



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# ÄLYKKÄÄN SÄHKÖVERKON VALVONTA- RATKAISUT

Vikojen havaitseminen maakaapeliverkossa

Antti Petäys

Opinnäytetyö  
Kesäkuu 2017  
Automaatioteknologia YAMK



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Automaatioteknologia YAMK

PETÄYS, ANTTI:

Älykkään sähköverkon valvontaratkaisut  
Vikojen havaitseminen maakaapeliverkossa

Opinnäytetyö 57 sivua, joista liitteitä 1 sivu  
Kesäkuu 2017

---

Tämä työ tehtiin opinnäytetyöksi Tampereen ammattikorkeakoulun automaatioteknologian ylempään ammattikorkeatutkintoon, Voimatel Oy:n toimiessa työn toimeksiantajaorganisaationa.

Työn tavoitteena oli tutkia ja vertailla kirjoitushetkellä (alkuvuosi 2017) markkinoilla olevia keskijännitteisen jakeluverkon valvontaratkaisuja maakaapeliverkon näkökulmasta. Kaapelointiasteen kasvaessa vian paikannus vaikeutuu ja samalla vian korjaukseen kuluva aika kasvaa, sillä perinteiset vianpaikannusmenetelmät eivät enää ole tehokkaita kaapeliverkoissa. Ongelmana on muun muassa kompensoidussa kaapeliverkossa tapahtuva maasulku, josta aiheutuva vikavirta on luonteeltaan katkeilevaa, ja toisaalta sekaverkon viat voivat olla myös suuriohmisia, joten perinteisillä valvontaratkaisulla vian havaitseminen, tarkasta paikantamisesta puhumattakaan, on vaikeaa. Työn tavoitteena oli löytää markkinoilla olevista järjestelmistä sellainen, joka toimisi luotettavasti edellä kuvatussa ongelmassa.

Työssä perehdyttiin ensin sähkövoimatekniikan, sähköverkon vikojen sekä verkostoautomaation teoriaan, ja tämän jälkeen alettiin tutkia markkinoilla olevia, keskijännitteisen kaapeliverkon valvontaan soveltuvia laitteita. Markkinoilla havaittiin olevan kuusi eri verkonvalvontalaitetta, jotka soveltuivat käyttötarkoitukseen. Niistä vain yhden, ABB:n RIO600:n, todettiin tutkitusti havaitsevan maakaapeliverkon katkeilevan maasulun.

Työn tuloksena saatiin tutkielma markkinoilla olevista kaapeliverkon valvontaratkaisuista sekä niiden vertailussa käytetty vertailutaulukko. Vertailussa avainsanoina olivat muun muassa soveltuvuus kaapeliverkkoon, katkeilevan maasulun havaitseminen, hyödynnettävyys kunnossapidon sovelluksissa ja kytkinlaitteiden ohjausmahdollisuus. Järjestelmien havaittiin perustoimintojensa perusteella jakautuvan kolmeen kategoriaan: vianpaikannuslaitteet, kunnonvalvonnan työkalut sekä verkostoautomaation ohjauslaitteet. Tehokkaan verkonvalvonnan todettiin myös tuottavan suuren määrän tietoa reaaliaikaisten mittausten vuoksi, ja tätä asiaa tarkasteltiin big datan näkökulmasta.

Lopuksi työssä pohdittiin jatkotutkimuksen ja -kehittämisen kohteita toimeksiantajan liiketoimintojen laajentamisen ja kehittämisen näkökulmasta. Uusia liiketoimintamahdollisuuksia todettiin löytyvän muuntamotason valvontaratkaisujen toimittamisen, verkosta tulevan tietomassan hallinnoimisen ja korkeamman jalostusarvon käyttöpalveluiden toimittamisen parista, mutta nämä mahdollisuudet vaativat vielä tarkempaa tutkimista.

---

Asiasanat: verkostoautomaatio, verkon valvonta, kaapeliverkko, jakeluverkko

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Automation technology

PETÄYS, ANTTI:  
Solutions for Smart Grid Control  
Fault Indication in Ground Cable Network

Master's thesis 57 pages, appendices 1 page  
June 2017

---

This master's thesis was made to master's program in automation technology in Tampere University of Applied Sciences with Voimatel Oy acting as a client.

The purpose was to research the solutions for distribution network control that were on the market at the beginning of the year 2017 and were able to operate in ground cable network. When the cabling degree improves, the harder it gets to locate the fault and it takes more time than in overhead line environment because conventional fault detection applications are not enough effective in cable network. The main problem was cables earth fault, which produces intermittent fault current with high amplitudes and which is not reliably detectable with conventional fault indicators. Secondly, in mixed network environments there can appear faults with high impedances that are not reliably detectable either. The objective was to find a solution from the market, which can solve these problems.

First, the fundamentals of electrical power engineering, network automation and network faults was gone through and then focused on to control solutions that were able to operate in medium voltage cable environment. It was found that only one of the total six solutions, ABB's RIO600, was able to detect the intermittent fault current caused by the earth fault in a cable.

As a result, the study about control systems found on the market and the comparison chart used to compare the systems were obtained. The key words used in comparison were among other things suitability in cable network, ability to detect the intermittent earth fault current, suitability to maintenance applications and ability to control the switchgear. The systems were found to divide in three categories with their characteristic features: fault indicators, maintenance tools and control devices for network automation. It was also noticed that high performance network control produces a huge amount of data. That feature was examined from the big data's point of view.

In conclusion, the targets of further researches and -developments to develop and expand the customers businesses were discussed. There found to be business possibilities among the services around control solution installation and big data management, but also in providing higher value operations services. However, these business possibilities still found needing further researches.

---

Key words: network automation, network control, cable network, distribution network

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Toimeksiantajayhtiön esittely.....	7
1.2	Taustaa.....	8
2	SÄHKÖNJAKELUJÄRJESTELMÄ.....	10
2.1	Suomen sähkövoimajärjestelmä.....	10
2.2	Älykäs sähköverkko.....	12
2.3	Sähköverkon vikaantuminen.....	14
2.3.1	Oikosulku.....	15
2.3.2	Maasulku.....	17
2.4	Vikaantumisen jälkeen.....	19
2.4.1	Vian paikannus ja korjaus perinteisin tavoin.....	20
2.4.2	Verkostoautomaation hyödyt vikatilanteessa.....	22
2.5	Kaapeliverkon erityispiirteet.....	22
3	VERKOSTOAUTOMAATIO.....	26
3.1	Verkostoautomaation taustaa.....	26
3.2	Verkon valvonta.....	27
4	VIKOJEN HAVAITSEMINEN KAAPELIVERKOSSA.....	29
4.1	ABB:n ratkaisu, RIO600.....	29
4.1.1	Case Sundom.....	30
4.1.2	Case Sundomin pohdintaa.....	31
4.2	Netcontrol.....	32
4.2.1	Netcon 100.....	32
4.2.2	Rakenne.....	33
4.2.3	Vianilmaisu.....	34
4.2.4	Radius NMS 100.....	34
4.3	Landis +Gyr, PowerSense -ratkaisu.....	35
4.3.1	Vianilmaisu.....	37
4.3.2	Yhteenveto.....	37
4.4	Prysmianin Pry-Cam.....	38
4.4.1	Pry-Cam Grids.....	39
4.4.2	Pry-Cam Portable.....	40
4.4.3	Yhteenveto.....	41
5	RATKAISUJEN VERTAILU.....	42
5.1	Lähtökohdat.....	42
5.2	Vertailun tulokset.....	42
5.3	Paras ratkaisu?.....	45

6	BIG DATA .....	47
6.1	Taustaa .....	47
6.2	Big data sähköjakeluverkoissa .....	47
7	YHTEENVETO JA POHDINTA .....	50
7.1	Pohdinta .....	50
7.2	Tulokset .....	51
7.3	Jatkotutkimukset .....	52
	LÄHTEET .....	54
	LIITTEET .....	57
	Liite 1. Jakeluverkon valvontaratkaisujen vertailutaulukko.....	57

**LYHENTEET JA TERMIT**

kV	Kilovoltti, 1000V
(k)VA	(kilo)volttiampeeri, näennäistehon yksikkö
KJ	Keskijännite, Suomessa yleensä 20 kV AC.
PJ	Pienjännite, 50-1000V AC.
AJK	Aikajälleenkytkentä
PJK	Pikajälleenkytkentä
Retrofit	Uuden osan tai toiminnallisuuden asentaminen olemassa olevaan järjestelmään, jälkiasennus.
KVJ	Käytönvalvontajärjestelmä
KTJ	Käytöntukijärjestelmä
ATJ	Asiakastietojärjestelmä
VTJ	Verkkotietojärjestelmä

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Toimeksiantajayhtiön esittely

Toimeksiantajaorganisaationa tässä opinnäytetyössä toimii Voimatel Oy. Se on suomalaisomisteinen infraverkkoratkaisujen ja elinkaaripalveluiden tuottaja, joka toimii Suomessa valtakunnanlaajuisesti ja jolla on asiakkaita myös muualla Euroopassa. Asiakkaina ovat Suomen merkittävimmät sähkönsiirto- ja sähkönjakeluverkkoyhtiöt, julkinen sektori, teollisuuslaitokset sekä Itämeren alueella ja Keski-Euroopassa toimivat teleoperaattorit. Voimatel Oy:ssä oli kirjoitushetkellä 645 työntekijää, ja sen liikevaihto vuonna 2016 oli noin 89 M€, suurimpana markkina-alueena Suomi. Tytäryhtiöt mukaan luettuna Voimatel-konsernin henkilömäärä työn kirjoitushetkellä oli 717 työntekijää, ja sen liikevaihto vuonna 2016 oli 94,7 M€. (Voimatel Oy 2017; Ristola 2017; Tuhkanen 2017.) Voimatelin pääkonttori on Siilinjärvellä Kuopion lähetyvillä ja toimipisteitä on eri puolilla Suomea, tärkeimpien kaupunkien ja alueiden läheisyydessä, jotta palvelun kattavuus voidaan taata. (Voimatel Oy 2017)

Voimatel Oy:n omistaa nykyisin kokonaan kuopiolainen Osuuskunta KPY (Kuopion puhelinyhdistys). (Voimatel Oy 2017) Vuonna 1883 alun perin perustettu Osuuskunta KPY on pitkäjänteinen sijoittaja- ja omistajataho, jonka juuret ovat vuonna 2007 DNA:lle siirryneissä teleliiketoiminnoissa. Vuonna 2008 Osuuskunta KPY osti Voimatel Oy:n osakeenemmistön ja vuonna 2014 loput Voimatelin osakkeet silloiselta omistajalta, Savon Voima Oyj:ltä. Nykyisin Voimatel Oy on Osuuskunta KPY:n merkittävimpiä omistuksia. (Osuuskunta KPY; Osuuskunta KPY 2015.)

Voimatel Oy harjoittaa infraverkkojen rakentamiseen, saneeraukseen, ylläpitoon ja kehittämiseen liittyviä palveluita sähkö- ja tietoverkkoihin sekä mittauspalveluihin erikoistuneilla liiketoiminta-alueillaan tarjoten myös liiketoimintarajat ylittäviä kokonaisratkaisuja. Tarjottavat palvelut jakautuvat laajalle kirjolle perinteisistä urakointi- ja viankorjaustoiminnoista pitkälle jalostettuihin asiantuntijapalveluihin, pyrkimyksenä toiminnan jatkuva kehittäminen ja parantaminen yhä paremman asiakaskokemuksen saavuttamiseksi. (Voimatel Oy 2017.) Tämä opinnäytetyö tehdään mittauspalvelut -liiketoiminnalle tarkoituksena hankkia tietoa kyseisen liiketoiminnan palveluiden kehittämisen ja laajentamisen tueksi.

## 1.2 Taustaa

Suomen sähkömarkkinalaki on tullut ensimmäisen kerran voimaan vuonna 1995, ja sitä sovelletaan sähkön tuotantoa, tuontia, vientiä, toimitusta, siirtoa ja jakelua koskeviin markkinoihin (Pylvänen 2013, 9; Sähkömarkkinalaki 588/2013, 2§). Sähkömarkkinalaki asettaa lainsäädännölliset raamit sähkönjakelua ja -siirtoa harjoittaville yhtiöille sekä määrää yhtiöiden viranomaisvalvonnasta. Energiamarkkinavirasto on asetettu valvomaan sähkölaitosten alueellisen monopoliaseman oikeaa ja hyvien tapojen mukaista käyttöä sekä sähkön siirtohintojen oikeellisuutta. Puhutan ”kohtuullisesta tuotosta”, joka on suhteessa verkkoon tehtyihin investointeihin (verkkoon sitoutunut pääoma), verkon ikään, verkostometreihin asiakasta kohden sekä verkossa esiintyneisiin, suunnittelemattomiin sähkönjakelun keskeytyksiin. Nämä asiat vaikuttavat verkkoyhtiölle oikeutettuun kohtuulliseen tuottoon ja sitä kautta asiakkailta perittäviin sähkönsiirron maksuihin. (Pylvänen 2013, 1, 3 - 4.) Tästä voidaan päätellä, että sähköverkkoon investoiminen oikeuttaa nostamaan siirtomaksuja ja vastaavasti suunnittelemattomat sähkökatkokset, esimerkiksi verkon vikaantumisesta johtuvat keskeytykset, pakottavat alentamaan maksuja. Asiakkaalle ajoissa ilmoitetut keskeytykset, esimerkiksi verkossa tehtäviin töihin tai kytkentöihin liittyvät katkot, eivät vaikuta maksuihin. Verkkoyhtiön toimialue ja samalla alueellinen monopoli on määritelty postinumeron tarkkuudella, eikä verkkoyhtiötä voi näin ollen vaihtaa muuta kuin muuttamalla toisen yhtiön alueelle. Energiamarkkinavirasto valvoo sähkön siirtohintojen oikeellisuutta takautuvasti neljän vuoden tarkastelujaksoissa ja tarkastelujakson päätyttyä esimerkiksi määrää liian suurta siirtomaksua perineen verkkoyhtiön alentamaan maksujaan. Toisaalta verkkoyhtiö on oikeutettu hyödyntämään alijäämäinen tulos seuraavalla valvontajaksolla korkeampina maksuina. (Pylvänen 2013, 1, 4.)

Kirjoitushetkellä voimassa oleva sähkömarkkinalaki otettiin käyttöön vuoden 2013 lopussa ja se toi mukanaan suuria kiristyksiä toimitusvarmuuteen. (Pylvänen 2013, 1) Tämän vuoksi pian lain voimaantulon jälkeen sähköverkkoyhtiöt alkoivat toteuttaa laajoja saneeraushankkeita verkkoalueillansa, eli maakaapeloimalla vanhoja, vika-alttiita ilmajohtoverkkojaan sekä muuttamalla pylväsmuuntamorakenteita puistomuuntamoiksi. Investointien painopiste on ollut keskijännitteisessä 20 kV:n jakeluverkossa, sillä ilmajohdorakenne on siinä yleinen varsinkin haja-asutusalueella ja keskijänniteverkon vikaantuminen aiheuttaa jakelukeskeytyksen useille asiakkaille kerralla.



Kirjoitushetkellä voimassa olevassa sähkömarkkinalaissa edellytetään verkkoyhtiöitä pitämään sähkön toimitusvarmuus sillä tasolla, että asemakaava-alueella (kaupunkialueet) ei esiinny yli 6 tuntia kestäviä sähkönjakelun vikakeskeytyksiä. Haja-asutusalueilla sähkönjakelu pitää vian sattuessa saada korjattua 36 tunnissa. Tätä vaatimusta ei kuitenkaan sovelleta kohteisiin, jotka sijaitsevat saarissa, joihin ei ole kiinteää maantieyhteyttä tai säännöllistä lauttayhteyttä eikä vapaa-ajan asuntoihin tai muihin kohteisiin, joiden energiankulutus on vähäistä. Vähäisellä energiankulutuksella tarkoitetaan tässä alle 2500 kWh:n kulutusta kolmen edellisen kalenterivuoden aikana. (Sähkömarkkinalaki 588/2013, 51§.) Tämä ohjaa verkkoyhtiöitä kehittämään verkko-omaisuuttaan siten, että kalliimpia verkkorakenteita, kuten maakaapelointi ja verkostoautomaatioratkaisut, otetaan käyttöön myös harvaan asutuilla alueilla. (Pylvänen 2013, 1, 10) Sähkömarkkinalain vaatimien investointien vuoksi verkkoon sitoutuu pääomaa ja tämä näkyy siirtohintojen nousuna. Verkkoyhtiöt joutuvat mitoittamaan jatkossa siirtohintansa siten, että tuotto on valvovan viranomaisen hyväksymän kohtuullisen tuoton ylärajalla, jotta investoinnit saadaan rahoitettua. (Pylvänen 2013, 10)

## 2 SÄHKÖNJAKELUJÄRJESTELMÄ

### 2.1 Suomen sähkövoimajärjestelmä

Suomessa on käytössä kolmevaiheinen, 50 Hz vaihtosähköjärjestelmä, jossa jakelujännitteenä on 400/230V (pääjännite/vaihejännite) jännite. (Korpinen 1998a, 1) Suomen sähkövoimajärjestelmä koostuu voimalaitoksista, muunto- ja kytkinasemista (sähköasemat), kuluttajista sekä näitä yhdistävistä siirto- ja jakeluverkoista. Sähköverkot jakautuvat hierarkkisesti kanta-, alue- ja jakeluverkkoihin. Suomen sähkövoimajärjestelmän rakenne on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Suomen sähkövoimajärjestelmä. (STUK 2011)

Suomen kantaverkon omistaa Fingrid Oyj, jännitetaso kantaverkossa on 110 - 400 kV ja verkko on rakenteeltaan lähes täysin ilmajohtoverkkoa. Alueverkko on yksityisten verkko-yhtiöiden omistamaa, jännitetaso yleensä 110 kV ja verkko on rakenteeltaan muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta ilmajohtoverkkoa. Kaapeloitua alue- ja kantaverkkoa on lähinnä suurimpien kaupunkien tiheästi rakennetuilla alueilla. (Fingrid Oyj a; Korpinen 1998a, 1, 5 - 8.)

