

Erkki Vaaranto

# Suomen jakeluverkon tulevaisuuden muutoksia

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

19.4.2017

Tekijä Otsikko	Erkki Vaaranto Suomen jakeluverkon tulevaisuuden muutoksia
Sivumäärä Aika	29 sivua 19.4.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	Yliopettaja Jarno Varteva
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Suomen sähköjakeluverkossa tapahtuvia muutoksia, ja mitä toimintoja Suomalainen älykäs sähköverkko voi sisältää vuoteen 2029 mennessä. Työ rajattiin koskemaan keski- ja pienjänniteverkkoja. Työ toteutettiin etsimällä tietoa jakeluverkkoyhtiöiden investoinneista ja kehityskohteista. Tietoa etsittiin internetistä ja alan kirjallisuudesta.</p> <p>Tässä työssä käsiteltiin Suomen jakeluverkon nykytilanne, jakeluvarmuuteen parantamiseksi tehtävät toimenpiteet ja tulevaisuuden älykäs sähköverkko. Työn lopputuloksena saatiin kirjallinen raportti Suomen sähköjakeluverkossa tapahtuvista mahdollisista muutoksista vuoden 2028 loppuun asti.</p> <p>Raportin mukaan Suomen sähköverkon maakaapelointiaste nousee merkittävästi vuoden 2028 loppuun mennessä. Sähköverkon automatisointi ja etähallinta tulee lisääntymään. Älykäs sähköverkko on vielä kehityksensä alussa. Siihen liittyviä asennuksia tehdään tutkimustarkoituksessa, jotta saadaan selvitettyä mitä ratkaisuja kannattaa ottaa laajamittaisemmin käyttöön tulevaisuudessa.</p>	
Avainsanat	Älykäs sähköverkko, jakeluverkkojen tulevaisuus.

Author Title	Erkki Vaaranto Future Changes in the Finnish Power Grid
Number of Pages Date	29 pages 19 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Jarno Varteva, Principal Lecturer
<p>The aim of this study was to find out what changes are taking place in the Finnish electricity distribution network and what features the Finnish smart grid can contain by the year 2029. The work was limited to the medium and low voltage power grids.</p> <p>The work was carried out by searching for information on distribution companies' investments and development targets. Information was sought from the Internet and the industry's field of literature. This thesis deals with the status of Finnish electricity distribution network, measures to improve the distribution reliability and smart grid of the future.</p> <p>The result is a written report on possible changes taking place in the Finnish electricity distribution network by the end of 2028. The report indicates that the rate of Finnish underground cabled power grid will rise significantly by the end of 2028. Automation and remote management of power grid will increase. The smart grid is still in early development. Its related installations are done for research purposes in order to identify what solutions you should take on a larger scale in the future.</p>	
Keywords	Smart grid, future of power grids.

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähkönjakeluverkot	1
2.1	Jakeluverkkojen terminologia	2
2.2	Suomen jakeluverkon nykytila	4
2.3	Jakeluverkkojen merkitys	6
2.4	Sähköverkkoliiketoiminta	6
2.5	Uusi sähkömarkkinalaki	7
3	Jakeluvarmuuden parantaminen	8
3.1	Maakaapelointi	8
3.2	Kaapelointiasteen kasvu	10
3.3	Jakeluverkon siirtäminen tien varteen	11
3.4	Jakeluautomaatio	12
3.5	Jakeluautomaation toiminnot	13
3.6	Investoinnit jakeluautomaatioon	14
4	Älykäs sähköverkko	15
4.1	Hajautettu tuotanto	15
4.2	Tiedonkulku sähköverkossa	18
4.3	Sähkönvarastointi	19
4.4	Tasasähkö	22
5	Yhteenveto	24
	Lähteet	26

## Lyhenteet

AMKA	Muovieristeinen alumiiniriippukierrekaapeli.
EMV	Energiamarkkinavirasto.
LVDC	Low-voltage direct current. Pienjännitteinen tasavirta.
PAS	Päälystetty avojohto.
PE	Polyeteeni.
PVC	Polyvinyylikloridi.

## 1 Johdanto

Suomen sähköjakeluverkossa tapahtuu merkittäviä muutoksia seuraavien vuosien aikana. Merkittävä osa sähköjakelussa käytettävistä ilmajohdoista on uusittava ikääntymisen takia vuoteen 2020 mennessä. Vuonna 2013 säädetty sähkömarkkinalaki 588/2013 vaatii sähköverkkoyhtiöiltä entistä parempaa sähköjakeluvarmuutta eli sähkökatkojen määriä ja kestoja on vähennettävä. Uusi laki myös kasvatti sähköjakelun keskeytyksistä asiakkaille maksettavien korvausten määrää. Lisäksi sähköntuotannon ja -kulutuksen sovittaminen on muuttumassa vaikeammaksi, kun säätelemättömät ja hankalasti ennustettavat aurinko- ja tuulivoima yleistyvät sähköntuotannossa. Kaikki tämä tulee näkyvään merkittävinä muutoksina Suomen sähköjakeluverkossa.

Tämän sähkötekniikan koulutusohjelmaan kuuluvan opinnäytetyön tavoitteena on selvittää Suomen sähköjakeluverkossa mahdollisesti tapahtuvaa kehitystä ja muutoksia vuoden 2028 loppuun asti. Sain aiheen opinnäytetyöhön sähkö- ja automaatiotekniikan yliopettaja Jarno Vartevalta. Aiheen valintaan vaikuttaa oma mielenkiintoni aihetta kohtaan sekä se, että sähköverkoissa on tulevaisuudessa tapahtumassa merkittäviä muutoksia. Suurin osa muutoksista tapahtuu jakeluverkkoyhtiöiden omistamissa keski- ja pienjänniteverkoissa, joten olen rajannut aiheen koskemaan niitä.

Työ toteutetaan etsimällä tietoa jakeluverkkoyhtiöiden investoinneista ja kehityskohteista. Tietoa etsitään internetistä, etenkin jakeluverkkoyhtiöiden sivuilta, ja alan kirjallisuudesta. Työn tuotoksena tulee olemaan kirjallinen raportti aiheesta sekä englanninkielinen powerpoint-esitys.

Aluksi työssä käsitellään jakeluverkon nykytilanne ja sähkömarkkinalain asettamat tiukentuneet vaatimukset jakeluverkkoyhtiöille. Sen jälkeen tarkastellaan, miten jakeluverkkoyhtiöt parantavat jakeluvarmuutta ja sitten selvitetään, mitä kaikkea tulevaisuuden älykäs sähköverkko voi sisältää. Lopuksi on pohdintaa työn tekemisestä ja tuloksista.

## 2 Sähköjakeluverkot

Sähköjakeluverkon tehtävä on siirtää jakeluverkkoon tuotu sähkö loppukäyttäjälle. Suomen sähköverkko koostuu kolmesta eri osa-alueesta: kantaverkosta, suurjännitteisestä

jakeluverkosta ja jakeluverkosta. Sähköverkko on osa Suomen sähkövoimajärjestelmää, johon kuuluvat myös voimalaitokset ja sähkön kuluttajat. Sähkönjakeluverkot ovat rakennettu joko avoimiksi eli säteittäisverkoiksi tai suljetuiksi eli silmukkaverkoiksi. Säteittäisessä verkossa asiakkaat saavat sähköä yhtä reittiä, kun taas silmukoidussa verkossa sähkö voi kulkea useampaa tietä. Silmukkaverkko onkin käyttövarmuudeltaan parempi, sillä yhdessä johdossa tapahtuva häiriö ei välttämättä johda asiakkaan kokemaan sähkökatkoon. Lisäksi siinä on myös pienemmät tehohäviöt ja jännitteenalenemat. Silmukkaverkon suojaus on kuitenkin monimutkaisempi ja oikosulkuvirrat ovat suurempia kuin säteittäisverkossa. [1; 2; 3; 4.]

## 2.1 Jakeluverkkojen terminologia

Kantaverkolla tarkoitetaan runkoverkkoa, jota kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj hallinnoi. Kantaverkkoon on liitetty suuret voimalaitokset ja tehtaot sekä alueelliset sähköverkot. Se on yhtenäinen valtakunnallinen sähkön siirtoverkko. Kantaverkossa käytetään kolmea eri jännitettä: 110 kilovolttia, 220 kilovolttia ja 400 kilovolttia. Jännitteet ovat suuria, koska siirtohäviöt ovat pienempiä suurilla jännitteillä. Kantaverkko on pituudeltaan yli 15 000 kilometriä, ja se on rakennettu lähes kokonaan ilmajohtoina. Kantaverkko rakennetaan silmukoiduksi ja sitä myös käytetään suljettuna verkkona. [2; 3; 4; 5.]

Suurjännitteisellä jakeluverkolla tarkoitetaan kantaverkkoon kuulumatonta 110:llä sekä harvinaisemmilla 30 ja 45 kilovoltilla toimivaa sähköverkkoa, joka siirtää sähköä alueellisesti. Verkkoa kutsutaan myös alueverkoksi ja sen omistaa verkkoyhtiö. Jakeluverkko on taas 20, 10, 1 tai 0,4 kilovoltilla toimiva, verkkoyhtiön hallussa oleva sähköverkko. Jakeluverkko voi olla liitettynä suoraan kantaverkkoon tai se voi käyttää suurjännitteisen jakeluverkon kautta kantaverkkoa. [3; 5.]

Sähköasema on jakeluverkon kohta, jossa voidaan suorittaa jännitteen muuntamista, erilaisia kytkentöjä, sähköenergia siirron keskittämistä tai jakoa eri johdoille. Sähköasemasta käytetään myös kytkinasema ja kytkinlaitos nimityksiä. Asemaa, jossa tehdään jännitteen muuntaminen, kutsutaan myös muuntoasemaksi. Sähköasemilla energia jaetaan halutulla tavalla muuntajien ja kokoojakiskojen avulla. Kytkennöissä käytetään erotimia ja katkaisijoita. Katkaisijalla avataan ja suljetaan kuormitettu virtapiiri. Erotinta käytetään kuormittamattoman virtapiirin kytkennöissä. Releitä ja varokkeita käytetään sähköasemilla erilaisissa suojaustarkoituksissa. [4.]

Sähkön siirrossa ja jakelussa käytettävät johtimet jaetaan asennustavasta riippuen kaapeleihin ja ilmajohtoihin. Ilmajohdot ovat avojohtoja tai ilmakaapeleita. Ne asennetaan pylväiden varaan. Kaapelit asennetaan kaapelikanaviin, kaapelihyllyille tai suoraan maahan tai veteen. Kaikki jakelussa käytettävät johtimet ovat aina eristettyjä joko kiinteällä tai kaasumaisella eristeaineella. Eniten käytetty kaasumainen eriste on ilma, jota käytetään avojohdoissa. Kaapeleissa ja eristetyissä johtimissa käytetään kiinteitä eristeaineita. [4.]

