



Open your mind. LUT.

Lappeenranta University of Technology

Ylileveät johtokadut 20 kV ilmajohtoverkoissa
Wide power line corridors in 20 kV overhead
electricity distribution network

Casper Liukkonen

TIIVISTELMÄ

Casper Liukkonen
Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Ylileveät johtokadut 20 kV ilmajohtoverkoissa

2018

Kandidaatintyö.

37 sivua, 9 kuvaa, 1 taulukko, 1 liite

Tarkastaja: TkT Jukka Lassila

Tässä haastattelututkimuksena toteutetussa kandidaatintyössä tutkittiin ylileveiden johtokatu-
tujen käyttöä keskijänniteverkon toimitusvarmuutta parantavana menetelmänä. Tutkimuk-
sessa haastateltiin kahta verkkoyhtiötä: PKS Sähkönsiirto Oy ja Lappeenrannan Energiaver-
kot Oy. Työssä pyrittiin selvittämään ylileveisiin johtokatuihin liittyviä käytäntöjä sekä mil-
laisessa liiketoimintaympäristössä niiden käyttö voisi olla verkkoyhtiön näkökulmasta kan-
nattavaa.

Ylileveät johtokadut ovat suhteellisen uusi toimitusvarmuuden parantamiseen tähtäävä me-
netelmä. Ylileveä johtokatu muodostuu, kun sähkölinjan vierimetsästä kaadetaan kaikki
puut noin 15 m leveältä alueelta, jolloin puut eivät enää yllä kaatumaan tai taipumaan linjan
päälle. Kiinnostuksen kasvu johtuu pääasiassa vuoden 2013 sähkömarkkinalain toimitusvar-
muusvaatimuksista, jotka velvoittavat verkkoyhtiöitä parantamaan toimitusvarmuuttaan
huomattavasti.

Haastatellut yhtiöt pyrkivät käsittelemään sähkölinjoja, joilla on käyttöikä jäljellä 20–30
vuotta, mikä vastaa sitä aikaa, joka vierimetsän puilla menee kasvaa uudestaan sellaisiin
mittoihin, että ne muodostavat jälleen johdolle uhan. Yhtiöt ovat ulkoistaneet hakkuiden to-
teuttamisen metsänhoitoalan ammattilaisille, koska se vaikuttaa myönteisesti hakkuuprojek-
tien onnistumiseen. Tärkeimpiä asioita hakkuiden onnistumisen kannalta ovat hakkuulupien
saaminen maanomistajilta sekä hakkuu-urakoitsijan ammattitaito. Ylileveällä johtokadulla
kulkeva ilmajohto on toimitusvarmuuden näkökulmasta lähellä maakaapelia. Ylileveän joh-
tokadun kustannukset ovat PKS Sähkönsiirrolla 6000–8000 €/km johdon molemmilta puo-
lilta hakattaessa. Ylileveät johtokadut ovat siis hyvin kustannustehokas tapa keskijännite-
verkon toimitusvarmuuden parantamiseen. Ylileveät johtokadut vaikuttavat kannattavalta
vaihtoehdolta toimitusvarmuusvaatimuksien täyttämiseen verkkoyhtiöillä, joiden verkko
kulkee pääasiassa metsässä, ja joiden asiakasmäärä suhteessa verkon pituuteen on pieni. Yli-
leveiden johtokatu-
tujen suosio voi mahdollisesti nousta toimitusvarmuusvaatimuksien aikara-
jojen lähestyessä. Käyttökelpoisuuteen tulevaisuudessa vaikuttavat kuitenkin muutkin asiat,
kuten maakaapeloinnin hinnan lasku.

ABSTRACT

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

Wide power line corridors in 20 kV overhead electricity distribution network

2018

Bachelor's Thesis.
37 pages, 9 pictures, 1 table, 1 appendix
Examiner: D.Sc. Jukka Lassila

The focus of this bachelor's thesis was to research the effectiveness of wide power line corridor as the means of improving the reliability of operation in medium voltage overhead electricity distribution networks. Two distribution companies were interviewed for this paper: PKS Sähkösiirto Oy and Lappeenrannan Energiaverkot Oy. The two companies were interviewed to find out about different practices regarding wide power line corridors, and in what kind operating environment they could be worth considering for distribution companies.

Wide power line corridors are a relatively new method for improving the reliability of operation. Wide power line corridor is formed when all trees within roughly 20 m distance from the power line are cut down, so the trees can no longer fall on to the power lines. The increase in interest in wide power line corridors is mostly due to the 2013 Electricity Market Act's requirements for the distribution companies to improve their reliability of operation significantly.

The companies that were interviewed mostly use wide power line corridors for power lines that have 20–30 years of techno-economical lifetime left. This aligns nicely with the period of time during which the trees near the power line won't pose a threat to the power line. Both distribution companies have outsourced the logging to forest management companies, because that improves the success rate of the wide power line corridor projects. The most important things for a successful project are getting permissions from the landowners and the professionalism of the forest management company. As far as reliability of operation is concerned, an overhead line on a wide power line corridor is relatively close to underground cabling. For PKS Sähkösiirto the expenses of making a wide power line corridor are 6000–8000 €/km, when trees on both sides of the power line are cut down. Thus, wide power line corridors are a very cost-effective way to improve the reliability of operation. Wide power line corridors seem to be an economical way to meet the requirements set in the Electricity Market Act for distributions companies who are operating in forested areas and who have small number of customers relative to the length of their network. The popularity of wide power line corridors may rise in the near future due to the approaching deadlines of requirements for reliability of operation. Their popularity may also be affected by the price decrease of underground cabling.

