen taas vaikuttaa suoraan työtapaturmien määrään ja jokainen säästetty työtapaturmasta johtuva poissaolopäivä on todellinen säästö niin työntekijälle, työnantajalle kuin yhteiskunnallekin. Työturvallisuuden tuomien säästöjen lisäksi muuntamoautomaatio säästää rakentamistöissä työkohteen jännitteettömäksi saattamiseen käytettyä aikaa, kun kojeistoilla tarvitsee todeta ainoastaan jännitteettä- myys ja maadoitukset sekä lukita automaatiolaitteisto käsikäytölle. Kuvassa 9 esitetään periaate koestustoimenpiteistä avokojeistosta erillisellä jännitteenkoettimella sekä ko- jeistoon integroidulla jännitteenilmaisimella.



Kuva 9. Periaate jännitteen koestamisesta, vasemmalla koestus avokojeistosta jännitetyönä ja oikealla muuntamoautomaatiolaitteistosta käsin [16].

Keskeytysten kustannukset

Keskeytysten kustannukset lasketaan Energiaviraston valvontamenetelmien laatukannustimen KAH:n yksikköhinnoilla. Yksikköhinnat perustuvat viraston Teknillisillä korkeakoululla ja Tampereen teknillisellä yliopistolla teettämään selvitykseen. Keskeytysrintoja on muokattu vastamaan asiakkaiden kokemaa haittaa mahdollisimman hyvin ja hintojen ajantasaisuutta on tutkittu erillisellä viraston teettämällä selvityksellä. Taulukossa 5 esitetään laatukannustimessa huomioitavat yksikköhinnat.

Taulukko 5. KAH:n yksikköhinnat [7]

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

Viraston teettämien selvitysten perusteella on jatkossakin perusteltua käyttää taulukon 5 mukaisia yksikköhintoja KAH:n arvostamisessa. Yksikköhinnat taulukossa ovat vuoden 2005 rahanarvossa, mutta laskennassa hinnat korjataan vuosikohtaisesti kuluttajahintaindeksillä. KAH lasketaan verkkoyhtiön asiakkaille vuosittain neljännellä ja viidennellä valvontajaksolla. [7.]

8 Yhteenveto

Insinööriyössä esitettiin automatisointilaitteiden käyttöä jakeluverkon muuntamoilla ja niistä saatavia hyötyjä verkkoyhtiön, urakoitsijan ja asiakkaan kannalta. Työssä kerrottiin lisäksi myös tietoliikennetarkaisista ja verkon vianpaikannuksesta, joka on tärkeä osa automatisoinnin käyttötärpeen hahmottamisessa. Työ loi yrityksen sisäiseen käyttöön hyvän näkemyksen muuntamoautomaatiolaitteistojen rakenteesta ja asennuksesta, mistä on toivottavasti hyötyä mahdollisimman monelle tiimille. Työn pohjalta onkin hyvä lähteä jatkotutkimuksiin, joita ovat eri laitteistokokoonpanojen pilotoinnit erilaisissa verkon toimintaympäristöissä.

Vuonna 2013 muuttuneen sähkömarkkinalain suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon vaatimuksien pohjalta verkkoyhtiöiden on pakko panostaa toimitusvarmuuden kehittämiseen. Pelkällä maakaapeloinnilla saadaankin hyvä toimitusvarmuusaste, mutta maakaapeliverkon vikaantuessa on pystyttävä reagoimaan nopeasti verkon korjaukseen. Tässä nähdäänkin muuntamoautomaatiolla markkinarako, koska vikapaikan löytyminen mahdollistetaan nopeammin ja sen vaikutusalue saadaan rajattua mahdollisimman suppeaksi. Tällä on merkittävä vaikutus keskeytyksestä aiheutuneisiin haittoihin, vaikka itse automaatiolla ei juuri pystytä vaikuttamaan vioittuneen verkon korjaamiseen käytettyyn aikaan.