### Ilmajohdot

Suurin osa Suomen, etenkin yli yhdellä kilovoltilla ja sitä suuremmilla jännitteillä toimivasta, sähköverkosta on rakennettu päällystämättömillä avojohdoilla. Päällystämättömän avojohdon rakennuskustannukset ovat alhaiset, mutta se vaatii paljon tilaa ja se on visuaalisesti sopimaton ympäristöön. Sen rakennusaineina käytetään alumiinia, alumiiniseoksia ja terästä. Pienjänniteverkoissa eristepäällysteiset riippukierrejohtimet ovat osittain tulleet päällystämättömien avojohtojen tilalle. Näitä yleisin on muovieristeinen alumiiniriippukierrekaapeli eli AMKA-johdin, jossa polyeteenipäällysteiset alumiiniset vaihejohtimet on kierretty kannatusköytenä toimivan seosalumiinisen nollajohtimen ympärille. Päällystetty avojohto eli PAS-johto on yleistynyt keskijänniteverkoissa. Se on investointikustannuksiltaan noin 30 prosenttia päällystämättömää avojohtoa kalliimpi. PAS-johdossa vaihejohtimen ympärillä on ohut muovieriste. Eriste mahdollistaa johtimien hetkellisen koskemisen keskenään ilman käyttöhäiriöitä ja johdinvaurioita. PAS-johtoon nojaava puu ei aiheuta välitöntä keskeytystä, mutta ajan myötä eristerakenne vaurioituu ja aiheuttaa pysyvän keskeytyksen. Siksi niitä pyritään asentamaan helposti tarkastettaviin sijainteihin, kuten teiden laidoille. [1; 4.]

### Kaapelit

Kaapelissa sähköenergian siirrossa käytettävät johtimet ovat mekaanista vahingoittumista kestävästä sekä kosteutta ja korroosiota estävän vaipan sisällä. Niitä käytetään enimmäkseen taajamissa ja kaupungeissa. Kaapelissa on yksi tai useampi johdin, johdineristys ja ulkoinen suojakerros. Lisäksi suurjännitekaapeleissa on johdin-, kosketus- ja hohtosuoja. Johdinmateriaaleina on kuparia sekä varsinkin suurilla poikkipinnoilla käytettävää alumiinia. Eristemateriaali on muovia tai paperia, jota on imeytetty öljyllä tai kaapelimassalla. Pienjännitekaapeleissa käytettävä muovi on polyvinyylilorida eli PVC-muovia ja suurjännitekaapeleissa käytettävä muovi on polyeteeniä eli PE-muovia. [4.]

## 2.2 Suomen jakeluverkon nykytila

Suomen suurjänniteverkot on rakennettu avojohtoina ja niiden yhteispituus on suunnitteen 22 500 kilometriä. Suomen jakeluverkkoihin kuuluu keskijännite- ja pienjänniteverkot. Keskijänniteverkolla tarkoitetaan 1–70 kilovoltilla toimivaa sähköverkkoa, kun taas pienjänniteverkolla tarkoitetaan korkeintaan yhden kilovoltin jännitteellä toimivaa sähköverkkoa. [3.]

### Suomen keskijänniteverkot

Suomen keskijänniteverkoissa käytetään yleensä 20 kilovoltin jännitetasoa. Sillä voidaan siirtää muutama megawatti sähköä pisimmillään noin 30 kilometrin päähän ilman suurempia häviöitä. Verkolla on merkittävä vaikutus koko sähkönsiirron käyttövarmuuteen, sillä yli 90 prosenttia sähkönkäyttäjien kokemista häiriöistä on peräisin keskijänniteverkossa tapahtuvista vioista. Keskijänniteverkot rakennetaan yleensä silmukoiduksi, mutta niitä käytetään säteittäisenä. Siten verkoissa on yksi syöttöpiste, joka on yleensä 110/20 kilovoltin sähköasema. Silmukoitua verkkoa käytetään tavallisesti vain vianpaikannuksessa tai verkon kytkentää muutettaessa. [1.]

Verkkoa syöttävä sähköasema on tärkein rakenneosa keskijänniteverkossa. Sähköasemalla muunnetaan suurempi jännite keskijänniteverkossa käytettävän jännitteen tasolle. Sinne on sijoitettu suurin osa verkon suojarleistyksistä ja muusta automaatiosta. Sähköasemalta lähtevää keskijännitejohtoa suojaa katkaisija, johon on liitetty ylivirtarele, maasulkurele ja jälleenkytkentäreleet. Ylivirtareleen tehtävä on toimia oikosulkusuojuksena, jolla ehkäistään oikosulkuvirrasta johdoille ja laitteille aiheutuvat lämpenemisvauriot ja erotetaan vioittunut johto-osa verkosta. Se myös varmistaa järjestelmän turvallisuuden vikatilanteissa sekä käyttäjille että ulkopuolisille. Maasulkureleen tehtävä on toimia maasulkusuojuksena. Maasulut aiheuttavat hengenvaarallisia kosketusjännitteitä maasulkukohdissa ja tulipalovaaran. [1.]

Suomessa on yleensä huonot maadoitusolosuhteet ja ne aiheuttavat kosketusjänniteongelmia. Sen vuoksi keskijänniteverkko on joko tähtipisteestään maasta erotettu tai sammutettu sammutuskuristimien kautta. Edellä mainituilla toimenpiteillä saadaan pienennettyä verkon maasulkuvirtaa ja näin ollen myös kosketusjännitettä maasulkutilanteissa. Tällä tavoin pyritään välttämään hengenvaarallisten sähköiskujen syntyminen. [1.]

Suomen keskijänniteverkot on rakennettu suurimmaksi osin avojohtoina (noin 80 prosenttia). Loput keskijänniteverkoista on rakennettu maa- tai vesistökaapeleina 13 ja ilmakaapeleina 7 prosenttia. Maaseuduilla keskijänniteverkko onkin yleensä avojohtoa ja taajamissa maakaapelia. Koko keskijänniteverkkojen yhteispituus on 140 000 kilometriä. [1;3.]

#### Suomen pienjänniteverkot

Suomen pienjänniteverkoissa käytetään yleensä 400 voltin jännitetasoa. Pienjänniteverkolla siirretään yleensä kymmeniä tai satoja kilowatteja muutamia satoja metrejä. Haja-asutusalueilla voidaan sähköä siirtää jopa muutamia kilometrejä, mutta siirrettävät tehot ovat yleensä alle kilowatin. Pienjänniteverkkoa käytetään yleensä keskijänniteverkon tavoin säteittäisenä. Syöttöpisteenä toimii useimmiten 20/0,4 kilovoltin jakelumuuntamo, jossa sijaitsee vikavirta- ja ylikuormitussuojaukset. Haja-asutusalueilla pienjänniteverkko on rakennettu AMKA-riippukierrehdoilla ja pylväsmuuntamalla. Taajamissa muuntamo on lähes aina koteloitu ympäristöön sopeutuva puistomuuntamo ja johdot ovat maakaapelia. [1.]

Suomessa pienjänniteverkon suojaukselle on asetettu tiukat vaatimukset. Verkkokomponenttien suojauksen lisäksi pitää estää hengenvaarallisten tilanteiden syntyminen, sillä pienjänniteverkko aiheuttaa eniten vaarallisia kosketusjännitteitä. Suomessa yli 60 prosenttia kuolemaan johtaneista sähköiskutapaturmista on aiheutunut pienjännitteellä. Tämä johtuu pienjännitekojeiden runsaasta määrästä ja siitä, että ihmiset ja paloherkät rakenteet päätyvät usein lähelle pienjännitejohtoa. Sen vuoksi pienjänniteverkossa on oltava kunnon maadoitus, jonka tärkein tehtävä on toimia vaarallisten kosketusjännitteiden potentiaalintasaajana. Asianmukaisesti tehdyillä maadoituksilla vältetään vaarallisten kosketusjännitteiden esiintyminen. Pienjänniteverkoissa tapahtuva jakelun keskeytyminen ei yleensä aiheuta merkittäviä kustannuksia jakeluverkkoyhtiöille. [1.]

Suomen pienjänniteverkot on rakennettu lähes kokonaan kaapeleina. Ilmakaapeleina pienjänniteverkkoa on 58 prosenttia, kun taas maakaapeleina on 39 prosenttia. Loput 3 prosenttia pienjänniteverkosta on avojohtoa. Pienjänniteverkkojen yhteispituus on 240 000 kilometriä. [3.]

### 2.3 Jakeluverkkojen merkitys

Sähkön loppukäyttäjähinta, sähkön laatu ja yleinen sähköturvallisuus riippuvat voimakkaasti sähkönjakeluverkoista ja niihin liittyvistä toiminnoista [1].

Sähkönjakeluverkkoliiketoiminnan osuus sähkön kokonaishinnasta vaihtelee yleensä 15–50 prosentin välillä. Osuuden suuruuteen vaikuttaa käyttäjän sähkönkäyttömäärä, sillä mitä suurempi on sähkönkäyttö, niin sitä pienempi on siirtomaksun suhteellinen osuus sähkön loppukäyttäjähinnasta. Loput loppukäyttäjähinnasta koostuvat veroista ja sähkön hinnasta. Yleensä kotitalousasiakkaalta perittävän verottoman siirtomaksun suuruus on 3–4 senttiä kilowattitunnilta. Tässä maksussa ovat kaikki jakeluverkon kustannuskomponentit mukana. Keskijänniteverkkoon liitetyille teollisuusasiakkaille siirtomaksu on pienempi, koska siirtomaksuun ei sisälly jakelumuuntamoiden ja pienjänniteverkon kustannusosuuksia. [1.]

Häiriö jakeluverkossa on lähes aina syy sähkönkäyttäjien kokemaan sähkökatkoon. Alueverkoissa ja siirtoverkoissa esiintyvät viat pystytään yleensä rajaamaan niin, että häiriö ei näy sähkönkäyttäjälle. Tästä johtuen jakeluverkot aiheuttavat yli 90 prosenttia sähkönkäyttäjien kokemista sähkökatkoista. Keskijänniteverkossa oleva vika aiheuttaa yleensä useita satoja sähkönkäyttäjää koskevan sähkökatkon, kun taas pienjänniteverkossa oleva vika koskee vain muutamia sähkönkäyttäjää. Tämän vuoksi keskijänniteverkoilla on olennaisempi rooli sähkökatkojen aiheuttajana. Jakeluverkko ja siinä olevat kuormitukset vaikuttavat loppukäyttäjän jännitetasoon ja muihin jännitteen laatuun liittyviin tekijöihin, kuten jännitekuoppiin ja -piikkeihin. [1.]

### 2.4 Sähköverkkoliiketoiminta

Suomessa sähkönjakelua harjoittaa vajaat sata verkkoyhtiötä. Valtaosassa verkkoyhtiöistä yritysmuoto on osakeyhtiö, ja loppuissa se on kunnallinen liikelaitos. Jakeluverkkoliiketoiminta on voimakkaasti säädeltyä ja valvottua monopolitoimintaa. Valvonnasta vastaa Energiamarkkinavirasto eli EMV, joka toimii kauppaja- ja teollisuusministeriön ohjauksessa. Jokaisella verkkoyhtiöllä on jakelualue, johon sillä on yksinoikeus rakentaa sähkönjakeluverkkoja. Jakelualue on Energiamarkkinaviraston vahvistama alue. Yksittäinen

sähkökäyttäjä saa kuitenkin kilpailuttaa liittymisjohdon rakentamisen. Yksittäinen sähköntuottaja voi myös rakentaa liittymisjohtonsa jakelualueen yli toisen verkkoyhtiön verkkoon. [1.]

Jakeluverkkoliiketoiminnassa eniten valvotaan liiketoiminnasta syntyvää voittoa. Jokaiselle verkkoyhtiölle on määritetty sallittu maksimivoittotaso. Verkkoon sitoutuneen pääoman määrä vaikuttaa merkittävästi maksimivoittotason määrään ja erilaiset investoinnit jakeluverkkoon yleensä kasvattavat sitä. Myös sähkön laatua ja erityisesti käyttövarmuutta valvotaan. Sähkön laatua kuvataan yleensä keskeytyskustannuksilla. Verkkoyhtiöiden tehokkuusmittauksessa sähkön laatu toimii yleensä yhtenä parametrina. Keskeytyskustannusten pienentyminen lisää verkkoyhtiölle sallittua liikevaihtoa ja voittoa, kun taas keskeytyskustannusten kasvu vähentää niitä. Suomessa on käytössä vakiokorvausmenettely, joka määrää verkkoyhtiön maksamaan sähkökäyttäjälle korvauksen, mikäli käyttäjä kokee pituudeltaan yli 12 tuntia kestävän sähkökatkon. Sähkömarkkina- laissa on myös asetettu verkkoyhtiöille sähköverkkojen kehittämisvelvoitteita. Energiamaarkkinavirasto voi velvoittaa kehittämisen laiminlyöneen verkkoyhtiön toimiin, jotta sähköverkko saadaan sähkömarkkinalain mukaiseen tilaan. [1.]