Jakeluverkko jakautuu vielä käytetyn jännitetason mukaan keskijännitteiseen ja pienjännitteiseen jakeluverkkoon. Keskijänniteverkon jännite on yleensä 20 kV, mutta vielä on lähinnä vanhojen kaupunkien alueella käytössä vanhoja 6- ja 10 kV keskijännitelaitteita. Keskijänniteverkkoja on toteutettu sekä kaapeli- (kaupunkialueet) että ilmajohtoverkkona (haja-asutusalueet) ja keskijänniteverkko päättyy joko jakelumuuntamolle tai keskijänniteliittymälle. Kuvassa 2 on nähtävillä tyypillinen 20 kV avojohtorakenne. Pienjänniteverkon jännitetaso on 0,4 kV ja se päättyy kuluttajaliittymään. (Korpinen 1998a, 1, 5 - 8.) Tämän lisäksi joitain harvoja, teknillis-taloudellisesti haastavia pienjänniteverkon kohteita on toteutettu 1 kV jännitetasolla, mutta tällöin tarvitaan lisäksi 1/0,4 kV muuntaja 1 kV johdon päähän sekä 1 kV johdolle oma, erillinen katkaisijaan perustuva vikasuojaus.



KUVA 2. 20 kV avolinja. (Wikispaces)

## 2.2 Älykäs sähköverkko

Nykyään puhutaan sähköverkkojen yhteydessä myös älykkäästä sähköverkosta tai älyverkosta. Älykäs sähköverkko on dynaaminen ja tilanteeseen mukautuva energian siirto- ja hallintajärjestelmä, joka osaa sähkövoima-, automaatio- ja tietotekniikan keinoja hyväksi käyttäen ohjata, tasata ja optimoida energiankulutusta vallitsevan tilanteen asettamien vaatimusten mukaan sekä ohjeistaa käyttäjiä toimimaan energiankäytön kannalta optimaalisesti. Älykäs sähköverkko siis osallistaa energian käytön ja siirron parissa toimivat tahot energiatehokkaaseen ajatteluun. Älyverkosta koituu hyötyjä niin sähkölaitoksille, joille mahdollistuu muun muassa verkon kapasiteetin tarkempi hyödyntäminen, kuin kuluttajillekin, jotka voivat tehostaa energiankäyttöään saamiensa tietojen perusteella ja näin tehdä energiankäytöstään taloudellisempaa. (Wikipedia 2017.) Kuvassa 3 on esitelty älyverkon osatekijöitä ja ominaisuuksia ja siitä nähdään, että älykkään sähköverkon toimintaan osallistuvat kaikki sähköverkkoon kytketyt tahot.



KUVA 3. Älyverkon osatekijöitä. (Hyvärinen 2010)

Pientuotanto kuuluu oleellisena osana älyverkkoihin ja tämä tuo mukanaan sen, että energia voi virrata verkossa myös muihinkin suuntiin kuin perinteisessä mallissa, isolta voimalaitokselta kuluttajille. (Fingrid Oyj b) Näin toisaalta myös vikavirrat voivat virrata eri suuntaan kuin alun perin on ajateltu, joten tämä asia pitää ottaa huomioon suojaus suunniteltaessa. Pientuotanto perustuu yleensä säästä ja vuorokaudenajasta riippuvaiseen tuotantotapaan, kuten aurinkopaneelitekniikkaan tai tuulivoimaan, joten sen täysimittainen, joustava hyödyntäminen vaatii tehokasta tapaa varastoida sähköä. Tähän kiteytyy

yksi älyverkkojen ydinajatus: kun sähköä voidaan varastoida tehokkaasti, voidaan ylituotanto ohjata varastoon silloin, kun tuotanto on halpaa (halpa polttoaine, tuulinen/aurinkoinen sää) ja purkaa varastoja huippukuormien ja epäedullisten tuotanto-olosuhteiden (kallis polttoaine, tuuleton/pilvinen sää) aikana ja näin ylläpitää kulutuksen ja tuotannon tehotasapainoa. Älykäs sähköjärjestelmä mahdollistaa siis sähkön tuottamisen siellä, missä se kulloinkin on edullisinta ja pientuotannon mukaan ottaminen tekee esimerkiksi asiakkaista, joilla ko. tuotantoa on, entistä aktiivisemmän osapuolen sähkömarkkinoilla tehden heistä myös sähkön tuottajia. (Fingrid Oyj b.)

Sähkön varastointi on, kuten edellä mainittiin, tärkeä osa älykästä sähköjärjestelmää ja Helsingin Suvilahteen onkin pilottihankkeena valmistunut Pohjoismaiden suurin, megawattiluokan sähkövarasto Helsingin Energian Suomen suurimman aurinkovoimalan yhteyteen yhteistyössä Helsingin Energian, Fingridin, Toshiba ja Landis +Gyrin kanssa. Sähkövarasto on merikonttiin rakennettu, 600 kWh kapasiteetiltaan oleva Litium-ioni -akkuteknologiaan perustuva älykkään sähköverkon energiavarasto, joka tuottaa myös tutkimustietoa suuren mittakaavan sähkövaraston hyödyntämisestä: siinä tutkitaan muun muassa sitä, milloin akkua kannattaa ladata tai purkaa ja mistä ja millaisen logiikan mukaan kuluttajat ovat valmiita maksamaan siitä. Käytössä ollessaan sähkövarasto toimii myös kysynnän ja tarjonnan tasapainottajana, vasteajattomasti käynnistyvänä varavirtalähteenä ja loistehon kompensointilaitteena. (Helen Oy 2015.) Tulevaisuudessa esimerkiksi latauspisteisiin kytketyt sähköautot voisivat myös toimia edellä kuvatun kaltaisesti energian kysynnän tasapainottajana, yksittäisinä sähkövarastoina, jolloin yksittäisten kuluttajien asema energianhallinnan aktiivisina toimijoina entisestään korostuisi.

Paitsi tuotantoa, pyritään älyverkossa hallitsemaan ja tasapainottamaan myös kulutusta kulutusjoustojen ja kuorman ohjauksen avulla siten, että kulutus ei nousisi niin suureksi, että fossiilisilla polttoaineilla käyviä huipputehovoimalaitoksia tarvitsisi käyttää, vaan tarvittava sähkö saataisiin tuotettua olosuhteet huomioiden uusiutuvista energianlähteistä. Ideana on, että joitain sähkönkuluttajien toimintoja, kuten akkujen lataamista tai lämmityskuormien lämpötilan nostoa tehtäisiin etupäässä silloin, kun sähkön tuotanto ylittää kulutuksen ja energia on halvempaa. Kuluttaja saa tästä taloudellista hyötyä ja voi tämä ominaisuus huomioiden suunnitella energiankäyttöään pidemmällekin, osallistua siis aktiivisena toimijana sähkömarkkinoille. Toisaalta, markkinasääntöjen mukaan, mikäli ku-

luttaja haluaa kuitenkin käyttää enemmän energiaa tilanteessa, jossa kulutus on tuotantoon nähden korkealla, on hänen oltava valmis maksamaan energiasta korkeampi hinta. (Fingrid Oyj b; Korpela 2017, 33.)

Älyverkkojen alalla tällä hetkellä tulevaisuuden näkyminä ovat sähkövarastojen kehittäminen ja käyttö, mikroverkot, jotka kykenevät toimimaan eristettyinä saarekkeina esimerkiksi vikatilanteessa sekä virtuaalivoimalaitokset, jotka kokoavat pientuotannon isommiksi hallittaviksi yksiköiksi. (Wikipedia 2017) Älyverkkoihin kuuluu myös pyrkimys hallita vika- ja keskeytystilanteita siten, että niistä koituva haitta jää mahdollisimman pieneksi. Tähän liittyy kiinteästi verkostoautomaatio ja verkon tehokas valvonta, johon paneudutaan myöhemmin tässä työssä tarkemmin.

### 2.3 Sähköverkon vikaantuminen

Sähköverkko voi vikaantua ulkoisen tekijän seurauksena, jolloin sähkönjakelu häiriintyy tai jopa katkeaa kokonaan, mikäli vika jää jälleenkytkennöistä huolimatta pysyväksi. Avojohdolle voi kaatua puita myrskyn tai huolimattoman metsänhoidon seurauksena, ukosen johtoon aiheuttama ylijännite voi tuhota muuntajia tai muita verkon laitteita tai esimerkiksi pohjoisen oloissa tykkylumi voi muodostaa painokuormaa johdolle tai kaataa puita linjoille ja näin romahduttaa useita pylväsvälejä. Ilmajohtoverkon laitteet ovat rakenteeltaan avonaisia, joten myös eläimet aiheuttavat ilmajohtoverkoissa erilaisia vikoja. (Pylvänen 2013, 2 - 3.) Kuvassa 4 on lintu lentänyt 20 kV ilmajohton kipinäväliin ja aiheuttanut maasulun katkaisten sähkönjakelun syötettävältä alueelta.



KUVA 4. Linnun aiheuttama maasulku

Sähköverkkoa ympäröivä alue ja maantieteellinen sijainti asettavat sen alttiiksi erilaisille vioille: tykkylumiongelmaa ei etelässä esiinny eikä ukkonen ole suuri riski sähkönjake-lulle metsäolosuhteissa. Ilmajohdo on rakenteensa takia riskialttiimpi vikaantumaa kuin maakaapeli, mutta alemmat rakentamiskustannukset ja joissain tapauksissa asennusolo-suhteet puolustavat sen käyttöä ja joskus tekevät siitä ainoan mahdollisen toteutustavan, esimerkiksi maaston ollessa kovin kivinen. (Pylvänen 2013, 2 - 3.)

Maakaapeliverkkokin voi vikaantua esimerkiksi huonon asennustavan, kivisen maan, roudan tai huolimattomasti tehtyjen kaivutöiden seurauksena. Laajan kaapeloidun jake-luverkon vikoihin liittyy muutamia erityispiirteitä, joihin tässä työssä perehdytään tar-kemmin työn painopisteen ollessa kaapeliverkon vikojen havaitsemisessa.

### 2.3.1 Oikosulku

Oikosulkutilanteessa virtapiiri sulkeutuu hyvin pienen impedanssin kautta ja näin ollen piirissä kulkeva virta on hyvin suuri. Tyypillisesti virtaa rajoittaa oikosulussa vain syöt-tävän verkon sisäinen impedanssi, joka muodostuu verkon komponenttien, kuten esimer-kiksi johtimien ja muuntajien, sisäisistä impedansseista. Tällainen tilanne syntyy esimer-kiksi johdon tai sähkölaitteen eristeen rikkoutuessa, huolimattomasti tehdyssä jännite-työssä, puun kaatuessa avojohdolle ja painaessa johtimet yhteen tai katkaistaessa jännit-teinen kaapeli.

Oikosulkutilanteessa verkon kuorma kasvaa hetkessä lähelle teoreettista maksimiarvo-aan, jännite romahtaa ja normaalitilanteen kuormavirtaan nähden hyvin suuri oikosulku-virta lämmittää johtimia niin voimakkaasti, että johtimien eristeet alkavat vaurioitua ja lopulta sulavat, jos oikosulkua ei saada nopeasti kytkettyä pois. Tyypillisin ja yksinker-taisin oikosulkusuoja on sulake, joka palaessaan katkaisee virtapiirin. Hyvin suunnitel-lussa sähkölaitteistossa vikapaikkaa lähinnä oleva suojalaite toimii ja näin kytketään vain vikaantunut järjestelmän osa pois; tätä kutsutaan suojauksen selektiivisyydeksi. Mikäli selektiivisyys taas on huono, laukaisee yhdessä järjestelmän kohdassa oleva vika useita suojalaitteita ja vikapaikan löytäminen näin vaikeutuu. Selektiivisyys toteutetaan yleensä asentamalla järjestelmään syöttösuunnasta kulutukseen katsottuna peräkkäin eri suuruisia sulakkeita, johtimien kuormitettavuus huomioiden niin, että sulakekoko pienenee syöttö-pisteestä etäännyttäessä.

Seuraava laskuesimerkki havainnollistaa oikosulkuvirran suuruutta. Laskuesimerkissä on kapasiteetiltaan 315 kVA:n 20/0,4 kV muuntaja, jonka yhdessä lähdössä tapahtuu 100m päässä kolmivaiheinen oikosulku. Lähtö on kaapeloitu käyttäen AXMK 4x150 -kaapelia, jonka impedanssiksi oletetaan  $0,48\Omega/\text{km}$ , muuntajan sisäiseksi impedanssiksi oletetaan  $0,022\Omega$ . Jätetään lämpötilasta riippuvat korjauskertoimet ja syöttävän 20 kV:n verkon impedanssi huomioimatta.

Oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi saadaan laskemalla yhteen muuntajan ja kaapelin impedanssit:  $0,48\Omega/\text{km} \cdot 0,1 = 0,048\Omega$ .  $0,048\Omega + 0,022\Omega = 0,07\Omega$  = oikosulkupiirin impedanssi.

Tästä saadaan Ohmin lain (Mäkelä ym. 2010, 126) mukaan  $U = I \cdot Z$ , jossa:

$U$  = Jännite

$I$  = Virta

$Z$  = Impedanssi

Ratkaistaan tästä virta  $I$ :  $I = U/Z$

Nyt sijoitetaan saadut luvut yhtälöön ja saadaan piirin kolmevaiheinen oikosulkuvirta:

$$400\text{V} / 0,07\Omega = 5714\text{A}.$$

Vertailuna, AXMK 4x150 -kaapelin suurin sallittu yhtäjaksoinen kuormitusvirta standardin SFS 6000 mukaan on 280A maakaapeliasennuksena, rakenteisiin uppoasennuksena tai muuten huonosti jäähtyvään ympäristöön asennettuna kuormitettavuus on selkeästi pienempi. (SFS 6000-5-52 2012) Esimerkissä jätettiin syöttävän 20 kV:n verkon oikosulkuimpedanssi huomioimatta. Se olisi hieman laskenut saatua oikosulkuvirtaa, mutta vaikutus ei olisi ollut kovin suuri, vaan oikosulkuvirta olisi siltikin ollut samassa kokoluokassa.

Varsinkin suuritehoisen järjestelmän oikosulussa esiintyy yleensä myös kipinäointia ja/tai valokaari, jonka lämpötila on tuhansia asteita ja joka on voimakas ultraviolettisäteilijä. Valokaari aiheuttaa voimakkaan, räjähdysmäisen paineiskun ja kuumuutensa vuoksi sulattaa helposti metalleja, aiheuttaen metalliroiskeiden takia vakavia palovammoja ja tulipalon riskin laajalla alueella. Metallin sulaessa muodostuu myös myrkyllisiä alumiini- ja kupariyhdisteiden höyryjä, jotka voivat olla tappavia pieninäkin annoksina. (Sähköala.fi



2010.) Valokaarioikosulussa virta nousee yleensä niin suureksi, että perinteiset oikosulkusuojalaitteet, kuten sulake tai johdonsuojakatkaisija, kytkevät syötön pois, mutta suurjännitteisiin (>1000V) lähtökennoihin asennetaan monesti erillinen, valokennoon perustuva valokaarisuojarele, joka havaitsee valokaaren välähdyksen ja kytkee syötön pois hyvin nopeasti, jo ennen kuin valokaari jää palamaan.