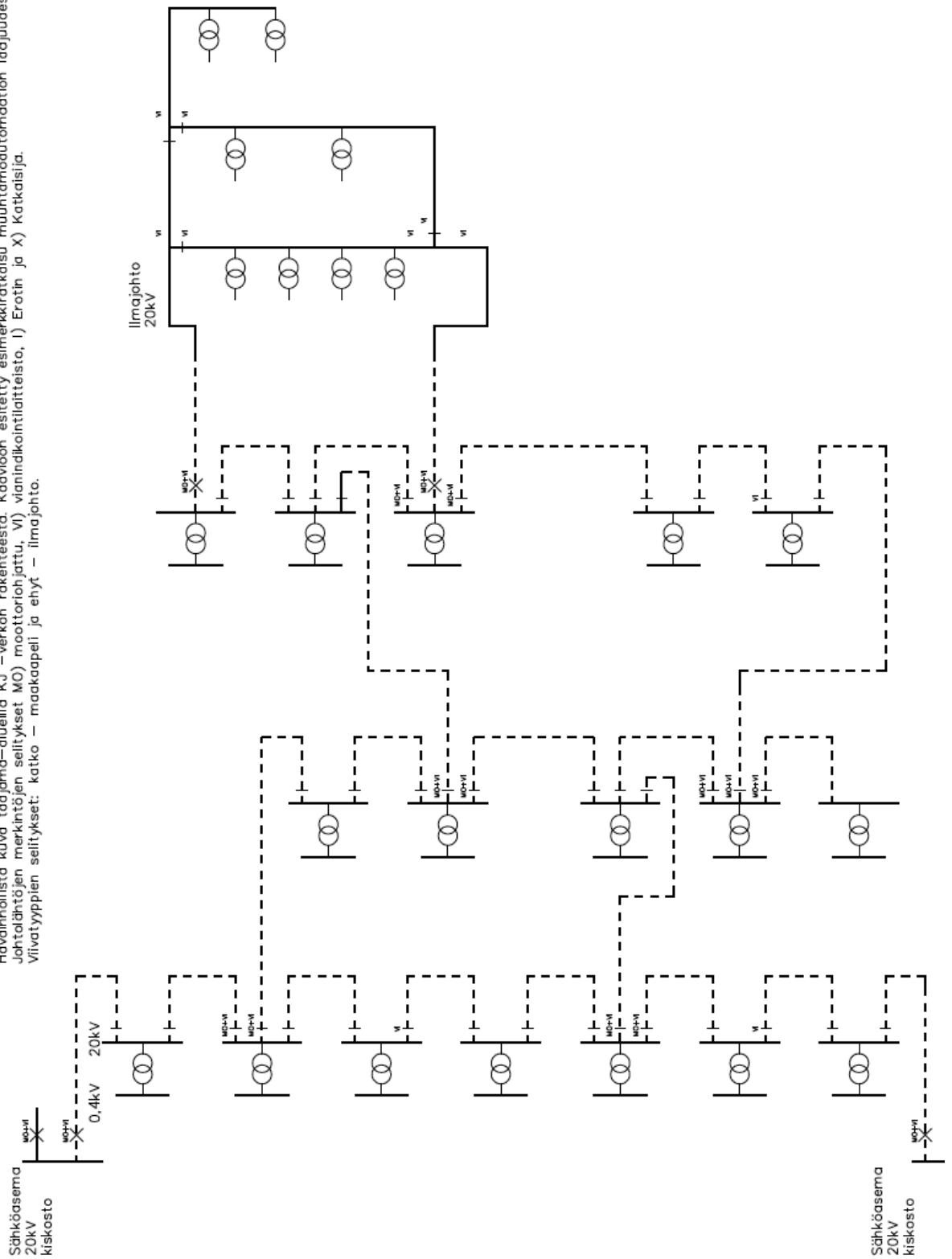
Lähteet

- 1 Korpinen, Leena. Sähkön siirto- ja jakeluverkot. Verkkoaineisto. <www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf>. Luettu 23.7.2017.
- 2 Niemelä, Hannu. Sähkölinojen vierimetsät. Verkkoaineisto. Tapio <tapio.fi/julkaisut-ja-raportit/vierimetsa-projektin-raportit/sahkolinjojen-vierimetsat/>. Luettu 5.8.2017.
- 3 Toimitusvarmuus. Verkkoaineisto. <www.energiavirasto.fi/toimitusvarmuus>. Luettu 5.8.2017.
- 4 Sähkömarkkinalaki. 2013. 588/2013. 9.8.2013.
- 5 Sähköverkot. Verkkoaineisto. <www.energiavirasto.fi/sahkoverkot>. Luettu 3.9.2017
- 6 Energiavirasto. Verkkoaineisto. <<https://www.energiavirasto.fi/>>. Luettu 15.9.2017.
- 7 Valvontamenetelmät neljännellä 1.1.2016 – 31.12.2019 ja viidennellä 1.1.2020–31.12.2023 valvontajaksolla, liite 2. <www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Liite_2_Valvontamenetelm%C3%A4t_S%C3%A4hk%C3%B6jakelu_luonnos.pdf/321fee5c-f449-4bc5-bae7-d1fc70b69da9>. Luettu 3.9.2017.
- 8 Monni, Markku. 2002. Sähkölaitos asentajan ammattioppi 4. Hämeenlinna. Adata Energia Oy.
- 9 Forsström, Stefan. 2007. Sähköverkkoyhtiön tietojärjestelmien kehittäminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. <lib.tkk.fi/Dipl/2007/urn009951.pdf>. Luettu 6.8.2017.