## 2.5 Uusi sähkömarkkinalaki

Uusi sähkömarkkinalaki 588/2013 astui voimaan 1.9.2013. Uuden sähkömarkkinalain tavoitteita ovat sähkönjakeluverkkojen toimitusvarmuuden parantaminen ja palvelujen tason nostaminen. Jakeluverkkoyhtiöiden kannalta olennaisia lakipykäläiä ovat mm. pykälät 51, 100 ja 119. [6.]

Lakipykälä 51 määrää sähkönjakeluverkon suunnittelulle, rakentamiselle ja ylläpidolle vaatimukset. Asemakaava-alueella vaatimuksena on, että siellä tapahtuva jakeluverkonvioletuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheita asiakkaille yli kuusi tuntia kestävää sähkönjakelun keskeytystä. Muualla kuin asemakaava-alueella vaatimuksena on, että siellä tapahtuva jakeluverkonvioletuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheita asiakkaille yli 36 tuntia kestävää sähkönjakelun keskeytystä. [7.]

Lakipykälä 119 määrää, kuinka pian pykälän 51 vaatimukseen on päästävä. Pykälän 51 vaatimukset on täytettävä portaittain vuoden 2028 loppuun mennessä kaikkien asiakkaiden kohdalta. Vaatimusten on täyttyttävä vähintään 50 prosentilla kaikista jakeluverkon

käyttäjistä vapaa-ajan asunnot pois lukien viimeistään 31.12.2019 ja 75 prosentilla viimeisään 31.12.2023. [7.]

Lakipykälä 100 määrää vakiokorvauksesta loppukäyttäjälle. Loppukäyttäjällä on oikeus vakiokorvaukseen ilman eri vaatimusta. Vakiokorvauksen suuruus riippuu loppukäyttäjän keskeytysajasta ja vuotuisesta siirtopalvelumaksusta. Vakiokorvauksen vähimmäismäärä on 10 prosenttia ja enimmäismäärä on 200 prosenttia loppukäyttäjän vuotuisesta siirtopalvelumaksusta yhden kalenterivuoden aikana. Vakiokorvaus voi myös suurimmillaan olla 1500 euroa, jos keskeytys on alkanut ennen 1.1.2018. Vakiokorvaus keskeytyksestä, joka on alkanut 1.1.2018 tai tämän jälkeen, voi olla suurimmillaan 2000 euroa. [7.]

Muuttuneet laatuvaatimukset lisäävät sähköverkkoyhtiöiden tarvetta rakentaa varmemmin toimiva sähköverkko portaittain seuraavien vuosien aikana. Nämä muutokset ovat näkyneet ja tulevat näkymään vielä vuosia sähköverkkoyhtiöiden toiminnassa mm. investointien lisäämistä sähköverkkoon ja sähköverkon vuosikustannusten kasvamisena. Vuonna 2014 asemakaava-alueiden asiakkaista 72 prosenttia ja haja-asutusalueiden asiakkaista 26 prosenttia olivat uusien laatuvaatimusten piirissä. Vuoden 2016 loppuun mennessä asemakaava-alueilla päästiin jo 81 prosenttiin ja haja-asutusalueilla 31 prosenttiin. Sähköverkon jakeluvarmuuden parantamiseen kohdistuvat investoinnit koskevat myös lähivuosina enimmäkseen asemakaava-alueita. Vasta kun asemakaava-alueet täyttävät vaaditun toimitusvarmuuden siirrytään investoimaan enemmän haja-asutusalueilla sijaitsevaan sähköverkkoon. Näin saadaan nopeammin enemmän asiakkaita uudet vaatimukset täyttävän jakeluverkon piiriin. Tämä kasvattaa eroja haja-asutusalueiden ja asemakaava-alueiden jakeluverkoissa. [6; 8.]

### **3 Jakeluvarmuuden parantaminen**

#### **3.1 Maakaapelointi**

Maakaapeloitu sähköverkko ei ole alttiina sääilmiöille. Myrskyt ovat aiheuttaneet merkittäviä tuhoja ja laajoja, yli satojatuhansia kotitalouksia koskevia, sähkökatkoja Suomessa. Valio-myrsky aiheutti syksyllä 2015 sähkökatkoja yli 200 000 kotitaloudelle ja sähköyhtiöille aiheutuneet kustannukset nousivat 17 miljoonaan euroon. Rauli-myrsky aiheutti ke-

sällä 2016 sähkökatkoja noin 200 000 kotitaloudelle ja sähköyhtiöille aiheutuneet kustannukset olivat noin 15 miljoonaa euroa. Tällaisten suurhäiriön sattuessa verkkoyhtiöiden on tärkeämpää ohjata resurssinsa keskijänniteverkossa sijaitsevien vikojen korjaamiseen, jotta laajat sähkökatkot saataisiin korjattua nopeasti. Tällöin hyvinkin pieni ja helposti korjattavissa oleva pienjänniteverkon vika voi aiheuttaa pahimmillaan päiviä kestävänsä sähkönjakelun keskeytyksen yksittäiselle asiakkaalle. Myös lumikuormat aiheuttavat vikoja ilmajohtojen, etenkin pienjänniteverkossa. Maakaapeliverkossa vikojen määrää on huomattavasti pienempi kuin ilmajohtoverkossa ja verkko on immuuni sääilmiöille. Useimmat viat maakaapeliverkossa johtuvat kaapelin vaurioitumisesta muun rakentamisen, erityisesti maankaivamisen, yhteydessä. [1; 9.]

Maakaapeleiden teknistaloudellinen elinikä vaihtelee 40 ja 50 vuoden välillä. Yleensä maakaapelit asennetaan vähintään 70 senttimetrin syvyyteen. Jos kyseiseen asennussyvyyteen ei päästä, voidaan kaapelit suojata betonoimalla tai suojakourulla. Maakaapelit pyritään asentamaan aurasmenetelmällä, joka on mahdollista, kun maaperä ei ole kivikoinen tai kalliota. Aurasnopeus on parhaimmillaan useita kilometrejä päivässä. Auraus suoritetaan yleensä tien tai pellon laitaan. Maakaapeliverkko on lähes aina kokonaispituudeltaan ilmajohtoverkkoa pidempi, sillä ilmajohtoverkko voidaan rakentaa mutkia oikovalla suoralla pylväslinjauksella. [1; 10.]

Maakaapelin investointikustannus on isompi kuin ilmajohtojen. Pienjänniteverkoissa maakaapelin hinta on vain hieman AMKA-riippukierrejohtoa kalliimpi, mutta maakaapelia tarvitaan usein enemmän. Auraaminen on yleensä edullisempaa kuin pylvästäminen. Maakaapeliverkko on myös mitoitettava tarkemmin ja pidemmälle aikavälille sillä sen joustavuus erilaisiin verkkomuutoksiin on rajoitetumpi ja muunneltavuus on kalliimpi kuin ilmajohtoverkolla. Maakaapeliverkossa asiakasliitynnät ja haaroitukset tehdään yleensä sulakkeilla varustetuissa jakokaapeissa. Tämä lisää maakaapeliverkon kustannuksia, sillä ilmajohtoverkossa asiakasliitynnät on rakennettu suorana haaroituksena runkojohdosta ilman välisulakkeita. Sääalttiina ilmajohtojen ylläpitokustannukset ja sähkökatkojen aiheuttamat kustannukset ovat yleensä maakaapelia huomattavasti suuremmat. Näin maakaapeli ei tule pitkällä aikavälillä ilmajohtoa kalliimmaksi vaan elinkaarikustannukset ovat lähes samat. Maakaapeloinnin yleistyessä kaapelin elinkaarikustannukset muuttuvat ilmajohtoa edullisemmiksi. [1; 10.]

### 3.2 Kaapelointiasteen kasvu

Sähköverkkoihin tehdään Suomessa satojen miljoonien eurojen edestä investointeja vuosittain. Investoinnit ovat kasvaneet huomattavasti viime vuosina, etenkin uuden sähkömarkkinalain säätämisen jälkeen. Vuonna 2010 sähköverkkoihin investoitiin noin 450 miljoonaa euroa, ja 2016 investoinnit jäivät hieman alle 800 miljoonaan euroon. Jotta uuden lainsäädännön asettamat vaatimukset saavutettaisiin, on Suomen sähköverkkoihin investoitava noin yhdeksän miljardia euroa. Suurin osa investoinneista kohdistuu ilmajohtoverkkojen korvaamiseen maakaapeliverkoilla. Tiheästi asutuilla alueilla jakeluverkko on usein rakennettu maakaapeleilla eikä näillä alueilla toimivien jakeluverkkoyhtiöiden tarvitse tehdä mittavia maakaapelointihankkeita. Haja-asutus alueilla ja maaseudulla toimivat jakeluverkkoyhtiöt joutuvat taas tekemään huomattavia investointeja ilmajohtoverkkojen korvaamiseksi maakaapeliverkoilla. Nämä investoinnit maksavat yhtiöille kymmeniä jopa satoja miljoonia euroja vuosittain. Rahoittaakseen mittavat rakennusurakat useat yhtiöt ovat korottaneet asiakkailta perittäviä sähkönsiirtomaksuja. Keskijänniteverkon maakaapelointiasteen odotetaan nousevan 47 prosenttiin ja pienjänniteverkon maakaapelointiasteen odotetaan nousevan 65 prosenttiin vuoteen 2029 mennessä. [8; 11.]

Sähköverkkoyhtiö Elenia Oy investoi vuonna 2017 yli 120 miljoonaa euroa säävarmaan sähköverkkoon. Yhtiö rakentaa yli 3000 kilometriä säävarmaa sähköverkkoa vuodessa. Yhtiön tavoitteena on nostaa jakeluverkkonsa maakaapelointiastetta 37 prosentista 70 prosenttiin vuoteen 2028 mennessä. [12.]

Lahti Energia Oy nostaa keskijänniteverkkonsa maakaapelointiastetta 42 prosentista 69 prosenttiin vuoteen 2028 mennessä. Yhtiön tavoitteena on saada kaupunki- ja taajama-alueelle keskijänniteverkon maakaapelointiasteeksi yli 95 prosenttia. Siksi se aikoo rakentaa myös haja-asutusalueiden pienjänniteverkon pääosin maakaapeloituna ilmajohtojen sijaan. [13.]

Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy investoi vuosien 2016–2020 aikana sähköverkkoonsa 52 miljoonaa euroa. Investoinnin pääkohteina ovat ilmajohtojen maakaapelointi Kanta-Oulussa, Kiimingissä ja Yli-lissä sekä vanhojen kaapeleiden uusiminen Oulun keskusta-alueella. [14.]

Rauman Energia Oy:n tavoitteena on nostaa jakeluverkkonsa 70 prosentin maakaapelointiaste 80 prosenttiin vuoden 2020 aikana. Yhtiö tavoittelee asemakaavoitetuille alueille lähes 100 prosenttista maakaapelointiastetta nykyisen 88 prosentin sijaan. [15.]