Valokaaria voi esiintyä myös verraten pienitehoisissa talotekniikan järjestelmissäkin, esimerkiksi heikon liitoksen tai eristevian vuoksi. Vaikka nämä valokaaret ovat huomattavasti pienitehoisempia, kuin edellä mainituissa tapauksissa, aiheuttavat ne silti merkittävän tulipalon riskin erityisesti pölyisissä olosuhteissa ja uudessa SFS 6000 -standardiehdotuksessa suositellaankin valokaarivikasuojan käyttöä muun muassa asuinrakennuksissa sekä palavaa materiaalia tai korvaamattomia esineitä sisältävissä tiloissa. Talotekniikan sovelluskissa valokaarivikasuojan toiminta ei perustu valokennoon, vaan valokaarille ominaisten virran korkeataajuisten komponenttien analysointiin ja virtatiedon valokaarivikasuoja saa johdonsuojakatkaisijalta, jonka yhteyteen se asennetaan. Suomessa valokaarivikasuojan käytöstä on vasta tulossa suositus, mutta esimerkiksi Saksassa ja USA:ssa niiden käyttäminen on pakollista asuinkiinteistöissä. (Lilja-aho 2017, 40)

### 2.3.2 Maasulku

Maasululla tarkoitetaan tilannetta, jossa verkon jännitteinen osa koskettaa maata tai maahan johtavassa yhteydessä olevaa kappaletta. Tämä voi tapahtua joko verkon suojamaadoitetussa pisteessä, esimerkiksi kipinävälissä, kuten tämän työn sivun 11 kuvassa 2 on käynyt tai suojamaadoittamattomassa kohdassa, josta esimerkkinä puun kaatuminen avojohdolle myrskyn seurauksena. (Korpinen 1998b, 6.) Maasulkutilanteessa virta ”vuotaa” maasulkupaikasta maata pitkin verkon tähtipisteeseen, jonka maadoitustavasta riippuu maasulkuvirran suuruus ja maasulun haitta- ja vaaratekijöiden voimakkuus.

Maasulku aiheuttaa vikapaikkaan ja sen ympäristöön vaarallisia kosketusjännitteitä, tulipalon vaaran sekä jännitteen nousemisen maasulkuvirran kapasitiivisuuden vuoksi. Jännitteen nousu on erityisen voimakasta kaapeliverkossa tapahtuneessa maasulussa kaapelin suuren ominaiskapasitanssin vuoksi. Kuten oikosulkukin, maasulku voi olla yksi- tai monivaiheinen: verkon vikaantuessa eri kohdista puhutaan kaksois- tai kolmoismaa-

sulusta. Jos usean vaiheen eristysvika tapahtuu samassa kohdassa järjestelmää, on kyseessä maaoikosulku. (Satakunnan ammattikorkeakoulu. Luentomuistiinpanot. Maasulku, 1.)

Kuten edellä todettiin, verkon tähtipisteen maadoitustavalla on vaikutusta maasulkuvirran suuruuteen ja täten maasulun aiheuttamiin vaara- ja häirtatekijöihin. Jäykästi, eli suoraan tai pienen impedanssin kautta maadoitetun tähtipisteen tapauksessa maasulkuvirta on lähes oikosulkuvirran suuruinen, kun vastaavasti suuren impedanssin kautta maadoitetun tai eristetyn tähtipisteen verkossa maasulkuvirta on oikosulkuvirtaan verrattuna pieni ja siihen vaikuttaa huomattavasti verkon maakapasitanssi. Impedanssin kautta maadoitettussa verkossa, maakapasitanssin ollessa merkittävä, vaikuttaa kaapelointiaste maasulkuvirran suuruuteen, koska kaapelilla on rakenteensa vuoksi huomattavasti avojohtoa suurempi ominaiskapasitanssi. Tähtipiste voidaan maadoittaa myös puhtaan resistanssin kautta, jolloin maasulkuvirta on jonkin verran suurempi kuin edellisessä tapauksessa, mutta ei kuitenkaan lähelläkään oikosulkuvirran arvoja. (Satakunnan ammattikorkeakoulu. Luentomuistiinpanot. Maasulku, 1.) Tähtipisteen maadoitustapaan vaikuttavat muun muassa teknillis-taloudelliset seikat: Kantaverkon suurilla käyttöjännitteillä tähtipisteen maadoittaminen suuren impedanssin kautta tarkoittaisi kohtuuttomia materiaalikustannuksia saavutettuihin hyötyihin nähden.

Sähkölaitosten laajoissa keskijänniteverkoissa, varsinkin, jos kaapeliverkon osuus on suuri, asennetaan yleensä ns. sammutuskuristin verkon rinnalle. Sammutuskuristin on kela, joka induktiivisena komponenttina kompensoi kapasitiivista maasulkuvirtaa, jolloin maasulkuvirta pienenee ja haitat jäävät vähäisemmiksi. Edellä kuvatun kaltaista, kuristin kautta maadoitetun tähtipisteen verkkoa sanotaan sammutetuksi verkoksi, koska maasulku ”sammutuu” kelan vaikutuksesta. Toisaalta sammuttaminen tekee maasulun paikantamisesta ja ylipäättään havaitsemisesta vaikeaa. (Satakunnan ammattikorkeakoulu. Luentomuistiinpanot. Maasulku. 1.) Sammutettua verkkoa suunniteltaessa tärkeää on sammutuskelojen oikea mitoittaminen sekä sijoittaminen siten, ettei verkon kytkentätilan muuttaminen vaikuta kompensointikapasiteettiin: keloja ei tulisi sijoittaa verkon haara-kohtiin, vaan tarpeeksi pitkille runkojohdoille, jolloin kytkentätilan muuttuessa kompensointia putoaa pois tai tulee lisää aina tarvittava määrä. Automaattisesti säätyviä keloja käytettäessä kompensointi-arvot pysyvät kelan säätöalue huomioon ottaen oikeina pienistä verkon muutoksista huolimatta, eikä yli- tai alikompensointia synny. Kompensointi-asiemien sijoittelussa tulee myös huomioida, että kelat pitävät varsinkin maasulun sattuessa

kovaa ääntä, eikä niitä tulisi sijoittaa asutusten välittömään läheisyyteen. Esimerkkinä allekirjoittaneen omasta työhistoriasta tutun verkkoyhtiö Carunan alkuvuonna 2017 voimassa olevan suunnitteluohjeen mukaan minimietäisyys kompensointiaseman ja asutusten välillä on 200m.

## 2.4 Vikaantumisen jälkeen

Sähkönjakelun vikakeskeytyksiä pyritään ennaltaehkäisemään muun muassa karsimalla puita avojohtojen vierustoilta, asentamalla eläinten pääsyä rajoittavia suojia verkon paljaisiin jännitteisiin osiin, pudottamalla lumikuormaa johdoilta sekä kaapeloimalla verkkoa. Vikaantumista ei kaikesta huolimatta voida kuitenkaan täysin estää niin, että se olisi taloudellisesti järkevää. Vian sattuessa tärkeää on nopea vian paikannus ja korjaus työturvallisuutta unohtamatta. Viankorjaus on työturvallisuuskulmasta haastavaa työtä, sillä olosuhteet voivat olla hyvinkin huonot eikä kohteeseen menevällä työryhmällä yleensä ole tarkkaa tietoa siitä, mitä on edessä eikä kohteesta ole valmiita työsuunnitelmia käytettävänä.

Sähköverkon toimintaa valvotaan erilaisten, nykyään monipuolisia ominaisuuksia sisältävien ja hyvin tarkkojen releiden avulla. Releiden toiminta perustuu mittauksiin ja ne mittaavat esimerkiksi virtaa, jännitettä, taajuutta tai tehoa ja sen suuntaa ja välittävät näistä tietoa verkkoyhtiön valvomoon. Releet myös ohjaavat kytkinlaitteita ja vikatapauksessa vian mittaustietojen perusteella havaitessaan avaavat syöttävän kytkinlaitteen, jolloin vikaantunut lähtö saadaan kytkettyä pois nopeasti ilman, että valvomon operaattorin tarvitsee tähän puuttua. Jotkin releet osaavat vikatapauksessa laskennallisesti määrittää vikapaikan suuntaa antavan sijainnin impedanssietojen perusteella. (Korpinen 1998b, 6 - 7.) Sähköverkon suojareleet ovat yleensä keskitetysti sähköasemilla, mutta nykyinen suuntaus on hajauttaa relesuojausta syvemmälle verkkoon ja näin helpottaa vian paikannusta sekä lisää verkon älyä ja mahdollisia kytkentäratkaisuja.

Suurin osa sähköverkon vioista poistuu sillä, että verkko tehdään hetkeksi jännitteettömäksi. (Korpinen 1998b, 8) Tällainen vika on esimerkiksi avolinjaan tuulen vaikutuksesta osunut ja maasulun aiheuttanut puun oksa, joka helposti palaa pois virran vaikutuksesta. Tämän vuoksi verkossa käytetään jälleenkytkentöjä eikä sähkönjakelua heti katkaista pitkäksi ajaksi. Edeltävän esimerkin mukaan, puun oksan osuessa avolinjaan ja aiheuttaessa

maasulun, ohjaa syöttävän sähköaseman suojarile kytkinlaitteen auki ja releeseen asetellun ajan, yleensä 0,2 - 0,5s jälkeen ohjaa kytkinlaitteen kiinni palauttaen jännitteen verkkoon. Tätä kutsutaan pikajälleenkytkennäksi (PJK). (Korpinen 1998b, 8) Jos oksa on nyt poistunut linjalta, ei muita toimia tarvita. Jos taas vika kuitenkin uusiutuu jännitteen kytkemisen jälkeen, katkaisee rele sähkönsyötön nyt aikajälleenkytkennällä (AJK) pidemmäksi ajaksi, 0,5 - 3 minuutiksi. (Korpinen 1998b, 9) Jos vika on tämän jälkeen poistunut, ei jatkoimenpiteille ole tarvetta ja kuluttajille koitunut haitta on vain aikajälleenkytkennän aiheuttama muutaman minuutin sähkökatkos, pikajälleenkytkennän havaitsee tavallinen kotitalouskuluttaja lähinnä valojen nopeana välähdyksenä. Mikäli vika kuitenkin uusiutuu heti aikajälleenkytkennän jälkeen, suorittaa suojarile lopullisen laukaisun, eli kytkinlaite jää nyt auki ja vikapaikka pitää käydä tutkimassa ja vika korjaamassa paikan päällä. Tässä vaiheessa menee tilanteesta viesti verkkoyhtiön valvomoon.

#### **2.4.1 Vian paikannus ja korjaus perinteisin tavoin**

Seuraava katsaus sähköverkon vikojen paikannuksesta ja korjauksesta perustuu allekirjoittaneen työkokemukseen sähköjakelun vikojen selvityksen parista. Tarkastelu rajoitetaan työn aiheen vuoksi keskijänniteverkon vikojen selvittämiseen, mutta vastaavia toimintatapoja voidaan turvallisuusseikat huomioiden osin soveltaa myös muillekin jännite-tasoille.

Vian paikannus alkaa, kun suojarile on suorittanut edellä mainitun lopullisen laukaisun ja tieto viasta on kulkeutunut viestiyhteyksiä pitkin valvomoon. Jos vikaantuneessa verkon osassa on kaukokäytettäviä kytkinlaitteita, valvomon operaattorit yrittävät rajata vika-aluetta niiden avulla ensin avaamalla kaikki kytkinlaitteet ja sitten palauttamalla sähkököt syöttävältä asemalta kytkin kerrallaan eteenpäin niin kauan, että vikapaikka tulee vastaan ja suojarile toimii. Tämän jälkeen sähkököt palautetaan vikaantumattomalle verkon osalle ja viankorjausvastuussa olevat asentajat kutsutaan rajaamaan ja selvittämään vikaa maastossa. Asentajatyöryhmä rajaa vika-aluetta maastossa samoin menetelmin kuin valvomon operaattorit kaukokäyttölaitteiden kanssa, avaamalla ja sulkemalla erottimia ja kuljettamalla sähköä eteenpäin kohti vikapaikkaa. Kaukokäyttölaitteita on harvoin niin tiheästi verkossa, että vika voitaisiin niillä rajata tarkasti, joten asentajien tekemä hienorajaus on lähes aina pakollista vian löytämiseksi. Vikapaikka voidaan havaita pitkänkin

matkan päästä esimerkiksi horisontissa näkyvänä savuna, välähdyksinä tai kuultavana äänenä.

Kun vikapaikka löytyy, aloitetaan tilanteen vaatimat korjaustyöt. Vikatyölle lähtevät asentajat eivät yleensä voi tietää, minkä laisia toimenpiteitä vian korjaaminen vaatii: vian aiheuttaja voi olla vain avojohdolle joutunut oksa, joka ei ole palanut pois tai kytkentöjen dynaamisista vaikutuksista pudonnut, tai toisaalta vikakohteessa voi olla useita pylväsvälejä romahtanutta linjaa. Olosuhteet voivat olla sään ja vuorokauden ajan vuoksi hyvinkin vaativat, sillä viankorjausvastuu ei rajoitu normaaliin työaikaan tai sääolosuhteisiin. Vaaratekijöitä aiheuttaa myös johtoihin jääneet tai läheisistä johdoista indusoituneet varausjännitteet sekä mahdolliset rakenteisiin jääneet mekaaniset jännitykset, jotka voivat lauetessaan olla hengenvaarallisia. Varausjännitteet puretaan työmaadoituksella, jota käytetään aina korkeajännitelaitteistoissa tehtävissä töissä. Työmaadoituslaitteella oikosuljetaan vaihejohtimet ja työmaadoituslaitteen tähtipiste kytketään vielä maadoituspiikillä maahan. Työmaadoittaminen suojaa myös tahattomilta sähkönsyötön kytkeytymisiltä suojaten näin työryhmää. Työmaadoitukset asennetaan mahdollisimman lähelle työaluetta, sen jokaiseen mahdolliseen syöttösuuntaan.

Kun vika on korjattu, poistetaan työmaadoitukset ja sähköt palautetaan linjalle. Jos sähköt pysyvät päällä, ei linjalla ole muita vikoja. Verkkoyhtiön valvomo koordinoi viankorjausta ja on yhteydessä asentajiin puhelimen välityksellä. On tärkeää, että oikea kytkentätila on koko ajan valvomon ja vikaa korjaavan työryhmän tiedossa.

Huomioitavaa on, että valvomohenkilökunta voi onnistua nopeasti palauttamaan sähköt kaikille asiakkaille kytkentätilaa muuttamalla, jos alueella on varasyöttöyhteyksiä, eli rengasverkkotopologia. Näin esimerkiksi yöllä tapahtunut vikaantuminen voidaan hoitaa kuntoon vasta seuraavana päivänä normaalilla työajalla, jolloin korjauksesta ei tule ylitö- ja hälytyskustannuksia ja tarvittavaa lisäkalustoa, kuten nosturiautoja tai kaivinkoneita on helpommin saatavilla käyttöön.

Monet suomalaiset verkkoyhtiöt ovat ulkoistaneet viankorjaustyönsä ulkopuolisille palveluntuottajille, jollainen esimerkiksi tämän työn toimeksiantaja Voimatel on. Suurimpien verkkoyhtiöiden, ja toisaalta palveluntuottajien, toimialueet ja samalla viankorjausvastuualueet ovat laajoja ja tämä asettaa haasteita esimerkiksi paikallistuntemuksen osalta, jos joudutaan syystä tai toisesta toimimaan vieraalla alueella.

## 2.4.2 Verkostoautomaation hyödyt vikatilanteessa

Kuten edellä todettiin, verkostoautomaatiolla voidaan nopeasti kytkeä vikaantuneet virtapiirit pois käytöstä (suojausautomaatio) ja korjata yksinkertaisia, ei-pysyviä vikoja ilman, että ihmisen tarvitsee tilanteeseen reagoida. Verkostoautomaatiota käyttämällä voidaan vikakeskeytyksen vaikutusalueella oleville kuluttajille järjestää sähkönsyöttö varayhteyden kautta sekä vikaa yrittää myös rajata ja paikantaa verraten nopeasti, tosin tarkkuus tässä riippuu kaukokäytettävien kytkinlaitteiden tiheydestä ja toisaalta vian tyypistä sekä mittausten tarkkuudesta. Kuitenkaan mekaanisia, pysyvässä tilassa olevia vikoja (puu linjalla, johto poikki, rikkoutunut liitin yms.) verkostoautomaatiolla ei pystytä korjaamaan eikä tämä luultavasti ikinä tule olemaan mahdollista.

Automaation hajauttaminen verkkoon laskee merkittävästi vianselvitykseen kuluvaan aikaan verrattuna tilanteeseen, jossa automaatio on keskitetty sähköasemalle. Muuntamotasolle verkkoon hajautettu automaatio kykenee esimerkiksi tunnistamaan vikaantuneen johtovälin, joskus jopa määrittämään tarkan vikapaikan ja kytkeekin nyt vain vikaantuneen johdon jännitteettömäksi, toisin kuin sähköasemalle keskitetyn automaation tapauksessa, jolloin koko johtolähtö olisi kytketty jännitteettömäksi. Kun vikapaikka on suurin piirtein tiedossa, ei vian etsimiseen kulu aikaa paljoa verrattuna tilanteeseen, jossa vian sijainnista ei ole mitään tietoa. Tällä seikalla on merkitystä kaikissa toimintaympäristöissä: maaseudulla välimatkat voivat olla pitkiä ja vaikeakulkuisia, kun taas kaupunkiympäristössä muun muassa ruuhkat ja sähkönjakelun laitteiden hankala luokse päästävyys hidastavat vianselvitystä. (Helen Oy 2014.)