- 10 Tunnista nollavika. Verkkoaineisto. Oulun Energia. <www.oulunenergia.fi/asiointi/hairiot-ja-keskeytykset/toimintaohjeet/tunnista-nollavika>. Luettu 12.8.2017.
- 11 Smat Grids. Verkkoaineisto. Eaton. <www.eaton.eu/Europe/Electrical/Solutions/SmartGrids/index.htm>. Luettu 25.8.2017.
- 12 Virtanen, Reijo. 2013. Sähköasemien tiedonsiirron kehittäminen Helen Sähköverkko Oy:ssä. Insinööritö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

- 13 Sähkönjakeluverkon verkkokomponentit ja yksikköhinnat 2016 – 2023, Verkkoi-
neisto. <www.energiavirasto.fi/verkkokomponentit-ja-yksikkohinnat-2016-2023>.
Luettu 2.9.2017.
- 14 Simola, Lasse. 2017. Verkkoinsinööri, Energiavirasto, Helsinki. Sähköpostikes-
kustelu 23.5.2017.
- 15 Kries IKI-Overhead –tuotekuvasto. Finnelectric. <media.finnelectric.fi/catalogue/content/data_fe/Kries/KRIES_IKI-Overhead_R2_V1_en_0316.pdf>. Luettu 3.9.2017.
- 16 Kries tuotekuvasto. 2017. Kries. <www.kries.com/wp-content/uploads/2016/12/Kries-Energietechnik_Katalog_8_2017_D.pdf>. Luettu 9.9.2017.
- 17 Kries Keskiännite muuntamoautomaatio paketit. 2017. Esite. Finnelectric.