Sähköverkkoyhtiö Caruna Oy käytti vuonna 2016 yhteensä 238 miljoonaa euroa sähköverkkonsa parantamiseen. Suurin osa tästä summasta käytettiin keskijänniteverkon maakaapelointiin. Kokonaisuudessaan vuonna 2016 Caruna rakensi 4566 kilometriä pien- ja keskijännitemaakaapeliverkkoa ja yhtiön sähköverkon kaapelointiaste oli 40 prosenttia vuoden päätteeksi. Yhtiö on jatkanut sähköverkkonsa parantamista maakaapeloinnilla keskijännitteistä sähköverkkoaan myös vuoden 2017 alussa. Yhtiö investoi 12 miljoonaa euroa maakaapeloidakseen 200 kilometriä keskijänniteverkkoa Perniön ympäristössä sekä saaristossa Taalintehtaalta Hiittiseen. Lisäksi yhtiö investoi 2,7 miljoonaa euroa maakaapeloidakseen 40 kilometriä keskijänniteverkkoa Lohjalla. [16; 17; 18.]

Kymenlaakson Sähköverkko Oy investoi 14 miljoonaa euroa toimitusvarmaan sähköverkkoon vuonna 2016. Investoinnin pääpaino kohdistuu ilmajohtoverkon muuttamiseen maakaapeliverkoksi. 2016 Yhtiö maakaapeloi 60 kilometriä keskijänniteverkkoa ja vuonna 2017 investoinnit kasvoivat yhdellä miljoonalla ja keskijänniteverkkoa maakaapeloidaan 80 kilometriä. Yhtiö nostaa vuonna 2017 maakaapelointiasteensa 18 prosenttiin. Investoinnit sähköverkon toimitusvarmuuteen jatkuvat 15 miljoonalla eurolla vuodessa vuoteen 2028 asti. [19; 20.]

Vuonna 2017 Järvi-Suomen Energia Oy investoi 36 miljoonaa euroa säävarmaan jakeluverkkoon ja rakentaa 700 kilometriä maakaapeliverkkoa. Yhtiön tavoite on maakaapeloida kaikki taajama-alueiden sähköverkot vuoden 2019 loppuun mennessä. [21.]

### 3.3 Jakeluverkon siirtäminen tien varteen

Maakaapelointi ei ole kuitenkaan aina kustannustehokkaasti kannattava tapa parantaa jakeluverkon toimitusvarmuutta. Joissain tapauksissa verkonhaltijan toimintaympäristö ja paikalliset olosuhteet tekevät maakaapeloinnista huonosti sovellettavan ja erittäin kalliin toimenpiteen jakeluvarmuuden parantamiseksi. Etenkin maaseutumaisilla haja-asutusalueilla toimivat jakeluverkkoyhtiöt eivät pyri maakaapeloimaan koko jakeluverkkoaan ja yhtiöiden kehittämissuunnitelmien mukaan keskijänniteverkon maakaapelointiaste

nousee keskimäärin 26 prosenttiin. Kun maakaapelointi ei ole kannattavaa täytyy metsissä kulkevien ilmajohtokatuojen vieruksia hoitaa tehokkaammin tai siirtää jakeluverkko teiden varteen. [1; 8]

Suurin osa Suomen haja-asutusalueiden sähköverkoista sijaitsee metsässä, sillä verkkoja rakennettaessa pyrittiin säästämään materiaalikustannuksissa. Ilmajohdot rakennettiin kulkemaan viivasuoraan metsissä, jotta johtopituudet jäivät mahdollisimman lyhyiksi. Lisäksi maankäyttö sopimukset saatiin yleensä edullisesti ja vaivattomasti. Nykyään suositaan teiden laidoille rakennettua ilmajohtoverkkoa. Kun ilmajohtoverkko siirretään metsästä tien varteen, sen käyttövarmuus paranee, sillä puustosta aiheutuvien viikojen määrä puolittuu. Tien varteen sijoitettavalle ilmajohtoverkolle tien puoli on jo valmiiksi raivattu ja uutta verkkoa rakennettaessa tarvitsee tehdä puolet vähemmän raivauksia. Myös verkon huoltotoiminta myös paranee huomattavasti, kun ilmajohtojen luokse pääsee helpommin ja nopeammin. Teiden varsiin rakennetun ilmajohtoverkon kokonaispituus kuitenkin kasvaa hieman ja verkko koetaan näköhaitaksi. [1; 8.]

Savon Voima Verkko Oy investoi 50 miljoonaa euroa sähköverkkoonsa vuonna 2016. Yhtiön tarkoitus on rakentaa vuosittain yhteensä 1000 kilometriä säävarmaa sähköverkkoa, josta puolet on maakaapeloitua. Haja-asutusalueilla sijaitseva sähköverkko siirretään teiden varsiin maakaapeloinnin sijaan. Lisäksi yhtiö pyrkii vähentämään myrskyistä ja lumikuormista aiheutuvia haittoja hoitamalla vuosittain sähköjohtojen vierimetsiä 500 kilometrin johtopituudelta. [22.]

### 3.4 Jakeluautomaatio

Sähkönjakeluverkkoautomaatio eli jakeluautomaatio tarkoittaa yleisesti erilaisten jakeluverkostojen valvontaa, hallintaa ja käyttöä. Jakeluautomaatiolla voidaan toteuttaa erilaisia ohjauksia ja mittauksia, sekä välittää tilatietoja ja hälytyksiä. Sähkönjakeluverkon automatisointi on kustannustehokas ratkaisu, ja se parantaa verkon käyttöastetta ja lisää verkon luotettavuutta. Jakeluautomaation ansiosta on helpompi ja nopeampi tunnistaa häiriöt sähkönjakelussa sekä rajata ne. Näin ollen kuluttajien sähkönjakelun keskeytysaikoja voidaan lyhentää ja sähkökatkoja voidaan jopa kokonaan välttää. Esimerkiksi muuntamo, joka on varustettu kaukokäyttölaitteistolla, voidaan ohjata sähköverkon

käyttökeskuksesta. Vikatilanteen tapahtuessa ei tarvitse lähteä paikan päälle muunta-moon tekemään vikapaikan erotusta, vaan se voidaan hoitaa käyttökeskuksesta käsin kauko-ohjatuilla erottimilla. [23; 24.]

### 3.5 Jakeluautomaation toiminnot

Jakeluautomaatio toteutetaan yleensä usean eri tason (muun muassa valvomo, verkko, ala-asema) toiminnoilla, jotka ovat toteutettavissa myös asteittain. Jakeluautomaatiota käytetään enimmäkseen 20 kilovoltin jakeluverkon hallintaan. Automaation päätehtäviä ovat häiriötilanteiden selvittely, keskijännitejakeluverkonkäyttö, sähköaseman kauko-käyttö, paikallisautomaatio ja verkoston tilan seuranta. [23.]

Jakeluautomaatio lyhentää häiriön tunnistamiseen ja rajaamiseen käytettyä aikaa sekä nopeuttaa kuluttajien sähkönjakelun palauttamista. Erilaiset häiriönselvityksen tietojär-jestelmät keräävät verkon mittauksista ja automaatiotoiminnasta saatavilla olevaa tietoa ja yhdistävät sitä pysyvissä tietokannoissa oleviin tietoihin. Tällä tavalla saadaan tietoa esimerkiksi verkostossa tapahtuvan häiriön todennäköisestä sijainnista ja laajuudesta. Erilaisilla käytöntukijärjestelmillä voidaan selvittää varayhteyksien käyttömahdollisuudet vaikean häiriötilanteen aikana. Näiden tietojärjestelmien tarkoituksena on toimia ope-raattoreiden päätöksenteon tukena, mutta ne pystyvät joissain tapauksissa suorittamaan kytkentöjä itsenäisesti. Järjestelmien tehokas hyödyntäminen edellyttää, että sähköase-milla on käytössä modernit suojaireleet. Niillä pystytään mittaamaan ja lähettämään eri-laista informaatiota, kuten vikavirtojen suuruuksia, tietojärjestelmien käytettäväksi. [1; 23.]

Jakeluautomaatio helpottaa keskijännitejakeluverkon käyttötoimintoja. Verkon erottimien kaukokäytöllä nopeutetaan kytkentämuutosten tekoa. Perinteisen käsin ohjattavan erot-timen ohjaukseen kuluva aika on yleensä kymmeniä minutteja. Ohjaukseen kuluvaan aikaan vaikuttaa erottimen paikka sekä korjaajien sijainti ja valmiusaste. Kaukokäytöllä vikapaikan erottaminen ja varayhteyksien kytkeminen nopeutuvat huomattavasti. Jake-luverkon jännitteensäädöllä pyritään pitämään kuluttajan jännitetaso mahdollisimman optimaalisena sekä vaikuttamaan verkoston häviöihin. Jakeluautomaatiolla on myös hel-pompi ohjata loistehon kompensointia. [1; 23.]

Jakeluautomaatio mahdollistaa sähköasemien kaukokäytön. Kaukokäytöllä mahdollistetaan katkaisijoiden ja erottimien sekä muuntajien käämikytkimien kauko-ohjaus ja erilaiset mittaukset sähköaseman kiskostosta ja johtolähdöistä. Sähköaseman paikallisautomaatiolla mahdollistetaan aseman paikallisohtaus. Sillä pystytään vähentämään sekä taloudellisia että turvallisuusriskejä ja toteuttamaan paikallisia ylläpitotoimintoja. Tällaisia toimintoja ovat esimerkiksi jännitteensäätö ja hälytyskäsittely. [23.]

Verkoston tilan seurannalla tarkoitetaan verkon normaalitilan seurantaan liittyviä toimintoja ja verkoston ylläpidon ja suunnittelun tarpeisiin tuotettavia toimintoja. Tällaisia toimintoja ovat muun muassa verkkokartan ja kytkentätilanteen ylläpito, verkon komponenttien kaukovalvonta, sähköverkon kuormien ennustaminen ja sähkön laatutekijöiden valvonta. [23.]

### 3.6 Investoinnit jakeluautomaatioon

Useat jakeluverkkoyhtiöt ovat onnistuneet vähentämään asiakkaiden kokemia sähkökatkoja ja niistä aiheutuvia haittoja lisäämällä jakeluverkkoonsa jakeluautomaatiota. Erityisesti yhtiöt joiden jakeluverkko on lähes kokonaan maakaapeloitu investoivat jakeluautomaatioon. [1.]

Vantaan Energia Sähköverkot Oy parantaa sähkönjakeluvarmuuttaan muuntamoautomaatoratkaisulla. Yhtiön tarkoitus on lisätä keskijänniteverkon hallintaa ja monitorointia. Muuntamoautomaatoratkaisut hankitaan teknologiayritys Emtele Oy:ltä, ja ne koskevat kaupunkiverkon toimintavarmuuden kannalta keskeisiä ja kriittisiä muuntamoita. [25.]

Emtele ja Helen Sähköverkko Oy tekivät vuonna 2014 elinkaari palvelusopimuksen muuntamoautomaatiosta. Sopimukseen kuului kaukokäyttö- ja mittaustoiminnallisuuden asentaminen ja ylläpito 200:lle muuntamolle. Yhtiöt jatkavat sopimusta 150 muuntamalla, sillä Helen Sähköverkon mukaan muuntamoautomaatiota lisäämällä ja valvontaa laajentamalla sähkönjakelun luotettavuus ja laatu ovat parantuneet. [26.]