## 2.5 Kaapeliverkon erityispiirteet

Kaapelia voidaan ajatella avojohdon vastakohtaksi: kaapeli on eristetty ja siinä on yleensä useampia johtimia saman kuoren alla. Kaapeleita valmistetaan monilla erilaisilla ominaisuuksilla erilaisiin käyttöympäristöihin verraten yksinkertaisesta MMJ-asennuskaapelista monimutkaisen rakenteen omaaviin korkeajännitekaapeleihin, kuten AHXAMK-W:iin. Kaapeleiden nimeämiselle ei ole mitään yleispätevää ohjetta, mutta yleisesti ottaen, mitä enemmän tyyppinimessä on kirjaimia, sitä monimutkaisemmasta rakenteesta on kyse. Nimestä voi päätellä kaapelin rakennetta: ”A” nimessä tarkoittaa alumiinijohtimia, ”C” puolestaan kuparijohtimia. X -kirjain kertoo kuoren olevan PEX -

muovia (ristisilloitettu polyeteeni). Kuvassa 5 on esitettyä Suomessa yleisen keskijännitekaapelin, AHXAMK-W:n, rakennekuva.



KUVA 5. AHXAMK-W, 20 kV kaapeli. (Reka Oy)

Kaapeleita voidaan asentaa monella eri tavalla, mutta jakeluverkkoympäristössä keskijännitteinen kaapeliverkko on lähes aina toteutettu maakaapelirakenteella, eli kaapeli on kaivettu tai aurattu maahan. Maan alla kaapeli on suojassa monilta ympäristön haittatekijöiltä, kuten myrskyiltä ja lumikuormilta ja lisäksi maakaapeliverkon laitteet ovat hyvin koteloituja, jolloin eläimetkään eivät pääse häiritsemään sähkönjakelua. Sen sijaan kaapeliverkko voi vaurioitua esimerkiksi huolimattoman asennustavan, kaivutöiden tai kivisen ja routivan maan vaikutuksesta. (Kihl & Mononen 2017, 16 - 19.)

Maakaapeliverkon vianselvitys on paljon vaikeampaa kuin ilmajohtoverkossa, sillä kaapelit ovat piilossa maan alla eikä niitä voida suoraan nähdä. Vikaantunut yhteysväli löydetään yleensä perinteisillä vianrajausmenetelmillä, mutta vikakohdan paikantamiseen tarvitaan erikoislaitteita, kuten syöksyaaltogeneraattoria, jotta ei tarvitse kaivaa koko johto-osuutta auki. (Kihl & Mononen 2017, 19 - 20.) Kaapelivian korjaus kestää tämän vuoksi merkittävästi ilmajohtovikaa kauemmin ja sitoo enemmän resursseja, sillä syöksyaaltogeneraattoria ja kaivinkonetta tarvitaan kaapelivikojen korjauksessa lähes aina. Syöksyaaltogeneraattori on laite, joka lähettää voimakkaan jännitepulssin kaapeliin ja sen heijastuessa takaisin kaapelin epäjatkuvuuskohdasta laskee syöksyaaltogeneraattorin prosessori impedanssiedon perusteella vikapaikan etäisyyden.

Yksi maakaapeliverkon ominaispiirre on suuri maasulkuvirta: metriä kohden maasulkuvirta voi kaapelilla olla monikymmenkertainen verrattuna avojohtoverkkoon, riippuen vertailtavien johtojen tyypeistä ja poikkipinta-aloista. (Satakunnan ammattikorkeakoulu. Luentomuistiinpanot. Maasulku, 7 - 9) Tämä johtuu kaapelin suuresta ominaiskapasitans-

sista: korkeajännitekaapelin rakenteessa on vuorotellen eristäviä ja ainakin osittain johtavia kerroksia, joten pitkä kaapeliyhteys on kuin jättimäinen kondensaattori. Maakaapeliverkon maasulkuutilanteessa syntyvä vikavirta on maasulun kompensoinnista johtuen vielä luonteeltaan katkeilevaa, suuriamplitudista sekä normaalista verkkotaajuudesta poikkeavaa, joten perinteiset vianpaikannusmenetelmät eivät tätä pysty luotettavasti havaitsemaan. (ABB Oy 2017, 1.) Maasulkuutilanteessa siis tämä kaapelimetrien muodostama kondensaattori purkaa varauksensa maan läpi verkon tähtipisteeseen, jonka jälkeen se latautuu uudelleen noin parin jakson ajan purkautuakseen taas. Vika ei siis näy verkonvalvontalaitteille pysyvänä vikana, vaan hyvin nopeina, noin parin-kolmen jakson välein esiintyvinä terävinä, suuriamplitudisina ja -taajuisina kapasitiivisen virran purkauksina, sillä kompensointi reagoi maasulkuvirtaan ja pyrkii sammuttamaan sen. Perinteiset vikaindikoitimenetelmät eivät toisaalta välttämättä ehdi edes havahtua tällaiseen katkeilevaan vikavirtaan.

Kaapeliverkon maasulkuvika voi olla toisaalta hyvin suuriohminen, koska Suomalainen maaperä on heikosti sähköä johtavaa ja vikapaikan maakontakti voi olla huono. Tämä entisestään korostaa maasulun vikavirran katkeilevaa luonnetta, jolloin vikavirtapiikkien taajuus on vielä epäsäännöllisempi. Perinteisen vikaindikoinnin herkkyyys reagoida jo avojohtoverkon suuriohmiin vikoihin, kuten suuren puun osumiseen yhteen vaihejohtimeen, on riittämätön, joten kaapeliverkon tullessa mukaan yhtälö on kestävä ja tarvitaan uusia vikaindikoinnin menetelmiä. (ABB Oy 2017, 3.)

Yhteenvetona voidaan todeta, että verkostoautomaatio yhdessä tehokkaan vikaindikoinnin kanssa on kustannustehokas tapa havaita ja korjata sähköverkon vikoja sähkömarkkinain asettamissa rajoissa ja näin välttää laajoja asiakaskeskeytyksiä ja keskeytysten aiheuttamia haittamaksuja, jotka koituvat verkkoyhtiön maksettaviksi. Kaapelointiasteen kasvaessa suurhäiriötilanteet, laajat sähkökatkokset, eivät enää ole niin sääriippuvaisia ja tulevat tulevaisuudessa vähenemään radikaalisti. Toisaalta verkon käytössä, suunnittelussa ja rakentamisessa pitää ottaa huomioon uusia, uuden tyyppisen verkon rakenteen mukanaan tuomia asioita. Verkon käyttötoiminnotkin tulevat muuttumaan, jos älyä aletaan hajauttaa verkkoon muuntamotasolle eikä enää tyydytä pelkästään sähköasemille ja verkkoyhtiön valvomoon keskitettyyn älyyn. Joka tapauksessa verkon automaatioasteen kasvaessa verkosta tulevan mittaustiedon määrä moninkertaistuu ja näin mittaustiedon validiteetti korostuu, jottei se johda tulkitsijoitaan harhaan. (ABB Oy 2017, 1 - 2.) Tätä tietoa voidaan toisaalta käyttää hyödyksi myös muussa kuin viankorjauksessa: verkon

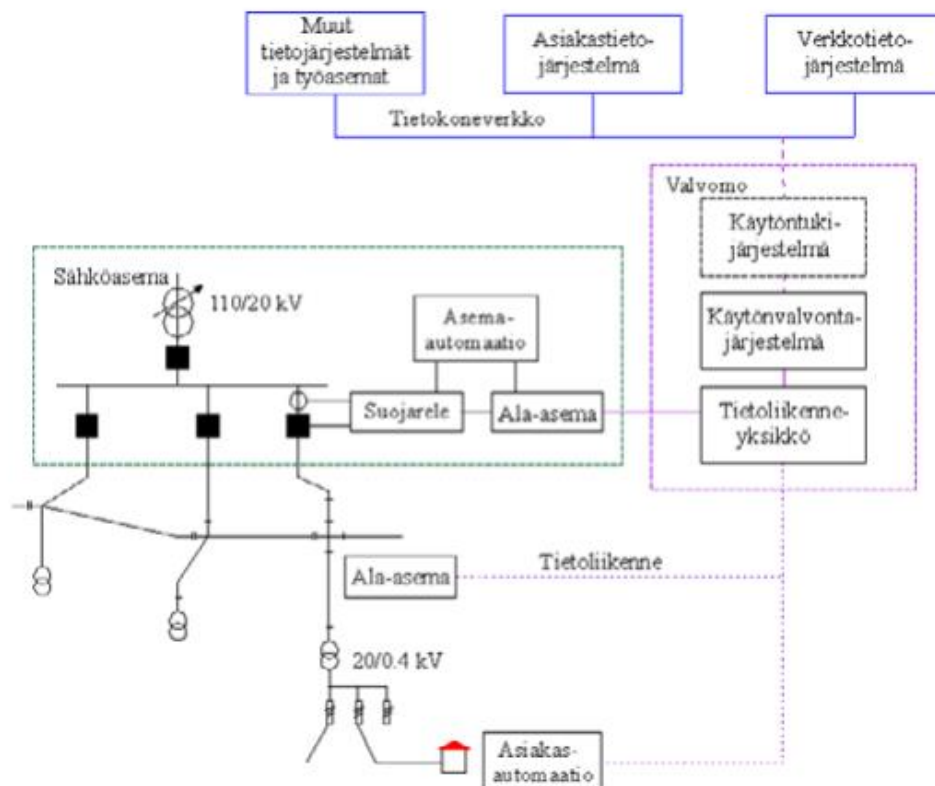


valvonta tuottaa arvokasta tietoa esimerkiksi kunnossapidon tarpeisiin, jossa tietoa voidaan käyttää esimerkiksi huolto-ohjelmaa suunniteltaessa, tai omaisuuden hallinnan tueksi, jossa tiedon perusteella voidaan arvioida verkkoon tehtävien investointien kannattavuutta, tarpeellisuutta tai investoinnin oikeaa ajoitusta. Verkon valvonnalla saadusta tiedosta hyötyvät siis monet tahot.

### 3 VERKOSTOAUTOMAATIO

#### 3.1 Verkostoautomaation taustaa

Suomessa verkostoautomaatio alkoi kehittyä 1970 -luvulla kaukokäyttöjärjestelmien yleistyessä ja on nykyisin merkittävä verkkoyhtiön henkilökunnan tuki. (Korpinen 1998b, 1) Verkostoautomaatio koostuu tietojärjestelmistä, viestiyhteyksistä sekä verkossa olevista toimi- ja mittalaitteista, joita voidaan ohjata ja joiden tietoja voidaan lukea verkko-yhtiön valvomosta käsin. Yleisin esimerkki verkostoautomaatiosta on kauko-ohjattava erotin; tällaisen hyödyt esimerkiksi keskeytysaikojen lyhentämiseen ovat kiistattomat tilanteissa, jossa käsikäyttöinen erotin on huonojen yhteyksien päästä tai muuten kaukana työ- tai vikapaikasta. (Korpinen 1998b, 2-4.) Kuviossa 1 on esitetty verkostoautomaation periaatekaavio ja tärkeimpien järjestelmien suhteet. Vaikka kuvio on jo vanha, on se silti käyttökelpoinen nykyäänkin vastaten riittävällä tarkkuudella järjestelmien periaatteellista rakennetta.



KUVIO 1. Verkostoautomaation periaatekaavio. (Korpinen 1998b, 2.)

Verkon käytönvalvontajärjestelmä (KVJ) syntyi kaukokäyttö- ja tietotekniikan kehittyessä mahdollistamaan verkkokomponenttien kauko-ohjauksen ja etäluettavan mittauksen. KVJ tuo mittaustietoja verkosta, suorittaa laskentoja, tallentaa verkon tilatietoja ja hälytyksiä sekä välittää ohjauksikäskyt kauko-ohjattaville laitteille. Tähän järjestelmään kuuluvat kuviossa 1 esitetyt asema-automaation ala-asema, viestiyhteydet sekä valvomon keskusasema, johon käytöntukijärjestelmä on tallennettu. (Korpinen 1998b, 2 - 3.) Käytöntukijärjestelmä (KTJ) toimii käytöstä vastaavien henkilöiden tukena tarjoten ajantasaisia tietoja verkon kytkentätilasta ja sitä käytetään mm. suunniteltaessa sähköverkon kytkentöjä esimerkiksi verkonrakennustöitä tai viankorjausta varten. (Korpinen 1998b, 3) Ajantasaisia kuormitustietoja puhtaasta käytöntukijärjestelmästä, Esim. ABB: DMS600, ei saada, vaan niitä pitää tarkastella käytönvalvontajärjestelmästä. Nykyään markkinoilla on myös ratkaisuja, joissa KVJ:n ja KTJ:n toimintoja on integroitu yhteen järjestelmään, esim. Schneiderin ADMS. (Caruna Oy 2017.)

Kuten kappaleessa 2.4 todettiin, on verkostoautomaatiossa suuntauksena hajauttaa älyä kentälle ja näin pyrkiä pois keskitetystä ratkaisusta, jossa äly keskittyy valvomoon ja sähköasemille. Tämä tarkentaa ja nopeuttaa vianhakua, tuottaa verkkoyhtiölle enemmän tietoa verkon tilasta sekä vähentää automaatiojärjestelmän haavoittuvuutta. On myös mahdollista, että joitain suojaustoimintojen ulkopuolisiakin kytkentätapahtumia voitaisiin tulevaisuudessa tehdä automaattisesti, KVJ:n tietojen perusteella. Tämä edellyttää kuitenkin riittävää automaatioastetta verkossa, jotta kytkentä ylipäättään onnistuu automaattisesti sekä riittävän tarkkoja verkosta saatavia tietoja, jotta optimaalinen kytkentätila saavutetaan.

### **3.2 Verkon valvonta**

Verkon valvonnalla tarkoitetaan verkossa tehtäviä mittauksia sekä mittaustietojen analysointia. Mitattavia ja valvottavia asioita ovat jakeluverkossa mm. jännitteet, virrat ja niiden suunnat, vikavirrat, vianilmaisimien ja etäluettavien kuluttajamittareiden tiedot sekä kytkinten asennot. Verkon valvonnan tietoja käsitellään ja ne esitetään käytönvalvontajärjestelmässä. (Korpinen 1998b, 3, 5 - 6.) Vianilmaisimet ovat laitteita, jotka nimensä mukaisesti ilmaisevat vikaantuneen johtovälin ja antavat tästä tiedon käytönvalvontajärjestelmälle. Virran syöttösuunta huomioiden, vianilmaisimet näkevät vain edessään olevat viat, koska vikavirta kulkee syöttöpisteestä vikapaikkaan ja vikavirran on kuljettava

vianilmaisimen läpi, jotta ilmaisin voi sen huomioida. Tämä tulee ottaa huomioon vikailmaisinten paikkoja suunniteltaessa. (Korpinen 1998b, 2 - 3.) Toisaalta nykyaikaiset, etäluettavat sähkömittarit osaavat myös mittarin jännitteen hävitessä kertoa mahdollisista sähkökatkokoksista verkossa, mutta ongelmana tässä on se, että niitä ei aina ole kytketty käytönvalvontajärjestelmään, vaan tiedot on haettava mittarien toiminnasta vastaavasta järjestelmästä, etäluentajärjestelmästä, johon ei välttämättä verkon käytöstä vastaavilla henkilöillä ole pääsyä. Etäluettavat mittarit osaavat yleensä tunnistaa täydellisen sähkökatkoksen lisäksi myös muun muassa nollavian, eli katkenneen paluujohtimen sekä vaihevian, eli osittaisen sähkökatkoksen, joka voi johtua vaikka sulakkeiden osittaisesta palamisesta siten, että yksi tai kaksi sulaketta on jäänyt toimintakuntoon. (Smolander 2017.)

## 4 VIKOJEN HAVAITSEMINEN KAAPELIVERKOSSA

### 4.1 ABB:n ratkaisu, RIO600

ABB RIO600 on ABB:n kesällä 2016 markkinoille tuoma uusi, monitaajuusadmittanssialgoritmiin perustuva vikaindikaattori vastauksena kompensoidun kaapeliverkon maasulkuvian selvityksessä ilmenneisiin ongelmiin. Tässä ratkaisussa ideana on yhdistää edellä mainittu vikaindikointi jakelumuuntamotason automaatioon ja näin mahdollistaa maasulkuvian rajaus verkosta käsin automaattisesti. Järjestelmän monitaajuusadmittanssimittaus perustuu siihen, että se suodattaa ja jakaa mitatun virran käyrämuodon useisiin taajuuskaistoihin analysointia varten. Menetelmällä voidaan havaita hyvin nopeita, eritaajuisia vikavirtapiikkejä, eli vika on mahdollista havaita jopa sen alkuvaiheessa, ennen sen jäämistä pysyväksi, jolloin korjaustoimenpiteet, kuten vikapaikan rajaus ja tarvittavat kytkentämuutokset voidaan aloittaa jo ennen sähkökatkokkien syntymistä. (ABB Oy 2017, 1.) Vikaa voidaan alkaa siis korjata ennen kuin se on kunnolla edes syntynyt!