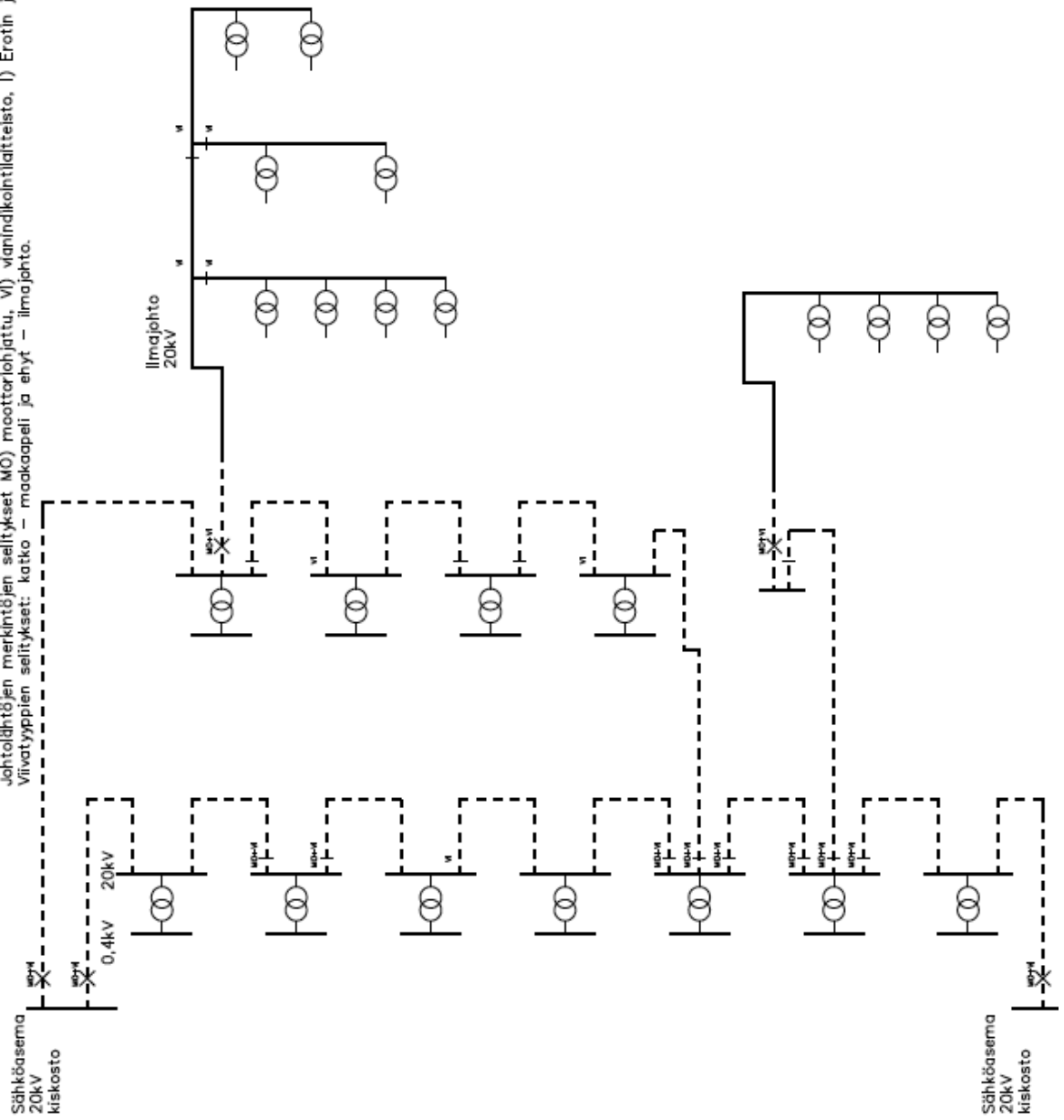
Taajama-asutusalueen keskijännitteisen jakeluverkon rakenne

Havainnollista kuva taajama-alueella KJ -verkon rakenteesta. Kaavioon esitetty esimerkkiratkaisu muuntamoautomaation laajuudesta. Johtolähtöjen merkintöjen selitykset MO) moottorihajattu, VJ) vianindkointilaitteisto, I) Erotin ja X) Katkaisija. Viivatyyppien selitykset: katko - maakaapeli ja ehyt - ilmajohito.



Haja-asutusalueen keskijännitteisen jakeluverkon rakenne

Havainnollista kuva haja-alueilla KJ -verkon rakenteesta. Kaavioon esitetty esimerkkiratkaisu muuntamoautomaation laajuudesta. Johtolajitusten merkitykset MO) moottorilojattu, V) vierindkointilaitteisto, I) Erotin ja X) Katkaisija. Viivatyypin selitykset: katko - maakaapeli ja ehyt - ilmajohto.



Havainnollistava kuva esimerkkiratkaisusta muuntamoautomaation tiedonsiirtoon