Turku Energia Sähköverkot Oy hankki vuonna 2015 Emteleltä kokonaispalvelun lisäämään jakeluverkkonsa kauko-ohjausta ja valvontaa. Palvelulla Turku Energia Sähköverkot on onnistunut lyhentämään huolto- ja viankorjausaikoja sekä vähentää sähkönjakelun keskeytyksistä aiheutuvia haittoja. Yritykset jatkavat yhteistyötään muuntamoiden

etäluettavalla vianilmaisun palvelulla. Palvelulla saadaan tietoa keskijänniteverkossa esiintyvistä vioista ja sillä voidaan entisestään lyhentää viankorjausaikoja ja vähentää keskeytyksistä aiheutuvia haittoja. [27.]

## 4 Älykäs sähköverkko

Älykkäällä sähköverkolla tarkoitetaan sähkönsiirtojärjestelmää, jossa sähkövoimatekniikkaan on yhdistetty automaatio-, tieto- ja viestintäteknologiaa. Älykkään sähköverkon ansiosta on mahdollista liittää pienimuotoista hajautettua energiatuotantoa valtakunnan sähköverkkoon, mikä taas mahdollistaa uusiutuvan energian laajamittaisemman hyödyntämisen ja tekee siitä taloudellisesti kannattavampaa. Sähköyhtiöt pystyvät tasamaan sähköverkonkuormitusta voimalaitoksia, energiavarastoja ja sähkökuorman ohjauksella hyödyntäen. Älykäs sähköverkko parantaa sähköverkon siirtokapasiteettia ja vähentää asiakkaiden sähkökatkoja. [28.]

### 4.1 Hajautettu tuotanto

Sähköverkossa siirrettävä sähköenergia tuotetaan pääosin suurissa voimalaitoksissa, joissa tuotantokustannukset ovat tavallisesti vähäisemmät kuin pienissä voimalaitoksissa. Tuotettu energia syötetään joko siirto- tai alueverkkoon ja sieltä se siirretään yksisuuntaisesti asiakkaalle asti. Viime aikoina sähköverkon eri jänniteportaisiin ja sähkönkäyttäjien omiin sisäisiin verkkoihin on ilmaantunut uutta hajautettua sähköntuotantoa. Suomessa käytettäviä hajautetun tuotannon tuottajia ovat aurinko-, tuuli-, pienvesi-, polttomoottori-, mikroturbiini- ja polttokennovoimalaitokset. Hajautettua tuotantoa edustavilla pienvoimalaitoksilla on monia etuja. Niissä käytettävä polttoaine on yleensä ilmaista, tästä esimerkkinä tuulivoimalaitokset. Lisäksi niiden rakentaminen on vaivattomampaa: rakentamisaika on lyhyempi, ne vaativat pienemmät pääoma investoinnit ja sijoituspaikka on helpompi valita. [1.]

Sähkönjakelujohtoon liitetty pienvoimalaitos tuottaa sähköenergiaa sähköverkkoon eli se toimii negatiivisena kuormituksena sähköverkolle. Pienvoimalaitos nostaa lähiseutunsa jännitettä ja johtohaaran loppupäässä sijaitseva voimalaitos pienentää johdon energiahäviöitä ja onkin enimmäkseen myönteinen asia. Pienvoimalaitokset vaikuttavat kuitenkin johtojen mitoitukseen silloin kun ne kykenevät tuottamaan sähköä tarpeen vaatiessa.

Aurinko- ja tuulivoimalaitokset eivät ole tällaisia voimalaitoksia. Liiallinen jännitteennousu on kuitenkin haitallista ja tietyn alueen verkkoon liitettyjen voimalaitosten yhteisteho rajoittuukin alueen kuormitusten mukaan. Jännitteennousua voidaan kuitenkin vähentää vahvistamalla keskijänniteverkkoa tai verkon rengaskäytöllä. Pienvoimalaitoksen jakeluverkkoon tuoma uusi syöttösuunta tukeekin verkon käyttöä silmukoidusti. Rengaskäyttöä myös tukee pienvoimalaitosten vaikutus jakeluverkkojen oikosulkuvirtoihin. Muuttuneet oikosulkuvirrat voivat aiheuttaa virhetoimintoja säteittäiskäyttöön suunnitelluille ja asennetuille vikavirtasuojauksille. Hajautetun tuotannon lisääntyminen Suomen sähköjakeluverkoissa tekee jakeluverkonkäytöstä silmukoidusti entistä paremman vaihtoehdon. [1.]

### Uusiutuvat energialähteet sähköntuotannossa

Energiantuotannossa pyritään yhä enemmän vähentämään hiilidioksidipäästöjä ja hidastamaan ilmastonmuutosta. Siksi uusiutuvien energialähteiden suosio on kasvanut, mutta ne ovat vielä hyvin pieni osa Suomen sähköntuotannosta. Suomessa oli vuoden 2015 lopussa 387 tuulivoimalaa, joilla tuotettiin sähköä 2,3 terawattituntia ja katettiin 2,8 prosenttia koko Suomen sähkönkulutuksesta. Aurinkovoimalla tuotettiin vaatimattomat 10 gigawattituntia ja katettiin 0,1 promillea koko Suomen sähkönkulutuksesta. Yleisimpiä uusiutuvien energialähteiden tuottajia ovat omakotitalot, toimistotalot ja julkiset tilat. Tällaisten pientuottajien tavoite on tuottaa itse oma sähkönsä ja näin pienentää sähkölaskuaan. [29; 30.]

Jos sähköä pystyy tuottamaan enemmän kuin sitä tarvitsee, niin ylijäämä myydään sähköverkkoon. Tällainen hajautettu ja voimakkaasti säästä riippuva sähköntuotanto tuo oman haasteensa sähköverkoille. Voimalaitokset ennustavat sähkön kulutusta ja säätelevät tuotantoa sähkön tarpeen mukaan. Hajautettu tuotanto taas ei säätele itseään, vaan se tuottaa sähköä yleensä silloin kun aurinko paistaa tai tuulee. Sopivissa sääolosuhteissa uusiutuva energiantuotanto laskee sähkön markkinahintaa. Tämä heikentää sähkövoimalaitosten kannattavuutta, mutta sähköä pitää olla asiakkaille tarjolla silloin kun nämä eivät sitä itse pysty tuottamaan. Fingrid on varautunut tähän ennustamalla itse tuulivoiman tuotantoa. Tuulivoiman ennustamista on kehitetty, jotta sen hyödyntäminen helpottuisi. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy on kehittänyt tuuliennusteisiin ja todennäköisyyslaskentaan perustuvan mallin. Siinä huomioidaan eri voimalaitosten tuotanto erilaisilla tuulivoimakkuuksilla. On myös kehitetty uusi sähkömarkkinamalli, jossa tarjonta ja kysyntä joustavat. [30.]

## Sähkön kysyntäjousto

Sähkölämpöjärjestelmässä tällä hetkellä joustaa säädeltävä tuotanto. Tulevaisuuden sähköjärjestelmän tarkoituksena on, että myös sähkön kysyntä joustaisi. Suomen vapaille sähkömarkkinoilla tämä tarkoittaa rakenteiden uudistamista. Kysynnän jousto tarjoaa parhaimmillaan taloudellisia hyötyjä sekä energian käyttäjille, että tuottajille. Sähköverkon haltijat joutuisivat taas investoimaan verkkoonsa, sillä jousto vaatii uutta tekniikkaa. [30.]

Tärkeää on tarjota kotitalouksille helppoja ja taloudellisia mahdollisuuksia ohjata sähkökäyttöään. Suomalaisissa pientaloissa on jo 4500 megawattia sähkölämmitystehoä. Sähkölämmittäisissä taloissa lämminvesivaraaja tarjoaisi helpon ratkaisun. Vesivaraaja lämmitettäisiin järjestelmän kannalta parhaaseen aikaan. Etäluettavissa sähkömittareissa on jo nyt tekniset valmiudet sähkölämmityksen ohjaamiseen. Varaajan lämmitysteho voi toimia myös reservinä häiriötilanteissa. Etäluettavan sähkömittarin sijaan koteihin voidaan asentaa suoraan ohjausjärjestelmä, jolla voidaan ohjata sähkökäyttöä suoraan valvomosta. [30; 31.]

Sähkölämmityksen lisäksi joustavia sähkökäyttökohteita voivat olla toimistorakennusten ja liikekiinteistöjen ohjattava ilmanvaihto, jäähdytys ja valaistus sekä suuret sähkökäyttökohteet, kuten pakastamot ja kasvihuoneet. Sähköautojen lisääntyminen tukee myös joustavaa kysyntää, jos niiden lataamista voidaan ohjata. Myös lämpöpumppuja on mahdollista hyödyntää joustavasti, mutta niiden hyödyntäminen pitäisi ottaa huomioon pumppua asennettaessa. Jotta sähköjakelu pysyisi luotettavana on tarjonnan pysyttävä joustavana. Erilaiset sähkövarastot tarjoavat joustoa sähköjärjestelmälle sekä kulutus- että tuotantohuipuissa. Ohjattavaa tuotantoa on edelleen oltava esimerkiksi nopeasti käynnistettävänä ja pysäytettävänä polttomoottorivoimalaitoksina, helposti ohjattavana vesivoimana tai lauhde- ja vastapainelaitoksina. Olennaista on, että eri kysynnänjouston toteutukset ovat nopeasti, sekunneissa tai jopa millisekunneissa, säädettäviä ja ohjattavia ratkaisuja. [30; 31.]

## 4.2 Tiedonkulku sähköverkossa

Sähköverkkojen etähallinta on kasvaa voimakkaasti Suomessa. Sillä pystytään vähentämään sähkökatkojen määriä ja kestoja. Lisäksi se antaa mahdollisuuden liittää hajautettua tuotantoa sähköverkkoon ja hallita sitä luotettavasti. Kasvava etähallinta vaatii sähköverkolta luotettavaa tiedonsiirtokykyä ja uutta teknologiaa. [30.]

### Etäluettava sähkömittari

Suomessa lain mukaan 80 prosentilla jakeluverkkojen asiakkaista on oltava käytössä etäluettava sähköenergiamittari. Käytännössä sellainen löytyy melkein jokaisesta suomalaisesta kotitaloudesta. Etäluettavat sähkömittarit keräävät yksityiskohtaista tietoa asiakkaan sähkökulutuksesta. Niiden avulla on helpompaa ja tarkempaa mallintaa eri asiakastyypin kuormat. Mittarit mahdollistavat sähkökulutuksen seuraamisen tunnin tarkkuudella. Niiden avulla sähkön myyjä voi laskuttaa asiakasta tarkemmin. Verkkoyhtiöt pystyvät myös hyödyntämään mittareita vianhallinnassa. Sähköverkon eri osista saadaan mittareiden avulla tietoa valvomoiden tietojärjestelmien analysoitaviksi ja näin vikojen tunnistaminen ja estäminen helpottuvat. Etäluettavista sähkömittareista saadaan erittäin tarkkaa tietoa sähkölaadusta. Mittarit kykenevät lähettämään automaattisesti tiedon verkkoviasta ja näin ohjaamaan huoltoryhmän suoraan vikapaikalle. Tämä lyhentää sähkökatkojen kestoja. [30.]

Elenia asentaa sähköverkkoonsa noin 30 000 uuden sukupolven sähkömittaria. Sähkökulutus- ja tehotiedot saadaan entistä nopeammin, sillä uusien mittareiden mittausjakso on 5–15 minuuttia kun se aikaisemmin oli noin yhden tunnin mittainen. Mittarit tukevat uusien ohjauspalveluiden tarjontaa. Lisäksi ne antavat lähes reaaliaikaista tietoa sähkökulutuksesta myös asiakkaille ja näin mahdollistavat joustavamman sähkönkäytön. [32.]