ABB RIO600 perustuu alun perin lähinnä tärkeille sähköasemille tarkoitettuun toiminnallisuuteen, joka on nyt tuotu jakelumuuntamotasolla hyödynnettävään muotoon. Sähköasematasolta menetelmän toimivuudesta on useisiin kenttäkokeisiin ja satoihin erilaisilla vikatyypeillä tehtyihin yksittäiskokeisiin perustuvaa näyttöä useiden vuosien ajalta. Tähän näyttöön perustuen, valvomon henkilökunta voi luottaa sen antamaan tietoon vian tyypistä ja suunnasta. Tarkkaa vikapaikkaa RIO600 ei kuitenkaan tällä hetkellä pysty määrittämään, sillä vikapaikan tarkka määrittäminen vaatii vielä laskentamenetelmien kehittämistä sekä jakelumuuntamotason mittaustarvikkeiden suorituskyvyn ja mittaustarkkuuden parantumista. Kehitystyön tuloksena pystytään aikanaan hankkimaan entistä laajempaa tietoa muuntamotasolta, jolloin verkon komponenttien tilaa voidaan valvoa entistä tarkemmin ja esimerkiksi ajoittaa kunnossapitotoimia näiden tietojen perusteella. (ABB Oy 2017, 2 - 3.)

RIO600 Koostuu muuntamon tai kytkinlaitoksen KJ -kojeistoon, kaapelien päätteisiin asennettavista sensoreista, RIO600 tulo/lähtömoduulista sekä etävalvonta- ja ohjauslaitteesta REC615, jossa on integroidut kaukokäyttötoiminnot ja KJ -verkon sähkön laadun mittaus. Ohjelmistopuolella RIO600 ei tarvitse monimutkaisia, asiantuntijatasoa vaativia ja verkon rakenteen mukaan muuttuvia suojausasetteluiden määrittelyjä, vaan

tarvittavien määrittelyiden määrä on pyritty pitämään minimissä käytön helpottamiseksi. Tämän lisäksi asetteluarvot ovat skaalautuvia ja samat asetelut ovat valideja kytkentätilanteesta tai kaapelointiasteesta riippumatta ja RIO600 toimii näin ollen verkon rakenteesta ja muodosta riippumatta aina oikein. (ABB Oy 2017, 2.)

#### 4.1.1 Case Sundom

ABB RIO600 -vikaindikaattori on ollut pilottikäytössä ja kenttäkokeissa Vaasan Sundomin Smart Grid -hankkeessa, jossa ovat mukana olleet ABB, Vaasan yliopisto, Anvia sekä Vaasan Sähkö -konserni. Hankkeen tarkoituksena oli tutkia sähkönjakelun luotettavuuden lisäämistä automaattioratkaisuilla ja tätä tutkittiin sähköaseman, neljän älykkään jakelumuuntamon sekä verkkokatkaisijan muodostamalla verkkokokonaisuudella. Hankkeen älykkäissä jakelumuuntamoissa on kaukokäytön lisäksi myös vianindikointi ja -raportointi, sähkön laadun mittaus sekä muuntajan lämpötilan valvonta. Sundomin Smart Grid -hanke alkoi vuonna 2014 ja on nyt jo päättynyt, mutta alueen järjestelmät toimivat edelleen ”elävänä laboratoriona” tuottaen vieläkin tietoa ABB:n ja Vaasan yliopiston tutkimuksia varten. (ABB Oy 2016.)

Sundomin alueen verkko on sekaverkkoa, eli se sisältää sekä kaapeli- että ilmajohtosuuksia ja vastaa siten rakenteeltaan Suomalaisen haja-asutusalueen tyypillistä sähköverkkoa. Tällainen ympäristö sopi RIO600:n kenttäkokeisiin erittäin hyvin siksi, että sekaverkkoympäristössä päästiin hankkeen aikana tutkimaan sekä kaapeli- että ilmajohtoverkon vikoja ja niiden havaitsemista, toisin sanoen uuden vikaindikaattorin toiminnollisuuksien skaalaa. RIO600:n toimintaa testattiin koeohjelmalla, jossa ”vikakärryn” avulla simuloitiin noin 60 erilaista vikatilannetta. (ABB Oy 2017, 4.) Vikakärry on laite, joka kytketään sähköverkkoon ja jonka avulla saadaan kärryn sisäisiä kytkentöjä muuttamalla toteutettua erilaisia referenssivikoja esimerkiksi lisäämällä tutkittavaan virtapiiriin eri suuruisia ja eri tavoin käyttäytyviä kuormia. Koeohjelman viat vaihtelivat pieni-impedanssisesta suorasta maasulusta (avojohto maassa) suuri-impedanssiin maasulkutilanteisiin (puu linjalla) sekä kompensoidun kaapeliverkon eri asteisiin katkeileviin maasulkuihin. (Wahlroos 2017)

Kenttäkokeissa havaittiin, että RIO600 antoi oikean vikaindikaation ja vian suunnan jokaisessa testatussa vikatapauksessa. Järjestelmän todettiin olevan huomattavasti perinteisiä vikaindikaattoreita tehokkaampi ja tarkempi sekaverkkoympäristössä, koska se havaitsee vikoja laajalla skaalalla, kaapeliverkon vikoja unohtamatta. RIO600:n todettiin tuoneen aiemmin vain primäärisähköasemille saatavilla olevat toiminnallisuudet jakelumuuntamotasolle. (ABB Oy 2016.)

Anvia toteutti hankkeen vaatiman tietoliikenne-ratkaisun verkon reaaliaikaista valvontaa varten. Tietoa havaittiin tulevan valtava määrä, 100 Mbit/s, mikä selittyy tarkalla ja monipuolisella mittaroinnilla. Hankkeen tarkoituksena oli tutkia automaattoratkaisujen vaikutusta sähkönjakelun luotettavuuteen ja tässä havaittiin, että automaatioasteen nosto lisäsi sähköverkon luotettavuutta kaapelointiin verrattavalla tavalla. Todettiin, että sekaverkkoympäristössä ei välttämättä ole kannattavaa tavoitella suurta kaapelointiastetta, vaan avojohtoverkon varustaminen suorituskykyisellä vianindikoinnilla sekä älykkäällä automaatiolla on myös varteenotettava ratkaisu. (ABB Oy 2016.)

#### **4.1.2 Case Sundomin pohdintaa**

Edellä mainittuun perustuen, verkkoyhtiön kannalta verkostoautomaation ja tehokkaan vianilmaisun yhdistelmä on toinen varteenotettava ratkaisu sähkönjakelun toimitusvarmuuden parantamiseksi kaapeloinnin lisäksi. Verkkoyhtiöt alkavatkin varmasti jatkossa hyödyntää enemmän tässä casessa esitellyn tyyppisiä ratkaisuja, kunhan vain suurin ”kaapelointivimma” on mennyt ohi. Mikäli automaattoratkaisut saavat jalansijaa verkkoyhtiöissä, voidaan saneerauskohteita toteuttaa entistä kustannustehokkaammin: kaapelilla ei tarvitse kiertää kivikkoisia alueita eikä pelloilla kulkevia ilmajohtoja toisaalta tarvitse kaapeloida ollenkaan, kun vanhat ilmalinjat voidaan varustaa älyllä. Kustannuksia vertailemalla löydetään teknillis-taloudellisesti optimaalisin ratkaisu.

Paras ratkaisu isossa mittakaavassa lienee kaapeloida ne paikat, jotka ovat helposti kaapeloitavissa ja joissa kaapelointi on perusteltua esimerkiksi maisemallisista tai alueen käytöstä johtuvista syistä, ja hyödyntää automaatiota jäljelle jäävissä, sopivissa paikoissa olevissa ilmalinjoissa. Verkostoautomaattoratkaisujen täysimittainen hyödyntäminen ei toisaalta onnistu tähtimäisessä verkossa, vaan siihen vaaditaan varasyöttöyhteyksiä eli rengasverkkoa.

## 4.2 Netcontrol

Netcontrol tarjoaa jakeluverkkoautomaatioon mm. moottoriohjain- ja tietoliikenne- ratkaisuja kaukokäyttökohteisiin, mutta muuntamotason verkonvalvontaan tämän toimittajan valikoimasta löytyy kaksi tuotetta, Netcon 100 ja Radius NMS 100. Molemmat tuotteet ovat hyvin kompakteja kokonaisratkaisuja sisältäen vikaindikoinnin sekä kaukokäyttöön tarvittavan hardware -laitteiston, kuten moottoriohjaimen ja tietoliikennevalmiuden. Lisäksi molempia ratkaisuja on ainakin osittain mahdollista räätälöidä ja laajentaa vastamaan asennuskohteen kohdekohtaisia vaatimuksia. (Netcontrol Oy.)

### 4.2.1 Netcon 100

Netcon 100 on kompakti, täysin modulaarinen kokonaisuus, joka mahdollistaa muuntamon etähallinnan ja -valvonnan. Ratkaisuun sisältyy myös vikaindikointi ja erillisellä lissenssillä on mahdollisuus saada johtolähtötason suojausominaisuudet käyttöön. Netcon 100 yhdistää siis kaukokäyttöratkaisun, verkon valvonnan, vianindikoinnin ja suojarelisyksen. Netcon 100:n monipuoliset rajapinnat mahdollistavat sen asentamisen monien eri järjestelmien yhteyteen. Netcon 100:aa voidaan hyödyntää myös muuntamon toisiopuolen valvontaan keskijänniteverkon valvonnan lisäksi. (Netcontrol Oy.) Kuvassa 6 on esitetty Netcon 100:n paikalliskäyttöliittymä, jonka avulla voidaan tarkastella järjestelmän ja verkon tietoja, tilaa sekä tehdä ohjauksia Netcon 100:aan kytkettyyn järjestelmään. Paneelin yhteydessä on myös 10 ohjelmoitavaa ilmoitusledyä, joilla voidaan antaa visuaalisia signaaleja halutuista asioista, esimerkiksi järjestelmän toiminnasta ja tilasta. (Netcontrol Oy.)





KUVA 6. NETCON 100 -paikallisohjauskeskus. (Netcontrol Oy)

#### 4.2.2 Rakenne

Netcon 100:n jakelumuuntamolle asennettava asennuskehikko sisältää aina pääprosessoriyksikön (GW102) sekä akkuvarmennusmahdollisuudella varustetun virtalähdetyksikön (PS152). Näiden lisäksi kehikossa on joko kaksi tai neljä vapaata korttipaikkaa halutuille toiminnollisuuksille. Valittavia toiminnollisuuksia ovat edellä mainitut etäohjausyksikkö (RCM130, neljälle kuormakytkimelle), vikojen ilmaisuyksikkö (FDM112), Pienjänniteverkon valvontayksikkö (LVM111) sekä paikalliskäyttöpaneeli (HMI 127, kuvassa 6). Järjestelmässä on mahdollisuus akkuvarmennuksen käyttöön, mutta akkuja siinä ei ole mukana. (Netcontrol Oy.)

Vianilmaisuyksikössä on virta- ja jänniteantureille 12 analogiatuloa sekä lisenssillä saatavassa suojaustoiminnossa neljä ylivirta- ja kaksi maasulkuporrasta kullekin johtolähdölle, mahdollista on suojata maksimissaan kolme johtolähtöä. Vianilmaisuyksikkö osoittaa vikatilanteessa vian suunnan ja laskee vikareaktanssin vian tyypin ja etäisyyden määrittämiseksi sekä tallentaa havaitsemansa sähkönjakelun häiriöt. Kytkeätilanteen muuttuessa voidaan suojaus- ja vianindikointiparametreja vastaavasti muuttaa etäyhteyden välityksellä, jotta järjestelmä toimisi oikein. (Netcontrol Oy.)

Pienjänniteverkon valvontayksikkö suorittaa sähkön laadun sekä jännitteiden ja virtojen mittaukset. Järjestelmässä on myös vianilmaisuus pienjänniteverkon vioille sekä lämpötilanmittaustoiminto enintään neljälle muuntajalle. Lämpötilanmittauksessa on myös ohjauslähtö muuntamon puhaltimelle. (Netcontrol Oy.)

### **4.2.3 Vianilmaisuus**

Vianilmaisimen kerrottiin Netcontrolin internetsivujen mukaan toimivan hyvin samalla tavalla kuin suojareleet, eli järjestelmä havahtuu ylivirrasta (oikosulku) tai loistehosta (maasulku). Tehon virtaussuunnan perusteella järjestelmä osaa määrittää vian suunnan ja vikareaktanssin laskemalla vikapaikan. (Netcontrol Oy.) Vikapaikan määrittämisen tarkkuudesta ei ollut saatavilla tietoa. Suojaustoiminnot on mahdollista saada käyttöön erillisellä lisenssillä, joten erillistä releistystä ei tätä järjestelmää käytettäessä tarvita, vaan se on järjestelmässä sisäänrakennettuna ja haluttaessa käyttöön otettavissa.

Aiemmin todettuun perustuen, perinteiset vianpaikannusmenetelmät ovat osoittautuneet epätarkoiksi monissa sekaverkon vikatilanteissa, kuten katkeilevia kaapelimaasulkuja sekä suuriohmisia vikoja, kuten puun kaatumisia linjalle, selvitettyä. Netcon 100:n tarkkuudesta kyseisten vikojen paikannukseen ei löytynyt näyttöä.

### **4.2.4 Radius NMS 100**

Netcon 100:n lisäksi Netcontrolin keskijänniteverkon muuntamotason valvontaratkaisuihin kuuluu Radius NMS 100 -laite. Radius NMS 100 sisältää pitkälti samoja toiminnollisuuksia kuin Netcon 100, joten keskitytään tässä käsittelemään järjestelmien eroja.

NMS 100 on rakennettu kuvan 7 mukaiseen metalliseen koteloon ja siinä on vakiona, modulaarisuuden kustannuksella, enemmän ominaisuuksia kuin Netcon 100:ssa. NMS 100:n vakio-ominaisuuksiin kuuluu akkuvarmennus (Netcon 100:ssa valmius), paikalliskäyttö- ja infopaneeli, valmius kolmen kytkimen ohjaamiseen sekä käyttäjän konfiguroitavissa oleva jälleenkytkentäautomaatiikka (taukoerotin). NMS 100 hallitsee myös kuormien ohjaamisen siten, että jännitteen hävitessä syöttävästä keskijänniteverkosta osaa NMS 100 automaattisesti kytkeä syötön toisesta keskijännitelähdöstä, mikäli tällainen on

järjestelmään kytkettynä samalla ensin testaten, ettei uudessa syöttösuunnassa ole vikoja ja näin välttää ylimääräiset jälleenkytkennät. Toisin kuin Netcon 100:ssa, voidaan NMS 100 -yksiköitä kytkeä sarjaan enintään kolme kappaletta ja näin laajentaa järjestelmän kapasiteettia maksimissaan yhdeksään johtolähtöön ja ohjattavaan kytkimeen, joka on varmasti riittävä määrä lähes kaikissa tilanteissa. (Netcontrol Oy.)



KUVA 7. NMS 100:n metallikotelo. (Netcontrol Oy)

Vakiona olevan jälleenkytkentätoiminnon lisäksi NMS 100:aan saa optiona integroitua vikavirtailmaisimet ylivirrälle ja maasululle, mutta näiden tarkkuudesta tai toiminnan oikeellisuudesta sekaverkon vikatilanteissa ei löytynyt tietoa. NMS 100:sta puuttuu myös mahdollisuus tarkkailla sähkön laatua eikä siinä ole luettavia mittausominaisuuksia. (Netcontrol Oy.) NMS 100 on tämän perusteella tyypiltään enemmän vikaindikaatiolla varustettu verkostoautomaation ohjauslaite kuin varsinainen verkonvalvontalaite.

### 4.3 Landis +Gyr, PowerSense -ratkaisu

Landis +Gyr on Toshiba jakeluverkkoratkaisujen Suomen maahantuojaja ja Toshiba itsenäinen tytäryhtiö, jonka juuret ovat energian hallinnan ja mittaroinnin alalla ja joka nykyään on markkinoiden johtava sähkön mittauksen ja etäluettavien mittausratkaisujen toimittaja. Landis +Gyr on laajentanut palveluitaan muuntamotason valvonnan pariin vuonna 2014 tapahtuneen yrityskaupan myötä, jossa Landis +Gyr osti tanskalaisen Po-

werSense -yrityksen. Yrityskaupan myötä Landis +Gyr sai valikoimiinsa mm. maailmanlaajuisesti tunnetun, optiseen sensoriteknologiaan perustuvan jakelumuuntamotason valvontaratkaisun, joka on tuotu markkinoille jo vuonna 2006. Landis +Gyrin maahan tuoman Toshiba suojausratkaisut rajoittuvat lähinnä perinteiseen suojaletekniikkaan ja tuotteet on tarkoitettu sähköasemaympäristöön, eivät niinkään jakelumuuntamotason valvontaan ja vianpaikannuksen, joten ne eivät ole kiinnostavia tämän työn tarkoitusta silmällä pitäen. (Landis +Gyr Oy 2017a; Landis +Gyr Oy 2017b; Toshiba Co.)

PowerSense -järjestelmä perustuu kaapeleihin, kojeistoihin ja muuntamoihin asennettaviin optisiin sensoreihin, jotka välittävät tietoa käytönvalvontajärjestelmään yhteydessä olevaan valvonta- ja ohjausyksikköön. Järjestelmä soveltuu keski- ja pienjänniteverkon valvontaan ja siihen voidaan kytkeä verkossa valmiiksi olevat mittalaitteet. PowerSense -järjestelmän ensisijainen tarkoitus on helpottaa verkkoinfrastruktuurin hallintaa sekä olemassa olevan verkon digitalisointia, mutta sillä saadaan tietoa myös kunnossapidon ja viankorjauksen tarpeisiin. Kuviossa 2 on esitetty järjestelmän periaatekaavio. (Landis +Gyr Oy 2017b.)



KUVIO 2. PowerSense-järjestelmä. (Landis +Gyr Oy 2017b)

Kuten kuviossa 2 näkyy, järjestelmän liitettävyyden on hyvin monipuolinen ja sen suunnittelun lähtökohdaksi onkin ollut mahdollisimman helppo asennettavuus olemassa oleviin verkkokohteisiin sekä yhteensopivuus verkkoyhtiöiden erilaisiin järjestelmiin. Aiemmin

mainitut optiset sensorit lähettävät tietoa verkkoyhtiön järjestelmiin kytkettyyn S760 -keskusuksikköön ja kerättävän tiedon määrää voidaan laajentaa kytkemällä ulkoisia vi-anvalvonta- ja mittalaitteita järjestelmään. S650 on PowerSense -tuoteperheeseen kuuluva sähkön laadun analysaattori jakeluverkon pienjännitepuolelle sekä katuvalosovel-luksiin. Se kerää tietoa sähkön laadusta mittamuuntajien avulla. PowerSense mahdollistaa myös kauko-ohjattavien laitteiden ohjaamisen, mikäli ne liitetään järjestelmään. Ohjatta-vien laitteiden enimmäismäärästä ei ollut saatavilla tietoa. Järjestelmä tukee etäyhteyden avulla tapahtuvaa ohjelmiston päivitystä ja konfigurointia. (Landis +Gyr Oy 2017b.)

#### **4.3.1 Vianilmaisu**

PowerSense -järjestelmän kerrottiin tunnistavan keskijännitepuolella suunnatut ja suun-taamattomat maa- ja oikosulkuviat sekä vaiheviat (avoin vaihe) ja osaavan uudelleenrei-tittää sähkönsyötön ensisijaisen syöttösuunnan vikaantuessa. Vikojen havaitsemiseen ja syöttösuuntien ohjaamiseen järjestelmä käyttää suoja-reileitä saatavaa tietoa, joten relei-den tarkkuus ja asetteluarvot vaikuttavat PowerSensen vianhallinnan tarkkuuteen. (Lan-dis +Gyr Oy 2017b.)

Järjestelmän kyvyistä ja tarkkuudesta havaita vikoja, kaapeliverkon katkeileva maasulku mukaan luettuna, ei löytynyt tietoa. PowerSensen vianilmaisu on toisaalta hyvin riippu-vainen järjestelmän toimitukseen kuulumattomista, siihen kytketyistä laitteista, joten so-pivilla antureilla sen vianilmaisukykyä voisi olla mahdollista kehittää hyvinkin tarkaksi, mutta käytännön näyttöä tällaisesta ei löytynyt.

#### **4.3.2 Yhteenveto**

Landis +Gyrin PowerSense tuo lisäarvoa tarjoamalla konenäkösovelluksen jakeluverkon valvontaan, mutta sen hyödynnettävyydestä tai sovelluskohteista, saati tarkkuudesta ei ollut saatavilla tietoa tai näyttöjä. PowerSense tarjoaa siihen kytketyistä antureista riip-puen tietoa muun muassa kunnonvalvonnan tueksi laajalla skaalalla: saatavilla on lämpö-tila-, kuormitus- ja symmetriatietoja sekä riittävät tiedot sähkön laatuun liittyen. Ko-nenäöllä on varmasti myös sovelluskohteita kunnonvalvonnassa, mutta niitä laitteen val-

mistaja ei tuonut esiin. Järjestelmä mahdollistaa myös vikaindikoinnin ja kauko-ohjattavien kohteiden ohjaamisen, mutta liitettävien kytkimien maksimimäärästä ei ollut saatavilla tietoa.

Jotta PowerSensestä saataisiin kaikki hyöty irti, vaatii se optisten tulojen lisäksi myös mittamuuntajilta saatavaa tietoa, sillä sähköiset suureet, kuten jännite tai virta eivät ole visuaalisia ilmiöitä. PowerSense vaikuttaa olevan enemmän kunnonvalvonnan ja omaisuudenhallinnan työkalu kuin tässä työssä tarkoitettu vianpaikannuslaite. Sen valtteja ovat konenäön hyödyntämismahdollisuus sekä laaja yhteensopivuus, muokattavuus sekä etäyhteyden avulla tapahtuva ohjelmistopuolen päivitys ja konfigurointi. Toisaalta, toimivan kunnonvalvonnan avulla voidaan useita, laitteiston ikääntymiseen ja raskaaseen käyttöön tai väärin asennustapoihin liittyviä vikoja ennaltaehkäistä.

#### **4.4 Prysmianin Pry-Cam**

Maailman johtavana kaapelivalmistajana tunnetun Prysmianin kehittämä Pry-Cam on laite, jota voidaan hyödyntää kunnonvalvonnan ja vikojen ennaltaehkäisyn sovelluksissa. Pry-Cam perustuu osittaispurkausten havaitsemiseen energiaverkossa ja siitä on saatavana kaksi versiota: kiinteästi asennettava Pry-Cam Grids sekä siirrettävä Pry-Cam Portable. (Prysmian Oy 2016.)

Osittaispurkaus on korkeilla jännitteillä esiintyvä, ei-toivottu sähköpurkaus, joka tapahtuu sähkölaitteen, kuten kaapelin, muuntajan tai kaapelipäätteen ei-johtavassa osassa, eristeessä. Osittaispurkauksia voi tapahtua joko eristeen sisällä tai ilmassa, eristeen pinnalla. Eristeen pinnalla tapahtuvista osittaispurkauksista tutuin esimerkki on kostealla kehillä voimalinjan läheisyydessä kuuluva ”sirinä”. Eristemateriaalin sisällä tapahtuvia osittaispurkauksia syntyy, jos eristemateriaaliin on jäänyt esimerkiksi ilmakuplia kaapelin materiaali- tai valmistusvian tai huolimattomasti tehdyn kaapelijatkoksen tai -päätteen takia. Ilmakuplien takia eristeen rakenne on niin epätasainen, ettei sähkökenttä jakaudu tasaisesti siellä, vaan muodostaa jännitteitä ilmakuplan eri puolille, joka sitten tarpeeksi suuriksi noustessaan purkautuvat ja aiheuttavat läpilyönnin materiaalin sisällä. Tällaiset läpilyönnit, osittaispurkaukset, heikentävät kohteen rakennetta entisestään ja ääritapauksessa johtavat kohteen räjähtämiseen. (Lehtio & Nieminen 2012.)

#### 4.4.1 Pry-Cam Grids

Pry-Cam Grids on pidempiaikaiseen valvontaan tarkoitettu, kiinteästi asennettava laite, joka valvoo kaapeleiden, kaapelivarusteiden, moottoreiden, generaattoreiden ja muuntajien kuntoa toimien keski- ja suurjännitealueella vaihto- ja tasasähköjärjestelmissä. Järjestelmä kerää tietoa valvottavista kohteista lämpötila- ja PD -antureilla (PD = Partial Discharge, osittaispurkaus) ja tarjoaa ne internetkäyttöliittymän kautta analysoitaviksi. Järjestelmässä on langaton tiedonsiirto eikä se häiritse mitattavan laitteen toimintaa, joten mitta-anturien asennus voidaan tehdä prosessia keskeyttämättä ja näin valvoa sähköjärjestelmän kuntoa ja toimintaa sen normaalissa käyttötilanteessa ilman keskeytyksiä. Kuvassa 8 on esitetty kaapeliin asennettava, osittaispurkauksia mittaava anturi ja Kuvassa 9 on järjestelmän keskusyksikkö, joka kerää mittaustulokset antureilta, analysoi ne ja tallentaa sisäiselle SSD -kovalevylle. Poikkeavista mittauservoista järjestelmä antaa hälytyksen langattoman verkon välityksellä haluttuun valvontajärjestelmään. Pry-Cam soveltuu myös pyörivien sähkökoneiden kunnonvalvontaan ja näitä varten on optimoitu oma tuote, Pry-Cam Drives. (Prysmian Oy 2016.)



KUVA 8. Pry-Cam Wings -anturi osittaispurkauksien mittaamiseen. (Prysmian Oy 2016)



KUVA 9. Pry-Cam Gridin keskusyksikkö. (Prysmian Oy 2016)

#### 4.4.2 Pry-Cam Portable

Pry-Cam Portable on kevyt, kentällä tapahtuviin tarkastusluonteisiin mittauksiin tarkoitettu, osittaispurkauksia havaitseva ”kamera” esimerkiksi kunnossapidon sekä laadunvalvonnan tarpeisiin. Erona Grid -versioon on, että Pry-Cam Portable kulkee esimerkiksi kunnossapidon tarkastuksia tekevän asentajan mukana kentällä ja asentaja voi sen helposti sopivia välineitä käyttäen kiinnittää mitattavaan kohteeseen. Tälläkään ratkaisulla tehtäviä mittauksia varten ei sähkönjakelua tarvitse keskeyttää, vaan se voidaan viedä mitattavan kohteen läheisyyteen esimerkiksi sopivilla jännitetyövälineillä. Kuvassa 10 Pry-Cam Portable on kiinnitetty tekemään mittauksia kaapelista. Mittaus kestää muutamia minuutteja ja tuloksena saadaan analyysi osittaispurkausten luonteesta sekä suositus jatkotoimenpiteistä. Pry-Cam Portable on langaton ja sen pilvipalveluun tallentamia tietoja voidaan tarkastella iPad -käyttöliittymällä. Mittausten yhteydessä on mahdollista tallentaa raporttiin myös kuvia, videota ja tekstiä. (Prysmian Oy 2016.)





KUVA 10. Pry-Cam Portable asennettuna kaapeliin. (Prysmian Oy 2016)

#### 4.4.3 Yhteenveto

Pry-Cam -tuotteet soveltuvat saatujen tietojen perusteella ennakoivaan kunnossapitoon; tätä tukee tieto, että tuotteet pystyvät havaitsemaan verkossa piileviä vikoja ja rakenteellisia heikkouksia jo hyvin varhaisessa vaiheessa. Toinen hyvä käyttökohte järjestelmälle on toimiminen omaisuudenhallinnan sekä verkon optimoinnin tukena, sillä lämpötilamittauksen avulla johdon todellinen kapasiteetti voidaan määrittää tarkasti ja näin välttää turhia investointeja. (Anttonen 2017.) Tässä työssä tarkoitettuja vian havaitsemislaitteita Pry-Camit eivät kuitenkaan ole, sillä niitä ei voida hyödyntää sähköverkossa käytön aikana esiintyvien, nopeasti ilmaantuvien vikojen, kuten maa- ja oikosulkujen havaitsemiseen ollenkaan.

Järjestelmän tarkasta toiminnasta tai osittaispurkauksien havaitsemistavasta ei löytynyt tietoa, mutta sen suorituskyvystä löytyi näyttöä. Prysmianin myyntijohtaja Olli Anttonen kertoi Enertec -lehdessä Prysmianin tehneen järjestelmillä noin kaksi tuhatta erillistä mittausta mm. jakeluverkko-, teollisuus- ja tuulipuistoympäristöissä. Mittauksista saatu tieto on ollut niin hyödyllistä, että tulevien mittausten painopiste on siirtynyt uusista kohteista vanhempiin verkon osiin, jotta näiden osien todellinen kunto ja jäljellä oleva käyttöikä saadaan selvitettyä ja tieto hyödynnettyä tulevia rakennus- ja kunnossapitohankkeita suunniteltaessa. (Anttonen 2017.)

## 5 RATKAISUJEN VERTAILU

### 5.1 Lähtökohdat

Työssä tutustuttiin kuuteen erilaiseen verkon valvontalaitteeseen, joissa oli ominaisuuksia laajalla skaalalla: osa oli puhtaita kunnonvalvonnan työkaluja, kun taas osa oli tehokkaita, nykyajan sähköverkkoon sopivia vikaindikaattoreita. Järjestelmistä hankittiin tietoa valmistajien kotisivuilta sekä alan ammattijulkaisuista ja tietoa löytyi järjestelmistä riippuen vaihteleva määrä, mutta tarkkoja teknisiä yksityiskohtia tai toimintaperiaatteita ei ollut saatavilla mistään järjestelmästä. Myöskään tietoa tai näyttöä järjestelmän asennuksen helppoudesta tai vaikeudesta, tai järjestelmän vianpaikannuksen suorituskyvystä ei ollut monenkaan tutkitun järjestelmän osalta saatavilla.

Järjestelmien vertailun tueksi laadittiin Excelillä jakeluverkon valvontaratkaisujen vertailutaulukko, jossa järjestelmät on pisteytetty saatavilla olevan tiedon mukaan tärkeiksi katsottujen ominaisuuksien perusteella. Vertailu on laajennettu kattamaan koko järjestelmäkokonaisuuden, vaikka selvityksessä olleista järjestelmistä ABB:n RIO600 viittaakin verkostoautomaatiojärjestelmän lisäosaan, jolla voidaan laajentaa järjestelmä havaitsemaan katkeilevia maasulkuvikoja. Tämän työn yhteydessä laadittu vertailutaulukko on raportin liitteissä, liitteenä 1.

### 5.2 Vertailun tulokset

Vertailuun otettiin mukaan järjestelmiä, joiden sanottiin soveltuvan keskijännitteiseen kaapeliverkkoympäristöön, puhtaita ilmajohtoratkaisuja tai pienjännitelaitteita ei otettu huomioon. Muita yhteisiä ominaisuuksia olivat myös hyvä liitettävyyys rajapintojen puolesta erilaisiin järjestelmiin, joten se ei karsi mitään ratkaisua pois toteutusratkaisua valittaessa. Kaikki järjestelmät olivat myös ainakin osittain laajennettavissa ja osa jopa hyvinkin modulaarisia, kuten Netcon 100 ja PowerSense. Minkään järjestelmän ei kerrottu olevan sopimaton retrofit -kohteisiin ja PryCameja sekä RIO600 -lisäosaa lukuun ottamatta niissä voitiin hyödyntää olemassa olevilta mittalaitteilta saatavia tulossignaaleja. Tämä siksi, että Pry-Camit sekä RIO600 -lisäosa perustuvat itse tuottamaansa tietoon,

toisaalta RIO600 -järjestelmäkokonaisuus osaa hyödyntää myös muilta mittalaitteilta saatavia tietoja. Lämpötilamittauksia pystyivät tekemään kaikki järjestelmät NMS 100:aa ja Pry-Cam Portablea lukuun ottamatta.

Järjestelmien havaittiin niitä tutkittaessa jakautuvan perusmuodossaan vikaindikaattoreihin (RIO600), verkostoautomaation ohjauslaitteisiin (Netcontrolin molemmat tuotteet) ja kunnossapidon sekä verkon valvonnan sovelluksiin (PowerSense ja Pry-Camit). Kuitenkin muunneltavuutensa ansiosta näiden rajojen havaittiin oleva hyvin häilyviä ja järjestelmiä on mahdollista räätälöidä haluttuun suuntaan. Esimerkiksi kytkinlaitteiden ohjaustoiminto on saatavilla sopivilla lisäosilla Pry-Cameja lukuun ottamatta kaikkiin muihin laitteisiin.

RIO600 -järjestelmä oli vertailun edistyksellisin laite ja vertailun laitteista ainut, joka pystyi havaitsemaan todistetusti kaapeliverkon katkeilevan maasulun ja se oli myös ainut järjestelmä, jossa oli keskijänniteverkon sähkön laadun mittaus. RIO600:n etuja olivat myös tarvittavien asetteluarvojen pitäminen minimissä sekä järjestelmän skaalautuvuus, asetteluarvojen kerrottiin olevan päteviä riippumatta kytkentätilasta tai kaapelointias-teesta. Sähkön laatua pystyttiin mittaamaan myös PowerSensellä sekä Netcon 100:lla, mutta näissä mittaus tapahtuu PJ -puolelta. Edellä mainituissa järjestelmissä oli myös muita PJ -puolen toiminnollisuuksia, kuten vikavalvonta.