### Parantunut vianhallinta

Sähköverkon vikoja ei pystytä kokonaan eliminoimaan, mutta niiden määrää ja kestoja kyetään vähentämään lisäämällä verkkoon uutta teknologiaa. Ihanteellisimmillaan tulevaisuuden älykäs sähköverkko löytää vikatapauksessa automaattisesti sähkölle uuden jakelureitin eikä asiakkaalle aiheudu minkäänlaista häiriötä. [30.]

Caruna on kehittänyt vianhallintaansa keskijänniteverkoissa. Yhtiö on tutkinut teollisuus-konserni ABB:n kanssa automaattioratkaisuja avojohtoiselle keskijänniteverkolle, jota on vaikea siirtää maan alle suojaan myrskyiltä. Yleinen vika tällaisessa verkossa on maasulku, joka syntyy useimmiten silloin kun kaatunut puu koskettaa avojohtoa. Silloin kun puu johtaa sähkön sujuvasti maahan, sähköasemalla sijaitseva suojarole havaitsee vian jännitteen ja virran muutoksista. Suojarole ei kuitenkaan aina havaitse vikaa, jos sähkön johtavuus on heikompaa. Esimerkiksi kallioisen maaperän tai jäätyneen maan ja puun vuoksi sähkön johtavuus saattaa heiketä. Tällöin on kyseessä suuri-impedanssinen maasulku, joka voi aiheuttaa jakeluverkossa laajan häiriön. Lisäämällä verkkoon vianilmaisimia ja keskittämällä tiedonhallintaa sähköasemille saadaan hyödynnettyä kaikkien johtolähtöjen ja suojaroleiden tietoja, ja suuri-impedanssisia vikoja kyetään tunnistamaan entistä paremmin. Carunan ja ABB:n hankkeessa vikapaikka löytyi 1–2 kilometrin säteellä, kun perinteisessä sähköverkossa vikapaikka tunnistetaan pahimmillaan vain 50 kilometrin säteellä. [30.]

#### 4.3 Sähkönvarastointi

Sähkönvarastointi tarjoaa ratkaisun huonosti ennustettavalle ja vaihtelevalla sähköntuotannolle. Erilaisten sähkövarastojen ansiosta sähköenergiaa pystytään tuottamaan milloin tahansa ja käyttämään halutulla hetkellä. Kun sähköntuotanto on kulutusta suurempi, voidaan sähköenergia varastoida myöhempää käyttöä varten. Silloin kun kulutus on suurempaa tuotto, voidaan käyttää varastoitua sähköenergiaa tuotannon lisäämisen sijaan. Näin sähkötuotannon voi pysyä tasaisempana, eikä sen tarvitse reagoida jokaisen kulutuksen vaihtelun mukaan. Sähkönvarastointi tarjoaa varavoimaa sähköverkolle ja tasoittaa jännite- ja taajuusvaihteluja. Varastoitu energia mahdollistaa nopean ja tarkan tehonsäädön, mikä pitää sähköverkon jännitteet optimaalisella alueella. Sähkönvarastointi mahdollistaa myös yksittäisten alueiden sähköjakelun erillään kantaverkosta. Näin voidaan vähentää kuluttajille aiheutuvia sähkökatkoja. Kuluttajat pystyvät myös vaikuttamaan sähkölaskuunsa varastoimalla sähköenergiaa, kun sen hinta on alhaalla ja käyttämään, sitä kun hinta on korkeampi. Älykkäässä sähköverkossa sähkövarasto on monitoimityökalu, joka sovittaa vaihtelevaa tuotantoa ja kulutusta. [30; 33; 34.]

#### Sähkövarastot

Sähkövarastojen tärkeimmät komponentit ovat akut, tehoelektroniikka sekä ohjaus- ja automaatiojärjestelmät. Sähköenergia varastoidaan akkuihin, joista se saadaan käyttöön tarvittaessa. Akun ja sitä syöttävän verkon välillä on myös tasasuuntaaja, jotta vaihtovirta saadaan muutetuksi akkujen vaatimaksi tasavirraksi. Hallintaohjelmisto on myös osa sähkövarastoa. Se kytkee akut sähköverkkoon, valvoo verkon tilaa ja kerää verkosta tietoa. Hallintaohjelmisto säätelee varastoidun energian määrää, sekä optimoi akkujen latauksen ja käytön, mikä mahdollistaa sähkövaraston käytön jakeluverkon tarpeiden mukaan. [33.]

Sähkövarastoissa käytetään erilaisia akkuteknologioita, joita ovat muun muassa natriumsulfaatti-, nikkelikadmium-, lyijyhappo- sekä litiumioniakut. Sopivin akkuteknologia valitaan käyttökohteen vaatimusten mukaan. Olennaisinta on, miten pitkään ja miten nopeasti akusta saadaan energiaa. Myös akun hyötysuhde, käyttöikä, valmistuskustannukset ja turvallisuus vaikuttavat käytettävän akkuteknologian valintaan. Lyijyhappoakuilla on alhaiset valmistuskustannukset, ja ne sopivat parhaiten varavoimakäytön lisäksi jännitteen ja taajuuden säätelyyn. Natriumsulfaattiakut ovat edullisempia valmistaa kuin lyijyhappoakut. Niissä on myös lyijyhappoakkua parempi energiatiheys ja hyötysuhde. Nikkelikadmiumakut ovat luotettavia, ja niillä on pitkä käyttöikä. Litiumioniakkuja ovat olleet liian kalliita käytettäväksi sähkövarastoissa. Niitä on kuitenkin käytetty paljon muissa pienemmissä sovelluksissa ja sitä kautta ne ovat kehittyneet huomattavasti energiatihemmiksi ja edullisemmiksi. Tällä hetkellä niillä onkin keskiarvoa parempi, noin 90 prosentin hyötysuhde, ja ne ovat varteenotettava vaihtoehto sähkön varastoimiseksi. [33.]

Sähkövarastoissa on paljon kehitettävää. Varastojen akuista saadaan käyttöön vain noin 80 prosenttia varastoidusta energiasta. Suomen nykyinen lainsäädäntö ei tunnista sähkön varastointia tällä hetkellä, mikä vaikeuttaa sähkövarastojen käyttöönottoa ja kasvattaa käyttökustannuksia. Tällä hetkellä sähkövarasto luokitellaan samaan aikaan sekä kulutukseksi että tuotannoksi. Näin ollen sähköä ladattaessa täytyy maksaa siirtomaksut ja verot. Kun varastoitua sähköä käytetään, joudutaan maksamaan tuotantomaksu. [33; 34.]

Helsingin energia on ottamassa käyttöön pohjoismaiden suurimman sähkövaraston. Sähkövaraston teho on 1,2 megawattia ja energiakapasiteetti 600 kilowattituntia. Varastossa käytetään litiumioniakkukenkoja ja sen investointikustannus on noin 2 miljoonaa euroa. Aluksi varastoa käytetään tutkimuskäytössä Helen Sähköverkon ja Fingridin

kanssa. Tutkimushankkeella pyritään tarkastelemaan ja koestamaan sähkövaraston toiminnollisuutta. Tarkoituksena on myös kehittää uusia sähkön varastoinnin liiketoimintamalleja, jotka soveltuvat erityisesti pohjoismaisille energiamaarkkinoille. Aluksi varasto toimii osana Fingridin taajuusohjattua käyttö- ja häiriöreserviä. Varastoa hyödynnetään myös Suvilahden aurinkovoimalan tuotannon optimoinnissa ja alueen jakeluverkon kuormitushuippujen tasoittamisessa. Tutkimuksen jälkeen sähkövarastoa käytetään osana Helenin uusiutuvaa hajautettua energiajärjestelmää. [34.]

## Sähköautot

Sähköautolla tarkoitetaan yleisesti akkusähköautoa, jossa perinteinen polttomoottori on vaihdettu sähkömoottoriin. Toinen merkittävä ero polttomoottoriautoon on, että ajamiseen käytettävä energia on varastoitu akkuihin polttoainetankin sijaan. Akut pystytään lataamaan ulkopuolisesta sähköenergiälähteestä. [35.]

Sähköautojen määrän ja käytön huomattava lisääntyminen voi aiheuttaa huomioitavan kuorman sähköverkoille. Merkittävä määrä peruslataustehoilla, eli 2,3–3,6 kilowatilla, ladattavia sähköautoja ei aiheuta isompia ongelmia tämänhetkisissä sähköverkoissa. Sen sijaan suuri määrä pikalataustehoilla, eli 20–55 kilowatilla, ladattavia sähköautoja voi sekoittaa sähköverkon tasapainoa paikallisesti. Esimerkiksi jos suuri määrä sähköauton käyttäjiä lataisi autonsa työpäivän jälkeen saavuttuaan kotiin, lataaminen aiheuttaisi sähköverkolle huomattavan kuorman ja edellyttäisi lisäinvestointeja sähköverkkoon. Lataamista ohjaamalla lisäkustannukset jäisivät hyvin vähäisiksi. Tämänhetkiset sähköautojen latausjärjestelmät eivät tue ohjattua lataamista. Ideaalisimmillaan sähköautot tasapainottavat sähköverkon kuormitusta varastoimalla hajautetun tuotannon energiaa akkuihinsa. Latauksessa oleva sähköauto toimisi väliaikaisena sähkövarastona. Jos sähköauton akustosta saataisiin purettua sähköenergiaa sähköverkkoon, voitaisiin välttää kotitalouksien sähkökatkoja, sillä akustosta saataisiin hetkellisesti tarvittava energia. Kuluttajat voisivat myös pienentää sähkölaskuaan käyttämällä energiaa sähköautostaan sähkönhinnan ollessa korkealla. [30; 36; 37.]

Helen Oy, Helen Sähköverkko, ABB ja Fingrid ovat aloittaneet älykkään sähköverkon kokeilun Helsingin Kalasatamassa. Hanke toimii älykkään sähköverkon mallialueena ja sen on tarkoitus tarjota 8000 työpaikkaa ja kodin 20 000 henkilölle 2030-luvun alkuun mennessä. Kalasataman vieressä sijaitsee kaksi Suomen suurimpia aurinkovoimaloita ja pohjoismaiden suurin sähkövarasto. Kalasataman keskijännitteinen jakeluverkko on

rakennettu rengasverkoksi, jotta sähkönsyöttö on päällä jatkuvasti kahdesta eri suunnasta. Alueen sähköverkossa on myös älykäs kauko-ohjattava muuntamo, jolla sähkökatkojen kestoa lyhennetään entisestään. Kiinteistöt rakennetaan soveltuvaan sähkön kysynnänjoustoon. Noin sadassa kotitaloudessa on otettu käyttöön HIMA-kotiautomaatio palvelu, jolla asiakas voi seurata reaaliaikaisesti sähkönkäyttöään ja ohjata sähkölaitteitaan etänä. Alueelle on sähköautojen latauspisteitä ja muutamassa asuinkiinteistössä kokeillaan sähköautojen yhteiskäyttöpalvelua. Hankkeen on tarkoitus toimia suunnan- näyttäjänä älykkäille sähköverkoille ja tuottaa ajattomia energiaratkaisuja. [38; 39.]