Pry-Camit olivat vertailun ainoat tuotteet, jotka eivät saatujen tietojen mukaan onnistu havaitsemaan verkossa nopeasti ilmeneviä, käytön aikaisia vikoja (esimerkiksi oiko- ja maasulut) ollenkaan, vaan näiden järjestelmien sovellukset ovat kokonaan ennakoivan kunnossapidon ja ladunvalvonnan alalla. Kaukokäyttöratkaisujen toimittajayritys Netcontrolin tuotteissa taas korostuivat käytön kannalta oleelliset toimenpiteet, kuten ohjausmahdollisuudet. Kyseisen valmistajan Radius NMS 100 -laite sisälsi jopa automaattikan, jolla muuntamon syöttö voitiin kääntää ”terveeseen” verkkoon ensisijaisen syöttösuunnan vikaantuessa. Toisaalta PowerSensen kerrottiin pystyvän myös tähän samaan, kunhan se on varustettu sopivilla lisäominaisuuksilla. Netcontrolin ratkaisujen eduksi voidaan laskea myös se, että allekirjoittaneen kokemuksiin perustuen Netcontrol on hyvin yleinen kaukokäyttöalusta Suomessa, joten laajennettavuus korkeamman tason automaattioratkaisuihin olisi helposti tehtävissä: Netcontrolin tuotteet ovat osin modulaarisia ja uusia ominaisuuksia on saatavilla jo pelkällä lisenssihankinnalla, tietyissä tapauksissa il-

man laitteistopäivityksiä. Ohjelmistotason päivityksien kerrottiin onnistuvan langattomasti Netcon 100:ssa sekä PowerSensessä, NMS 100:ssa tähän vaaditaan saatujen tietojen perusteella paikalla käyntiä ja järjestelmän kytkemistä ohjelmointilaitteeseen. Muiden järjestelmien päivitystavoista ei ollut saatavilla tietoa.

Ratkaisuja verrattiin myös arvioimalla asennuksen helppoutta. Allekirjoittaneella tai työn toimeksiantajalla ei ollut tästä kokemusta, joten arviointi oli tehtävä tietolähteistä saatujen tietojen perusteella. Retrofit -kohteissa helppoiten asennettavat valvontalaitteet olivat Prysmianin Pry-Camit, joista Portable -malli vain viedään tai kiinnitetään pikakiinnikkeellä mittauksen ajaksi mitattavan kohteen läheisyyteen ja raskaamman Grid -mallinkin anturien asennus on laitetoimittajalta saatujen kuvien perusteella toteutettavissa esimerkiksi teipillä, nippusiteillä tai vastaavilla välineillä. Mittauksen kesto tällä menetelmällä vaihtelee muutamasta minuutista määrittelemättömän pitkään aikaan sen perusteella, halutaanko suorittaa yksittäinen mittaus vai onko tarkoituksena jatkuva valvonta. Näitä järjestelmiä asennettaessa ei sähköjä tarvitse katkaista toisin kuin monesti KJ -verkon mittauksia tehtäessä joudutaan mittalaitteiden kiinnityksen ajaksi tekemään. Muiden järjestelmien retrofit -asentaminen vaatii enemmän aikaa sekä sopivan asennustilan esimerkiksi muuntamolle ja yleensä myös sähkökatkon. Muiden järjestelmien jälkiasennusprosessista ei ollut saatavilla tarkkaa tietoa, vaikkakin ainakin PowerSensen valmistaja kertoi ratkaisunsa soveltuvan erittäin hyvin jälkiasennettavaksi olemassa olevaan verkkoon.

Uudiskohteissa muuntamotason valvonta on sikäli helpompi järjestää, että muuntamot voidaan tilata tarvittavilla ominaisuuksilla varusteltuina, jolloin valvonta- ja automaatiolaitteet asennetaan soveltuvassa laajuudessa niihin jo tehtaalla muuntamon kokoamisen yhteydessä. Tällöin kentälle jää vain tarvittavat kytkentätyöt sekä esimerkiksi mittamuuntajien asentaminen mitattavaan kaapeliin. Uudiskohteissa töitä voidaan myös melko joustavasti valmistella etukäteen ennen muuntamon käyttöönottoa, joten töitä ei tarvitse tehdä kiireellä sähkökatkon aikana. Tällöin myös työtilaa muuntamolla on enemmän käytössä, kun kaikkia laitteita ei ole vielä välttämättä asennettu. Etukäteisvalmistelussa työn suunnittelu ja kokemus vastaavista kohteista nousevat tärkeään rooliin, jottei esimerkiksi ajauduta tilanteeseen, jossa jo asennettuja laitteita joudutaan purkamaan muun asennustyön tieltä.

### 5.3 Paras ratkaisu?

Vertailussa käytetyt kriteerit pyrittiin valitsemaan niin, että ne olisivat mahdollisimman tasaiset, jolloin laitteiden kategoriat ja parhaat käyttötarkoitukset näkyivät selvästi. Eniten pisteitä keräsi tässä vertailussa käytetyillä kriteereillä ABB:n RIO600, jolla oli laajat ominaisuudet KJ -puolella toimimisessa sekä näyttöön perustuva kyky havaita sekaverkossa esiintyviä vikatilanteita laajalla skaalalla, muun muassa kaapeliverkon katkeileva maasulku löytyy tällä laitteella luotettavasti. Verkon valvontaratkaisuja vertailtaessa pitää kuitenkin vertailun pohjana käytettävät kriteerit asettaa palvelemaan senhetkistä tavoitetta, jotta oikea ratkaisu löytyy; esimerkiksi tässä työssä haluttiin etsiä sellainen ratkaisu, joka olisi käyttökelpoinen maakaapeliverkon vikatilanteiden selittämisessä ja RIO600 oli tähän tarkoitukseen saatavilla olevan tiedon perusteella soveltuvin. Merkitsevät kriteerit vaihtelevat tilanteen mukaan ja näin jokin muu ratkaisu voi siis olla yhtä hyvä tai jopa parempi sen hetkisen tavoitteen saavuttamiseen, järjestelmiä kun havaittiin löytyvän laajalla skaalalla erilaisiin käyttötarkoituksiin.

Vertailussa mukana olleista laitteista monet olivat varsin joustavasti laajennettavissa isoiksi kokonaisuuksiksi, mutta siitä, miten nämä järjestelmät toimivat keskenään tilanteessa, jossa verkossa on monen eri valmistajan laitteita, ei löytynyt tietoa. Tämä voi tulevaisuudessa, jakeluverkon automaatioasteen kasvaessa ja valvonnan lisääntyessä muodostua merkittäväksi kriteeriksi toteutusratkaisua valittaessa. Järjestelmiin tutustuttaessa kuitenkin havaittiin, että niissä oli monipuoliset rajapinnat eri ympäristöissä toimimista varten, mutta varsinainen näyttö tästä jäi puuttumaan. Hypoteettisesti voidaan sanoa, että tilanteessa, jossa verkosta tuleva tieto kulkee rajapintojen välityksellä keskitetyn valvonnan kautta, tuskin ilmenee ongelmia, mutta mikä on tilanne silloin, kun älyä hajautetaan valvomosta kentälle enemmän ja järjestelmien on keskusteltava keskenään, jää nähtäväksi.

Vertailussa oli mukana alkuvuoden 2017 aikana Suomen markkinoilla olevia, maakaapeliverkon muuntamotason valvontaan soveltuvia laitteita. Verkon valvonnan ja automaation ala on kuitenkin juuri nyt hyvin nopeasti kehittyvää ja näiden järjestelmien parissa toimivien henkilöiden onkin syytä pitää osaamisensa ja tietonsa ajan tasalla, sillä uutta teknologiaa kehitellään koko ajan ja tietoisuus uusista markkinoille tulleista laitteista ja niiden ominaisuuksista helpottaa kuhunkin kohteeseen sopivimman ratkaisun löytämistä.

Tässä työssä vertailuista järjestelmistä vain yksi pystyi todistetusti havaitsemaan kaapeliverkon katkeilevia maasulkuja, mutta mikäli vertailu toistettaisiin vuoden-kahden päästä, voisi tilanne ja kilpailuasetelma tämän osalta olla aivan erilainen: mittaus- ja laskentamenetelmät kehittyvät koko ajan ja toisaalta aivan uusiakin toimijoita innovaatioineen voi tulla markkinoille.

## 6 BIG DATA

### 6.1 Taustaa

Big data on laaja käsite, jolla tarkoitetaan valtavan suuria tietomääriä, jotka eivät suuruutensa, rakenteensa tai järjestelemättömyytensä vuoksi ole käyttäjän kannalta kohtuullisessa ajassa käsiteltävissä olemassa olevilla tiedonhallintaratkaisuuilla. Big datalle on myös tyypillistä, että se on nopeasti kasaantuvaa, yleensä jonkin laitteen automaattisesti tuottamaa tietoa, joka on käytössä useassa paikassa yhtä aikaa, kerätty ilman suunnitelmaa sen tarkemmasta hyödyntämisestä ja eri lähteiden tuottamaa eri muotoista tietoa. Big dataa käsitellään tilastotieteen ja tietotekniikan keinoin ja menetelmien kehittyessä yhtä tehokkaammiksi big datan määritelmäkin muuttuu: kun yhä suurempia ja monimutkaisempia tietomääriä pystytään käsittelemään tehokkaasti, eivät ne enää ole big dataa. (Wikipedia 2015.)

Koska big dataan kuuluu suuri määrä jatkuvasti kasaantuvaa ja päivittyvää, monen muotoista tietoa, on sen käsittely hankalaa ja se haastaa big dataa analysoivan henkilön tiedonhakutaidot ja -välineet sekä kriittisyyden. Tiedon rakenne voi olla esimerkiksi hyvin selkeästi määritelty tai toisaalta rakenne voi puuttua kokonaan. Koska big dataa kerääntyy monesti ilman tarkkaa suunnitelmaa sen hyödyntämisestä ja tiedon tallennuksen ollessa hyvin edullista, tallennetaan myös paljon käyttäjän sen hetkisen käyttötarkoituksen kannalta turhaa tietoa, joka pitää osata suodattaa pois. (Wikipedia 2015.)

### 6.2 Big data sähköjakeluverkoissa

Älykkäät sähköverkot ovat mittarointineen yksi esimerkki big dataa synnyttävistä sovelluksista ja tästä saatiin esimakua myös Sundomin Smart Grid -hankkeen aikana koko Suomen sähköjakeluverkkoon verrattuna mitättömän pienellä tutkimuskokonaisuudella, johon kuuluin mittaus- ja valvontalaitteineen sähköasema, neljä älymuuntamoita sekä verkkokatkaisija. Tässä työssä verkon valvontaratkaisuihin tutustuttaessa havaittiin niiden tuottavan monenlaista ja -rakenteista tietoa: saatavilla on analogisia tietoja esimerkiksi lämpötiloista, virroista, jännitteistä sekä vaihekulmista, mutta myös digitaalisia, on/off -tyyppisiä tietoja esimerkiksi kytkinlaitteiden asennoista tai jännitteettömyydestä.

Verkon valvonnassa mittaukset ovat reaaliaikaisia, joten monen tyyppistä tietoa kasaantuu jatkuvasti eri puolilta verkkoa ja tätä tietoa myös käsitellään ja hyödynnetään eri puolilla verkkoa eri käyttötarkoituksiin. Big datan määritelmä täyttyy siis helposti, jos vielä tietoa kasautuu sellainen määrä, että sen käsittely alkaa olla hankalaa ja aikaa vievää.

Tiedon käsittelyssä vastaantulevia ongelmia voidaan torjua edellä mainitun mukaisesti hankkimalla tehokkaampia tiedonkäsittelymenetelmiä, tai esimerkiksi hallitsemalla tietoa siten, että sitä ohjataan eri järjestelmiin ja eri organisaatioiden käyttöön siten, että jokainen organisaatio voi omista järjestelmistään tarkkailla vastuualueeseensa liittyviä tietoja. Tällainen menetelmä on osittain käytössäkin, sillä verkkoyhtiöillä on käytössään aiemmin tässä työssä mainittuja eri järjestelmiä (esimerkiksi ATJ, VTJ, KTJ, KVJ) erilaisine sisältöineen eri organisaatioiden tarpeisiin. Toisaalta myös tiedon kerääntymisnopeuteen voidaan vaikuttaa esimerkiksi harventamalla mittauksiin ja valvontaan liittyviä tapahtumia. Tämä tapahtuu kuitenkin verkon valvontatason kustannuksella, sillä silloin valvonnan reaaliaikaisuus menetetään. Laitepuolella voidaan myös vaikuttaa tiedon kerääntymiseen esimerkiksi määrittelemällä laite toimimaan niin, että se suorittaa valvontaa ja mittauksia ”taustalla” ja lähettää verkkoyhtiölle tietoa vain pyydettyä sekä raportoi poikkeustapaukset. Näin laitteen toiminnollisuudet vikojen havaitsemisessa pysyvät käytössä ja verkon valvontaakin voidaan pitää reaaliaikaisena. Edellä kuvattuja toiminnollisuuksia havaittiin valvontaratkaisuihin tutustuttaessa osassa laitteita olevankin. Yksi ratkaisu tiedon hallinnan ongelmaan on myös siirtää ongelma toiselle, eli ulkoistaa tiedon hallinnointi jollekin alan palveluntuottajalle. Allekirjoittaneen havaintojen perusteella näin on osin menetelty ainakin etäluettavien sähkömittareiden osalta.

Joka tapauksessa, tässä työssä havaittujen seikkojen perusteella, verkon automaatioasteen kasvaessa ja valvonnan hajautuessa kentälle tulee verkosta saatavan tiedon määrä nousemaan eksponentiaalisesti ja big datan muodostuminen on ennemmin tai myöhemmin, tiedon hallintapyrkimyksistä huolimatta edessä. Tiedon oikeellisuus ja tehokas hyödyntäminen tulevat silloin nousemaan avainasemaan ja osin määrittämään jopa koko järjestelmän tehokkuutta, joten pyrkimyksenä pitää olla tiedon luotettavuuteen vaikuttaminen valitsemalla verkkoon hyväksi havaittujen valvontaratkaisujen, jottei harhauduta tekemään vääriä toimia epäluotettavan tiedon vuoksi tai turhaan hankaloiteta tiedonhakua tuottamalla epäpätevää tietoa. Verkostoautomaation ja valvontajärjestelmien loppukäyttäjien



pitäisikin alkaa kehitellä ratkaisuja räjähdysmäisesti kasvavan tiedon hallintaan ja toisaalta pohtia, mitä tietoa on tarpeen kerätä ja säilyttää. Tiedon varastoinnin todettiin aiemmin olevan edullista, joten taloudellisia intressejä tähän ei sen perusteella ole lähiaikoina tulossa ja tämä toisaalta houkuttelee tallentamaan kaiken saatavilla olevan tiedon, vaikka vain varmuuden vuoksi.

## 7 YHTEENVETO JA POHDINTA

### 7.1 Pohdinta

Älykkäällä sähköverkolla tarkoitetaan sähköverkkoa, joka osaa muun muassa kerätä ja käsitellä verkon käyttöön, ylläpitoon ja kehittämiseen tarvittavaa tietoa ja tehdä ehdotuksia vastuuhenkilöille kustannustehokkaista toimista näiden eteen. Osan toiminnoista, kuten vikatilanteen poiskytkemisen, älykäs verkko voi tehdä itse, sillä se pystyy siihen ihmistä nopeammin. Toisaalta älykäs verkko voisi myös automaattisesti kytkeä keskeytyksen alaisille kuluttajille sähköt takaisin mahdollisen varasyöttöyhteyden kautta ja tällaisiin toimintoihin pystyviä laitteita havaittiin tämän työn yhteydessä olevankin jo markkinoilla. Älyverkkoa voidaan hyödyntää myös vikatilanteiden ulkopuolella, normaaleissa kytkentämuutoksissa esimerkiksi verkossa tehtäviä töitä varten. Verkostoautomaatio sekä tälle tietoa antava verkon valvontajärjestelmä ovat yksi keskeinen osa älykästä sähköverkkoa. Verkostoautomaatiota sekä siihen liittyviä tiedon keruu-, käsittely- ja välitysjärjestelmää voidaan tältä osin kutsua verkon älyksi.

Verkon valvonta ja automaatioasteen lisääminen vaativat investointeja verkkoon: valvontaan tarvitaan riittävät mittalaitteet ja kytkinlaitteiden automatisointiin ohjaus- ja käyttölaitteet. Aktiiviset komponentit tarvitsevat lisäksi sähkönsyötön, joko erillisestä omakäyttömuuntajasta tai muuntoaseman omakäyttölähdöstä. Näiden lisäksi on rakennettava luotettavat viestiyhteydet järjestelmien välille. Toisaalta esimerkiksi Sundomin Smart Grid -hankkeessa havaittiin, että näille investoinneille saadaan maakaapelointiin verrattavaa hyötyä toimitusvarmuuden lisääntymisen muodossa. Voimatelin kaltainen, ammattitaitoinen palveluntuottaja on nyt ja tulevaisuudessa tärkeä yhteistyökumppani verkkoyhtiöille tässä asiassa tuottaen kustannustehokkaita ratkaisuja asiakkaalleen mm. toimittajasuhteidensa ja asiantuntevan henkilöstönsä avulla.