#### 4.4 Tasasähkö

Jakeluverkkoja uusittaessa pienjännitteinen tasasähkö tarjoaa taloudellisen ratkaisun sähkönjakelulle. Suomessa verkkovirraksi on valittu vaihtovirta eli vaihtosähkö. Sen etuja tasasähköön verrattuna ovat muun muassa jännitteen helppo säädettävyys. Tasasähköjakelun hyötyjä ovat, nopeasti säädettävä ja vapaasti ohjattava teho, pitkät yhteydet on aina mahdollista kuormittaa termiselle rajalle asti ja tasasähkökaapeleissa ei tarvita loistehon kompensointia. Tasasähköyhteydellä voidaan yhdistää vaihtosähköverkkoja asynkronisesti eli yhdistettävillä verkoilla voi olla käytössä eri taajuus tai erilaiset taajuudensäätöperiaatteet. Vesistöjen poikki kulkevissa kaapeleissa vaihtosähköllä voidaan siirtää energiaa parhaimmillaan noin 100 kilometrin matka. Pidemmällä etäisyyksillä johtimissa syntyvä loisteho heikentää merkittävästi siirtokapasiteettia. Tasasähkö on ainoa järkevä vaihtoehto pitkille ja suuritehoisille merikaapeliyhteyksille. [30; 40.]

Tehoelektronikan kehitys ja yleistyminen ovat tehneet tasasähköstä järkevän vaihtoehdon pienjännitteiseen jakeluverkkoon. Kun keskijänniteverkon avojohdot vaihdetaan maakaapeleihin, voidaan osa korvata pienjännitteisellä jakeluverkolla. Nykyisistä keskijänniteverkkojen haarajohdoista voitaisiin korvata 30–40 prosenttia kustannuksiltaan alhaisemmalla pienjännitteisellä tasasähköverkolla. Tämä laskee kaapeloinnin kokonaisuuhintaa huomattavasti. Tasasähköllä on huomattavasti vaihtosähköä parempiin tehonsiirtokyky pienjännitteisessä sähkönjakelussa. Tasasähköverkkoon on helpompi liittää hajautettua tuotantoa ja sähkövarastoja. Tämä lisää jakelujärjestelmän joustavuutta ja ohjattavuutta ilman lisäinvestointeja. [30.]

Tasasähkö on parempi vaihtoehto myös mikroverkkoihin. Mikroverkko on pienen alueen, muutaman kymmenen asiakkaan, sähköverkko, jonka voi tarpeen vaatiessa erottaa julkisesta verkosta omaksi saarekkeeksi. Siinä on oma tuotanto ja energianvarastointi, jotka voivat tarjota sähköä useita tunteja, vaikka laajemmassa sähköverkossa olisi sähkönjakelu katkennut. Tasasähköä voidaan käyttää myös erityiskohteissa, kuten tievalaistuksissa, sähköautojen latausjärjestelmissä ja kiinteistöissä. Kiinteistöihin tarvittaisiin silloin tasavirran vaihtovirraksi muuttava vaihtosuuntaaja. Suuntaajan täytyy syöttää oikosulkuvirtaa, jotta perinteiset sulakkeet ja johdonsuojakatkaisijat toimisivat edelleen. Suuntaajat on ylimitoitettava reilusti tavalliseen käyttötilanteeseen nähden, jotta nykyinen verkonsuojaus toimisi normaalisti. Tämänhetkisellä suuntaajatekniikalla pystyttäisiin parantamaan sähkönlaatua entisestään muun muassa vähentämällä jännitetasovaihteluita. Keskijänniteverkon lyheneminen ja paikalliset mikroverkot parantaisivat sähkön toimitusvarmuutta ja pienentäisivät verkon saneeraus kustannuksia. [30; 40.]

Lappeenrannan teknillinen yliopisto ja Suur-Savon Sähkö Oy ovat kehittäneet 750 voltin pienjännitteisen tasasähköön perustuvan mikroverkon. Suur-Savon Sähkö Oy:n jakelualueelle rakennettu verkko on pituudeltaan noin kaksi kilometriä ja siihen on liitetty akkuvälikvaransi varasto sähkön varastoimiseksi. Verkko sijaitsee haja-asutusalueella ja syöttää neljää omakotitaloa. Verkkoon on kehitetty ja asennettu uusia suojausmenetelmiä, kuten vaihtosuuntaajan älyyn perustuva suojalaite. Uusien suojausmenetelmien ansiosta kustannuksia kasvattavasta vaihtosuuntaajien ylimitoituksesta on luovuttu. [41.]

Elenia, teknologiayritys Ensto Finland Oy ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto aloittivat syksyllä 2015 LVDC RULES -hankkeen, jossa kehitetään tuotantokäyttöön soveltuvaa tasasähkötekniikkaa sekä sen edellyttämiä toimintamalleja ja kumppaniverkostoja. Hankkeen ensisijaisena tavoitteena on tehdä mahdolliseksi tasasähkönjakelun laajamittaisen tuotantokäytön aloittaminen. Taustatavoitteena on uuden suomalaisen teknologiavientiliiketoiminnan syntyminen edesauttaminen. Hankkeen on tarkoitus päättyä vuoden 2017 lopussa. Elenian jakeluverkkoon tehdään tasasähkönjakelun pilottiasennus hankkeen tulosten pohjalta. Asennus tulee olemaan huomattavasti laajempi kuin aikaisemmat tutkimusasennukset. [42.]

## 5 Yhteenveto

Työn tekemisessä haastavaa oli se, että eri osa-alueista löytyvä tiedon määrä vaihteli suuresti. Jakeluverkkoyhtiöt antavat sivuillaan vaihtelevasti tietoa jakeluverkkoonsa liittyvistä hankkeista. Osa yhtiöistä kertoi tarkasti, mihin investoidaan, kuinka paljon ja mikä on investoinnin tarkoitus, kun taas jotkut yhtiöt kertoivat hyvin niukasti. Osa eri lähteistä löytyvästä informaatiosta oli ristiriidassa keskenään ja samoista asioista käytettiin erilaisia termejä eri lähteissä. Työstä olisi saanut kattavamman, jos kaikki jakeluverkkoyhtiöt antaisivat keskenään vertailukelpoista tietoa jakeluverkoistaan. Aikataulussa pysyminen tuotti vaikeuksia, kun joulun aikana pidetty tauko venyi lähes kuukauden pituiseksi. Työn loppupuolella edistyminen hidastui huomattavasti ja uutta tekstiä oli vaikea saada aikaan. Pyydettyäni palautetta työn tekeminen alkoi taas sujua ja sain sen vietyä mallikkaasti loppuun asti.

Muuttunut sähkömarkkinalaki ja sen sähköjakeluvarmuuteen liittyvät portaittain kiristyvät vaatimukset edellyttävät parannuksia nykyiseen sähköverkkoon. Myrskyn tai lumikuorman aiheuttama sähköjakelun keskeytys ei saa kestää asemakaava-alueella yli 6 tuntia ja muualla yli 36 tuntia. Jakeluverkkoyhtiöiden ensisijainen tavoite on tehdä jakeluverkostaan säävarma, jotta myrskyt ja lumikuormat eivät aiheuttaisi häiriöitä sähköjakelussa.

Paras keino säävarman verkon saavuttamiseksi näyttää olevan oman jakeluverkon siirtäminen maan alle maakaapeleina. Keskijänniteverkon maakaapelointiaste tulee kasvamään nykyisestä noin 19 prosentista 47 prosenttiin ja pienjänniteverkon maakaapelointiaste tulee 42 prosentista 65 prosenttiin. Maakaapelointiaste painottuu lähivuosiin tiheästi asutuille alueille, ja useilla jakeluverkkoyhtiöillä on tavoitteena saada taajama-alueiden jakeluverkko kokonaan maakaapeleiksi. Harvemmin asutuilla alueilla ei pyritä yhtä kattavaan maakaapeliverkkoon, vaan jakeluvarmuutta parannetaan myös siirtämällä ilmajohdot maahan metsistä teiden varsiiin. Yhtiöt, joiden jakeluverkko on jo pääosin maakaapelointi, keskittyvät etenkin keskijänniteverkon automaation lisäämiseen. Jakeluverkoautomaatiolla pystytään tunnistamaan ja rajaamaan sähköjakelun häiriöt entistä nopeammin. Sen vuoksi keskeytyksiä sähköjakelussa voidaan lyhentää tai jopa kokonaan välttää.

Säätlemättömän sähkötuotannon lisääntyminen ja entistä suuremmat kulutushuiput aiheuttavat myös muutostarvetta sähköverkolle. Muutoksiin varaudutaan tutkimalla uusia

ratkaisuja, kuten mikroverkkoja tai sähkönvarastointia, ja kehittämällä olemassa olevia kuten etäluettavia sähkömittareita. Tavoitteena on kehittää älykäs sähköverkko, joka kykenee tasaamaan sähkötuotannon ja -kulutuksen väliset erot ohjaamalla tuotannon lisäksi asiakkaiden sähkönkäyttöä ja varastoimalla sähköä. Lisäksi se kykenee havaitsemaan erilaiset viat verkossa ja korjaamaan ne automaattisesti. Tällainen sähköverkko vaatii merkittävästi uutta teknologiaa, jota ei ole vielä laajamittaisessa käytössä. Tällä hetkellä osa jakeluverkkoyhtiöistä asentaa tutkimustarkoituksessa jakeluverkkoonsa uutta teknologiaa. Asennukset eivät koske isoja alueita eivätkä ne ole investointikustannuksiltaan kauhean suuria verrattuna jakeluvarmuuden parantamiseen käytettyihin investointeihin, mutta niiden tuloksilla on vaikutus siihen mitä älykkään sähköverkon ratkaisuja otetaan laajamittaisemmin käyttöön tulevaisuudessa.

## Lähteet

- 1 Lakervi, Erkki ja Partanen, Jarmo. 2012. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Ota-tieto.
- 2 Suomen sähkövoimajärjestelmä. 2016. Verkkodokumentti. Fingrid. <<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Suomen%20s%C3%A4hk%C3%B6voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Sivut/default.aspx>>. Luettu 7.11.2016.
- 3 Sähköverkkojen rakenne. 2016. Verkkodokumentti. Energia teollisuus. <[http://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiaverkot/sahkoverkot](http://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiaverkot/sahkoverkot)>. Luettu 7.11.2016.
- 4 Korpinen Leena. 2008. Sähkön siirto- ja jakeluverkot. Verkkodokumentti. <[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/3sahkon\\_siirto\\_ja\\_jakeluverkot.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf)>. Luettu 7.3.2017.
- 5 Nurmi, Simo. 2013. Kantaverkon määritelmä ja kantaverkkoon kuuluvien sähköjohtojen ja laitteistojen nimeäminen. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <[http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Verkkotoimikunta/2013/2.12.2013/Kantaverkon%20m%C3%A4r%C3%A4rjestelm%C3%A4%20ja%20kantaverkkoon%20kuuluvien%20s%C3%A4hk%C3%B6johtojen%20ja%20laitteistojen%20nime%C3%A4minen%20\(2\).pdf](http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Verkkotoimikunta/2013/2.12.2013/Kantaverkon%20m%C3%A4r%C3%A4rjestelm%C3%A4%20ja%20kantaverkkoon%20kuuluvien%20s%C3%A4hk%C3%B6johtojen%20ja%20laitteistojen%20nime%C3%A4minen%20(2).pdf)>. Luettu 7.11.2016.
- 6 Nurmi Simo. 2013. Sähkömarkkinalainsäädännön uudistamisen vaikutuksia sähköverkkotoimintaan. Verkkodokumentti. Energiavirasto. <<https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Simo+Nurmi.pdf/ad9cda69-6353-406d-a36e-5d77de59bad2>>. Luettu 15.11.2016.
- 7 Sähkömarkkinalaki. 588/9.8.2013.
- 8 Sähköverkkoliiketoiminnan kehitys, sähköverkon toimitusvarmuus ja valvonnan vaikuttavuus 2016. 2017. Verkkodokumentti. Energiavirasto. <<http://www.energiavirasto.fi/documents/10191/0/S%C3%A4hk%C3%B6verkkoliiketoiminnan+kehitys+s%C3%A4hk%C3%B6verkon+toimitusvarmuus+ja+valvonnan+vaikuttavuus+2016.pdf/7a6c1c7a-219e-48b0-bf57-e4bc550e98ea>>. Luettu 13.3.2017.
- 9 Harma, Olli. 2016. Rauli-myrsky ravisteli Eleniaa. Verkkodokumentti. Talouselämä. <<http://www.talouselama.fi/uutiset/rauli-myrsky-ravisteli-eleniaa-6578792>>. Luettu 15.11.2016.
- 10 Elenia Säavarma - Kysymyksiä ja vastauksia. 2016. Verkkodokumentti. Elenia. <[http://www.elenia.fi/sahko/saavarma\\_ukk](http://www.elenia.fi/sahko/saavarma_ukk)>. Luettu 16.11.2016.