Tällä hetkellä verkostoautomaation sovelluksista eniten asennetaan kaukokäytettäviä kytkinlaitteita ja korkeamman jalostusarvon verkostoautomaatiota implementoidaan toistaiseksi lähinnä yksittäisissä pilottikohteissa. Tilaajavetoisuutensa takia verkostoalalla pitäisi saada verkkoyhtiöt kiinnostumaan suuressa mittakaavassa korkeamman jalostusarvon verkostoautomaatiosta ja -valvonnasta, jotta siitä muodostuisi palveluntuottajayrityksille marginaalista suurempaa liiketoimintaa. Palveluntuottajien on kuitenkin koko ajan

kehitettävä toimintaansa ja uusimman teknologian tunteminen ja haltuunotto ovat osa tätä kehitystä. Voisiko verkkoyhtiöiden kiinnostus pidemmälle vietyyn verkostoautomaatioon kasvaa tarjonnan kehittyessä?

## 7.2 Tulokset

Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin kuuteen työn tekohetkellä (alkuvuosi 2017) Suomen markkinoilla olevaan sähköjakeluverkon automaatiotratkaisuun tavoitteena löytää järjestelmä, joka pystyisi luotettavasti indikoimaan sekaverkon vikoja muuntamotasolla, erityisesti maakaapeliverkon katkeilevia maasulkuja. Kuudesta tutkitusta järjestelmästä ai-noastaan yksi, ABB:n RIO600 pystyi todistetusti tähän. Järjestelmiä vertailtaessa niiden havaittiin jakautuvan pääasiallisten ominaisuuksiensa perusteella kolmeen kategoriaan: Vikaindikaattorit, kunnonvalvontalaitteet sekä verkon ohjauslaitteet. Kuitenkin lähes kaikkien järjestelmien todettiin olevan siinä määrin modulaarisia, että niitä voitiin hyö-dyntää melko vapaasti yli kategoriarajojen.

Tietolähteitä tätä työtä varten etsittäessä havaittiin, että vianhavitsemislaitteiden kirjo on todellisuudessa vielä paljon laajempi, koska liki jokaisella sähköverkon komponentteja valmistavalla yhtiöllä on jonkin tasoisia vikaindikaattoreita valikoimassaan. Ne olivat ominaisuuksiensa puolesta kuitenkin sellaisia, että ne piti työn tavoite huomioon ottaen sivuuttaa, sillä ne olivat joko tarkoitettu pelkästään pienjännitejakelun suojaamiseen tai avojohto- tai sähköasemaympäristöön asennettaviksi.

Vaasassa toteutettuun Sundomin Smart Grid -hankkeeseen tutustuttaessa löydettiin näyttöä sille, että sähköverkon toimitusvarmuuden parantamiseksi maakaapelointi ei ole ainut vaihtoehto, vaan vastaava hyöty saavutetaan myös verkon automaatioastetta lisäämällä. Näin voidaan keskittää kaapeloinnit sinne, missä se on perusteltua ja kohtuudella tehtävissä ja varustaa muut kohteet automaatiolla sekä tehokkaalla vianpaikannuksella. Voi-daan siis valita kuhunkin kohteeseen optimaalisin toimitusvarmuutta lisäävä ratkaisu tek-nilliset ja taloudelliset näkökulmat huomioon ottaen. Sundomin hanke osoitti myös, että älykäs verkko tuottaa paljon tietoa. Jo Sundomin tutkimusalueella olleesta neljän muun-tamon, verkkokatkaisijan ja sähköaseman kokonaisuudesta saatiin tietoa 100 Mbit/s, jo-ten tämän perusteella tietoa tulee tulevaisuuden älyverkoista valtava määrä. Tämä asettaa

omat vaatimuksensa muun muassa tiedon oikeellisuudelle sekä sen käsittelyn, tallentamisen ja analysoinnin tehokkuudelle.

Tiedon määrää ja sen kasaantumista tarkasteltiin myös big datan näkökulmasta. Tarkastelussa todettiin, että verkon kasvava automaatioaste ja tehostuva valvonta tuottavat monenlaista ja -muotoista tietoa nopeasti ja joka kasaantuessaan muodostaa big datan, suuren, nykymenetelmillä hankalasti käsiteltävän joukon vaihtelevan laatuista tietoa. Todettiin, että järjestelmien loppukäyttäjien, verkkoyhtiöiden, on kehiteltävä ratkaisuja kasvavien tietomäärien hallinnoimiseen. Tällaisia ratkaisuja voivat olla esimerkiksi laitevalinnat siten, että suositaan laitteita, jotka tiedetään luotettaviksi ja jotka eivät raportoivat turhaa tietoa tai muutetaan laitteiden asetuksia niin että tietoa tuotetaan vain tarvittaessa. Suuri tietovirta voidaan myös jakaa käsiteltäväksi pienempiin alajärjestelmiin ja tiedon säilyttämisen tarpeellisuutta voidaan pohtia, tosin taloudellisia paineita tiedon säilyttämisen edullisuuden vuoksi tälle ei havaittu olevan, joten se ei välttämättä kiinnosta loppukäyttäjää juuri nyt. Tiedon hallinta voidaan myös ulkoistaa jollekin alan palveluntuottajalle ja siitä voikin tulla merkittävää liiketoimintaa tulevaisuudessa.

### **7.3 Jatkotutkimukset**

Verkostoautomaation ja -valvonnan ala kehittyy nyt nopeasti ja kehityksen voidaan enustaa nopeutuvan entisestään kysynnän kasvaessa. Järjestelmiä toimittaville palveluntuottajille riittää siis jatkuvaa tutkimusta tekniikan kehittyessä tällä alalla, jotta palvelut pysyvät ajantasaisina ja pystytään jatkuvasti tarjoamaan asiakkaalle riittävää lisäarvoa. Uuden tekniikan käyttöönotto ensimmäisten joukossa voi olla ratkaisevassa asemassa uusien palvelusopimuksien neuvoteltaessa.

Jatkotutkimuksen mahdollisuus on myös verkon käyttötoimintojen muutoksessa: Suomen sähköjakelun kaapelointi- ja automaatioasteen noustessa jäävät laajat, sääriippuvalaiset suurihäiriötilanteet historiaan ja vianpaikannus helpottuu verrattuna vanhaan tilanteeseen. Verkostoautomaatiolla pystytään ehkä tulevaisuudessa hoitamaan myös arkipäivän kytkentätilanteita riittävän luotettavasti ja verkon valvontaan tarvittavaa älyä on hajautettu pitkälle verkkoon, pois valvomoista ja sähköasemilta. Käyttötoiminnot eivät siis sidos jatkossa enää yhtä paljon henkilöresursseja kuin aiemmin. Toisaalta verkosta tulevan tiedon määrä kasvaa moninkertaiseksi ja tiedon validiteetin merkitys sekä tiedonkäsittelyn taidot

korostuvat. Tässä kohdassa voidaan alkaa pohtia, onko verkkoyhtiöiden enää järkevää investoida raskaaseen verkkovalvomoon, vai voisiko käytön valvonnasta jalostua uutta liiketoimintaa Voimatelin kaltaisille palveluntuottajille? Tällä hetkellä palveluntuottajat käyttävät jo paljon verkkoyhtiöasiakkaidensa järjestelmiä etäyhteyden kautta mm. verkosto- ja käytönsuunnitteluun sekä asiakassuhteiden hoitamisen, joten kysymykseksi jää, kuinka pitkä matka tästä on verkon käyttö- ja valvontatoimintojen laajamittaisempaan haltuunottoon?

Verkkoyhtiöille palveluita tuottavien yhtiöiden voisi olla aiheellista myös tutkia sitä, voisiko niillä olla mahdollisuuksia muodostaa uutta liiketoimintaa ottamalla ainakin osittain haltuun jatkuvasti kasvavan, verkosta tulevan big data -tyyppisen tietomassan hallinnoiminen ja käsittely. Mikäli verkkoyhtiöt eivät tätä melko todennäköiseltä vaikuttavaa ongelmaa halua yksin kohdata, voisi tällä alalla aueta markkinat myös palveluntuottajayhtiöille, joilla on kiinnostusta ja valmiuksia tähän. Tämän asian realisoituminen on kylläkin vielä vuosien päässä tulevaisuudessa, sillä vaaditaan verkon valvonta- ja automaatioasteen huomattavaa kohoamista ja uusien älyteknologioiden implementoimista, jotta tietoa alkaa kertyä. Toisaalta tiedon säilyttämisen hinnan noustessa pienempikin tietovirran kasvu voi riittää aikaansaamaan verkkoyhtiöiden kiinnostuksen ulkoistaa tiedonhallinta. Käytön valvontaan liittyvän tiedon hallinnoinnin ulkoistaminen kulkisi myös käsi kädessä verkon käyttötoimintojen ja valvonnan ulkoistamisen kanssa.

## LÄHTEET

ABB Oy. Kohti älykkäämpää sähköverkkoa. 2017. Esite verkostomessuille 2017.

ABB Oy. Vaasan elävä laboratorio osoitti älykkään verkkoteknologian hyödyt. 2016. Luettu 23.2.2017. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/vaasan-elava-laboratorio-osoitti-alykkaan-verkkoteknologian-hyodyt?publisherId=4270&releaseId=53221246>

Anttonen, O. 2017. Sähköverkon kunnan mittaukseen uusi tekniikka. Enertec-lehti, 1/2017.

Caruna Oy. ADMS-käyttökoulutus yhteistyökumppaneille. 2017.

Fingrid Oyj a. Suomen sähkövoimajärjestelmä. Luettu 8.2.2017. <http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/>

Fingrid Oyj b. Älyverkot. Luettu 6.3.2017. <http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/kehityshankkeet/alyverkot/Sivut/default.aspx>

Helen Oy. 2014. Verkostoautomaatio nopeuttaa sähköverkon vianselvitystä. Luettu 15.2.2017. <https://www.helen.fi/uutiset/2014/verkostoautomaatio-nopeuttaa-sahkoverkon-vianselvitysta/>

Helen Oy. 2015. Helsinkiin Pohjoismaiden suurin sähkövarasto. Luettu 6.3.2016. <https://www.helen.fi/uutiset/2015/helsinkiin-pohjoismaiden-suurin-sahkovarasto/>

Hyvärinen, M. 2010. Esimerkkejä suomalaisista älyverkkohankkeista. Sähkötutkimuspoolin tutkimusseminaari 7.10.2010.

Kihl, M & Mononen, A. 2017. Sähkönjakeluverkkoja siirretään maan alle. Enertec -lehti 1/2017.

Korpela, A. 2017. Sähköenergiajärjestelmän murros -Paljon muutakin kuin fossiilisen korvaamista uusiutuvalla. Sähkö & tele -lehti. 2/2017.

Korpinen, L. 1998a. Sähkövoimatekniikkaopus. Sähkön siirto- ja jakeluverkot. Luettu 8.2.2017. [www.leenakorpinen.fi](http://www.leenakorpinen.fi)

Korpinen, L. 1998b. Sähkövoimatekniikkaopus. Sähköverkon automaatio ja suojaus. Luettu 11.2.2017. [www.leenakorpinen.fi](http://www.leenakorpinen.fi)

Landis +Gyr Oy. 2017a. Toshiba-tuotteet siirto- ja jakeluverkkoon. Luettu 26.2.2017. <http://www.landisgyr.fi/products/toshiba-tuotteet-siirto-ja-jakeluverkkoon/>

Landis +Gyr Oy. 2017b. Muuntamoalvonta -lisää varmuutta verkkoon. Luettu 26.2.2017. <http://www.landisgyr.fi/gridstream-solutions/muuntamoalvonta/>

Lehtio, A & Nieminen, E. 2012. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniinen kunnossapito -kurssin luentomustiinpanot.

Lilja-aho, V. 2017. Valokaarivikasuoja tekee tuloaan suomeenkin. Sähkö & Tele -lehti 1/2017.

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2010. Tekniikan Kaavasto. Tampere: AMK-Kustannus Oy Tammertekniikka

Netcontrol Oy. WWW -sivut. Luettu 24.2.2017.

<https://www.netcontrol.com/fin/tuotteet/sahkoasema-automaatio/muuntamot/>

Osuuskunta KPY -Aktiivinen alueellinen toimija. Osuuskunta KPY:n internetsivut. Luettu 7.2.2017. <http://www.kpy.fi/kpy/>

Osuuskunta KPY. 2015. KPY:n historia lyhyesti. Tulostettu 7.2.2017. <http://www.kpy.fi/kpy/historia/>

Prysmian Oy. 2016. Itsenäinen Pry-Cam Grids kertoo energiaverkon kunnon. Luettu 26.2.2017.

[http://fi.prysmiangroup.com/en/business\\_markets/markets/pd/download/Prysmian\\_Pry-Cam\\_Grids\\_A5.pdf](http://fi.prysmiangroup.com/en/business_markets/markets/pd/download/Prysmian_Pry-Cam_Grids_A5.pdf)

Pylvänen, T. 2013. Sähkön siirron hinnoittelu Suomessa, muistio. Savon Voima.

Reka Oy. Keskiännitekaapeli AHXAMK-W 20kV. Tulostettu 15.2.2017.

<http://www.reka.fi/keski-ja-suurjannitekaapelit/keskiannitekaapelit/keskiannitekaapeli-ahxamk-w-20-kv>

Ristola, S. 2017. Talousjohtaja, Voimatel Oy. Henkilökohtainen tiedonanto.

Satakunnan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan luentomuistiinpanot. www-versio. Luettu 12.2.2017. [salabra.tp.samk.fi/er/siirto/maasul.doc](http://salabra.tp.samk.fi/er/siirto/maasul.doc)

SFS 6000-5-2: 2012. Pienjännitesähköasennukset. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Kansallinen standardi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Luettu 11.2.2017. <https://tamk.finna.fi/>, SFS Online.

Smolander, H. 2017. Palvelupäällikkö, Voimatel Oy. Henkilökohtainen tiedonanto.

STUK. 2011. Voimajohdot ympäristössämme.

Sähköala.fi. Oikea suojavaatetus saattaa pelastaa valokaarionnettomuudessa. 2010. Luettu 11.2.2017.

[http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkoturvallisuus/fi\\_FI/oikea\\_suojavaatetus/](http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkoturvallisuus/fi_FI/oikea_suojavaatetus/)

Sähkömarkkinalaki 588/2013

Toshiba Co. Protection & control systems. Luettu 26.2.2016.

<http://www.toshiba-tds.com/tandd/products/pcsystems/en/index.htm>

Tuhkanen, J. 2017. Controller, Voimatel Oy. Henkilökohtainen tiedonanto.

Wahlroos, A. ABB Oy. Kohti älykkäämpää sähköverkkoa -YouTube -video. 2017  
<https://www.youtube.com/watch?v=IoNxRZ858mI&feature=youtu.be>

Wikipedia. 2015. Big Data. Luettu 2.3.2017.  
[https://fi.wikipedia.org/wiki/Big\\_data](https://fi.wikipedia.org/wiki/Big_data)

Wikipedia. 2017. Älykäs sähköverkko. Luettu 6.3.2017.  
[https://fi.wikipedia.org/wiki/%C3%84lyk%C3%A4s\\_s%C3%A4hk%C3%B6verkko](https://fi.wikipedia.org/wiki/%C3%84lyk%C3%A4s_s%C3%A4hk%C3%B6verkko)

Wikispaces. 20 kV avolinja. Tulostettu 10.2.2017.  
<https://avolinja.wikispaces.com/20+kv+avolinja>

Voimatel Oy. Voimatel yrityksenä. Voimatel Oy:n internetsivut. Luettu 7.2.2017.  
<http://www.voimatel.fi/fi/voimatel-yrityksena/>



## LIITTEET

Liite 1. Jakeluverkon valvontaratkaisujen vertailutaulukko

	Jakeluverkon valvontaratkaisujen vertailutaulukko										
	Näyttöä katkeilevan maasulun havaitsemisesta	Mahdollisuus kytkinlaitteiden ohjaukseen	Koneraön hyödyntäminen automaattisesti	Syötön uudellejärjestely	Hyödynnettävyys P1 - verkon puolella	Hyödynnettävyys kunnossapidossa	Asemuksen helppous	KJ-verkon sähkölaadun mittausta			
Tarkasteltava ominaisuus:	Soveltuvuus kaapeliverkon valvontaan										Yhteensä
Järjestelmä:											
ABB RIO600	X	X			X			X			5
Netcon 100	X	X (laajennusosalla)			X (laajennusosalla)						1(3)
Radius NIMS 100	X	X		X							3
L+G PowerSense	X	X (laajennusosalla)	X	X	X (laajennusosalla)	X					4(6)
Pry-Cam Grids	X					X	X				3
Pry-Cam Portable	X		X			X	X				4