- 11 Suomen valvotuin toimiala. 2017. Verkkodokumentti. Energia uutiset. <<http://www.energiuutiset.fi/etusivu/suomen-valvotuin-toimiala.html>>. Luettu 1.3.2017.
- 12 6 vuotta, 600 miljoonaa euroa ja yli 6000 henkilötyövuotta säävarmaan sähköverkkoon. 2017. Verkkodokumentti. Elenia. <<http://www.elenia.fi/uutiset/6-vuotta-600-miljoonaa-euroa-ja-yli-6000-henkil%C3%B6ty%C3%B6vuotta-s%C3%A4%C3%A4varmaan-s%C3%A4hk%C3%B6verkkoon>>. Luettu 13.3.2017.
- 13 Verkostostrategia. 2016. Verkkodokumentti. Lahti Energia. <<http://www.lahtienergia.fi/sahkon-siirto/verkostostrategia>>. Luettu 21.11.2016.
- 14 Sähkön siirtohinnat nousevat Oulussa kesäkuun alussa. 2016. Verkkodokumentti. Oulun Energia. <<https://www.ouluenergia.fi/uutiset/sahkon-siirtohinnat-nousevat-oulussa-kesakuun-alussa>>. Luettu 21.11.2016.
- 15 Suni, Kari. 2016. Rauman Energia yhtiöittää sähköverkon ja investoi kaapelointiin. Verkkodokumentti. Satakunnan Kansa. <<http://www.satakunnankansa.fi/satakunta/rauman-energia-yhtioittaa-sahkoverkon-ja-investoi-kaapelointiin-13971828/>>. Luettu 21.11.2016.
- 16 Caruna-konserni toimintakertomus ja tilinpäätös 2016. 2016. Verkkodokumentti. Caruna. <[https://caruna-cms-prod.s3-eu-west-1.amazonaws.com/caruna\\_konsernitilinpaaotos\\_2016.pdf?OjwApVkJTsjpYeePI5tovDfktw15i0j8](https://caruna-cms-prod.s3-eu-west-1.amazonaws.com/caruna_konsernitilinpaaotos_2016.pdf?OjwApVkJTsjpYeePI5tovDfktw15i0j8)>. Luettu 10.3.2017.
- 17 Caruna maakaapeloituu tuntuvasti Perniön ympäristössä sekä Taalintehtaalta Hiittiseen. 2017. Verkkodokumentti. Caruna. <<http://www.caruna.fi/ajankohtaista/caruna-maakaapeloituu-tuntuvasti-pernion-ymparistossa-seka-taalintehtaalta-hiittiseen>>. Luettu 10.3.2017.
- 18 Caruna investoi sähkönsiirron toimitusvarmuuteen 2,7 miljoonaa euroa Lohjalla. 2017. Verkkodokumentti. Caruna. <<http://www.caruna.fi/ajankohtaista/caruna-investoi-sahkonsiirron-toimitusvarmuuteen-27-miljoonaa-euroa-lohjalla>>. Luettu 10.3.2017.
- 19 Investoinnit toimitusvarmuuteen tuottavat tulosta. 2017. Verkkodokumentti. Kymenlaakson Sähkö. <<https://www.ksoy.fi/yritystieto/uutishuone/ajankohtaista/2017/investoinnit-toimitusvarmuuteen-tuottavat-tulosta>>. Luettu 1.3.2017.
- 20 Kymenlaakson Sähköverkko investoi toimitusvarmuuteen tänä vuonna 14 miljoonaa euroa. 2016. Verkkodokumentti. Kymenlaakson Sähkö. <<https://www.ksoy.fi/yritystieto/uutishuone/ajankohtaista/2016/kymenlaakson-sahkoverkko-investoi-toimitusvarmuuteen-tana-vuonna-14-miljoonaa-euroa>>. Luettu 1.3.2017.

- 21 Aikaistetut investoinnit lisäävät kustannuksia. 2016. Verkkodokumentti. Energia Uutiset. <<http://www.energiauutiset.fi/sahkoverkot/aikaistetut-investoinnit-lisaaivat-kustannuksia.html>>. Luettu 1.3.2017.
- 22 Kohti säävarmaa sähköverkkoa. 2017. Verkkodokumentti. Savon Voima. <<https://www.savonvoima.fi/sahkon-siirto/kunnossapito/saavarma/>>. Luettu 15.3.2017.
- 23 Teknisiä tietoja ja taulukoita. 2000. Vaasa: Suomalaiset ABB-yhtiöt.
- 24 Uusitalo, Seija. 2014. Verkostoautomaatio nopeuttaa sähköverkon vianselvitystä. Verkkodokumentti. Helen. <<https://www.helen.fi/uutiset/2014/verkostoautomaatio-nopeuttaa-sahkoverkon-vianselvitysta/>>. Luettu 23.11.2016.
- 25 Parannamme sähkönjakeluvarmuutta. 2016. Verkkodokumentti. Vantaan Energia. <<https://www.vantaanenergiasahkoverkot.fi/parannamme-sahkonjakeluvarmuutta/>>. Luettu 28.11.2016.
- 26 Sähköverkon luotettavuutta parannetaan muuntamoautomaatiolla. 2016. Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko. <<https://www.helensahkoverkko.fi/uutiset/2016/muuntamoautomaatio/>>. Luettu 28.11.2016.
- 27 Kärkkäinen, Minna. 2016. Laajempaa yhteistyötä jakeluverkkoautomaatiossa. Verkkodokumentti. Talotekniikka-lehti. <<http://talotekniikka-lehti.fi/laajempaa-yhteistyota-jakeluverkkoautomaatiossa/>>. Luettu 21.11.2016.
- 28 Älykäs sähköverkko. 2017. Verkkodokumentti. Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus. <[https://www.stek.fi/Alykas\\_sahkon\\_kaytto/fi\\_FI/Alykas\\_sahkoverkko/](https://www.stek.fi/Alykas_sahkon_kaytto/fi_FI/Alykas_sahkoverkko/)>. Luettu 31.1.2017.
- 29 Uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön määrä ennätystasolla. 2016. Verkkodokumentti. Tilastokeskus. <[http://www.stat.fi/til/salatuo/2015/salatuo\\_2015\\_2016-11-02\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/salatuo/2015/salatuo_2015_2016-11-02_tie_001_fi.html)>. Luettu 7.2.2017.
- 30 Valtari, J. Jussila-Suokas, J. & Jacobson, T. 2014. Älykkäät sähköverkot ja energiamarkkinat (SGEM)-ohjelman loppuraportti. Verkkodokumentti. <[http://www.sli-deshare.net/CLEEN\\_Ltd/lykkt-shkverkot-ja-energiamarkkinat-loppuraportti101114lrfinal](http://www.sli-deshare.net/CLEEN_Ltd/lykkt-shkverkot-ja-energiamarkkinat-loppuraportti101114lrfinal)>. Luettu 2.7.2017.
- 31 Roadmap 2025 Sähkömarkkina- ja verkkovisio 2035 & Roadmap 2025. 2017. Verkkodokumentti. Oy Merinova Ab, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto ja Vaasan yliopisto. <[http://energia.fi/files/786/Roadmap\\_2025\\_loppuraportti.pdf](http://energia.fi/files/786/Roadmap_2025_loppuraportti.pdf)>. Luettu 13.3.2017.
- 32 Elenia rakentaa ratkaisua sähkömarkkinoiden kysyntäjoustopon edistämiseksi. 2017. Verkkodokumentti. Elenia. <<http://www.elenia.fi/uutiset/elenia-rakentaa-ratkaisua-s%C3%A4hk%C3%B6markkinoiden-kysynt%C3%A4joustopon-edist%C3%A4miseksi>>. Luettu 13.3.2017.

- 33 Forstén, Erika. 2014. Sähkövarastot vastaavat tämän päivän energiahaasteisiin. Verkkodokumentti. <[http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkotekniikka/fi\\_FI/sahkovarastot/](http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkotekniikka/fi_FI/sahkovarastot/)>. Luettu 14.2.2017.
- 34 Galkin-Aalto, Marina. 2016. Pohjoismaiden suurin sähkövarasto käyttöön Helsingissä. Verkkodokumentti. Helen. <<https://www.helen.fi/uutiset/2016/sahkovarasto/>>. Luettu 14.2.2017.
- 35 Sähköautot. 2016. Verkkodokumentti. Motiva. <[http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/](http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/)>. Luettu 14.2.2017.
- 36 Schildt, Sanna. 2015. Sähköautojen määrä kasvaa – miten sähköverkot kestävä t tulevaisuudessa? Verkkodokumentti. Tampereen teknillinen yliopisto. <<http://www.tut.fi/fi/tietoa-yliopistosta/uutiset-ja-tapahtumat/vaitostiedotteet/sahkoautojen-maara-kasvaa-miten-sahkoverkot-kestavat-tulevaisuudessa-x124930c2/>>. Luettu 14.2.2017.
- 37 Latausasemat. 2013. Verkkodokumentti. Garo Finland. <[http://www.garo.fi/fi/leadmin/garofi/Kataloger/AU/Latausasemat\\_05-13.pdf](http://www.garo.fi/fi/leadmin/garofi/Kataloger/AU/Latausasemat_05-13.pdf)>. Luettu 14.2.2017.
- 38 Haanpää, Susanna. 2015. Älykäs sähköverkko Kala-satamassa. Verkkodokumentti. Helen. <<https://www.helen.fi/helen-oy/ajankohtaista/arjessa/sahko/alykas-sahkoverkko-kalasadamassa/>>. Luettu 14.3.2017.
- 39 Kalasatama Kaupunkirakentamisen uusi standardi. 2017. Verkkodokumentti. ABB. <[https://library.e.abb.com/public/be4b616b13a1559cc1257e15003e0c24/Kalasadama\\_0215.pdf](https://library.e.abb.com/public/be4b616b13a1559cc1257e15003e0c24/Kalasadama_0215.pdf)>. Luettu 14.3.2017.
- 40 Nurminen, Harri. 2006. Tasasähkövoimansiirto. Verkkodokumentti. Fingrid. <<http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kantaverkonABC/Sivut/ABCtasasahkovoimansiirto.aspx>>. Luettu 14.2.2017.
- 41 Tasasähkö vähentää sähkökatkoja. 2015. Verkkodokumentti. Energia Uutiset. <<http://www.energiuutiset.fi/uutiset/tasasahko-vahentaa-sahkokatkoja.html>>. Luettu 14.2.2017.
- 42 Tasasähkö palaa julkiseen sähkönjakeluun. 2016. Verkkodokumentti. Ensto. <<http://www.ensto.com/fi/yhtio/uutiset-ja-media/konserniuutiset/tasasahko-palaa-julkiseen-sahkonjakeluun/>>. Luettu 14.2.2017.