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1. Johdanto.....	6
1.1 Työn tausta	6
1.2 Työn tavoite ja toteutus	7
2. Verkkoyhtiöiden toimintaympäristö.....	9
2.1 Taustaa Suomen keskijänniteverkoista.....	9
2.2 Sähkömarkkinalaki	10
2.3 Jakeluverkkoliiketoiminnan regulaatiomallin toimitusvarmuuskannustin.....	11
2.4 Johtokadun ja vierimetsän määritelmä	13
2.5 Vierimetsien aiheuttamat uhat sähköverkoille	14
2.6 Jakelunkeskeytykset keskijänniteverkossa	17
3. Vierimetsänhoito ja ylileveät johtokadut keskijänniteverkossa	18
3.1 Tehostetun vierimetsänhoidon hyödyntäminen haastatelluissa verkkoyhtiöissä	19
3.2 Vierimetsänhoidossa mukana olevat sidosryhmät.....	22
3.3 Hoitokohteiden ja hoitotavan valinta.....	23
3.4 Vierimetsänhoitoprojektin toteuttaminen verkkoyhtiön näkökulmasta	25
3.5 Tärkeimmät asiat vierimetsänhoitoprojektin onnistumisen kannalta	27
3.6 Vaikutukset toimitusvarmuuteen	29
3.7 Vierimetsänhoidosta aiheutuvat kustannukset.....	31
3.8 Tehostetun vierimetsänhoidon tulevaisuudennäkymät.....	32
4. Yhteenveto.....	34
5. Lähteet	36

Liitteet

Liite 1: Verkkoyhtiön toteutuneen oikaistun tuloksen laskenta

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

AJK	Aikajälleenkytkentä
AMKA	Pienjänniteverkossa käytettävä riippukierrekaapeli
KAH	Keskeytyksestä aiheutunut haitta
LREV	Lappeenrannan Energiaverkot Oy
PAS	Päällystetty keskijänniteavojohto
PJK	Pikajälleenkytkentä
PKSS	PKS Sähkönsiirto Oy

1. JOHDANTO

Päivä päivältä enemmän sähköstä riippuvaisessa yhteiskunnassa sähkön toimitusvarmuus ja sähköjakelun keskeytysten minimointi on muodostunut erittäin tärkeäksi asiaksi. Verkko-yhtiöiden omistajat odottavat sijoittamalleen pääomalle tasaista tuottoa, ja sähkön loppu-käyttäjät taas odottavat entistä toimitusvarmempaa sähköjakelua. Muutokset verkkoyhtiöiden liiketoimintaympäristössä vaativat verkkoyhtiöitä parantamaan verkkojensa toimitus-varmuutta. Keinoja toimitusvarmuuden parantamiseen on useita, mutta yksi keino ei sovellu kaikkiin eri käyttökohteisiin. Tässä työssä tutkitaan tehostettua vierimetsänhoitoa ja ylile-veitä johtokatuja toimitusvarmuuden parantamiseen tähtäävänä menetelmänä.

1.1 Työn tausta

Vuonna 2013 voimaan tullut sähkömarkkinalaki velvoittaa verkkoyhtiöt parantamaan säh-kön toimitusvarmuutta merkittävästi. Lain mukaan keskeytys sähköjakeluun saa kestää ase-makaava-alueella korkeintaan 6 h ja asemakaava-alueen ulkopuolella korkeintaan 36 h. Ja-keluverkonhaltijan on täytettävä sähkömarkkinalaissa asetetut vaatimukset vastuualueellaan vuoden 2028 loppuun mennessä. Tämä asettaa tulevana vuosina verkkoyhtiöille kovia pai-neita saneerata verkkojaan erityisesti luotettavuuslähtöisesti. Muutos tulee vaatimaan verk-koyhtiöiltä suuria investointeja, koska sähköverkkojen käyttöiän näkökulmasta lakimuutok-sen takaraja tulee vastaan suhteellisen nopeasti. Aikaa muutosten toteuttamiseen on yhteensä 15 vuotta sähköverkkojen normaalin käyttöiän ollessa useita kymmeniä vuosia.

Erityisesti Itä- ja Pohjois-Suomessa suuri osa keskijänniteverkosta kulkee metsämaalla. Met-sässä kulkevan johtokadun reunametsät muodostavat sähkölinjalle uhan, mikäli puut kasva-vat niin pitkiksi, että ne yltävät linjan johtimiin lumikuorman alla taipuessaan tai kaatuessaan esimerkiksi myrskyjen aikana. Linjojen päälle taipuvat tai kaatuvat puut ovatkin Suomessa suurin yksittäinen sähkön jakelun keskeytysten aiheuttaja (Energiateollisuus 2017a). Tämän vuoksi toimitusvarmuuden parantamiseen tähtäävät menetelmät tarkoittavat pääasiassa kei-noja, joilla minimoidaan linjojen vierimetsien aiheuttamat riskit. Tämä voi tarkoittaa esimer-kiksi maakaapelointia, linjan siirtämistä metsästä tienvarteen, tai johtokadun leventämistä niin, että vierimetsän puut eivät kaatuessaankaan yllä linjan päälle.

Paineiden verkon luotettavuuslähtöiseen kehittämiseen ja investointeihin ollessa kovat verkkoyhtiöiden on punnittava käytössään olevien teknologioiden käyttökelpoisuutta ja kannattavuutta omassa toiminnassaan. Verkon nykytilan ja ympäristön vaihdellessa voimakkaasti yhtiöittäin ja alueittain yhtiön oman verkon sisällä, verkon kehittämiseen ei ole olemassa yhtä oikeaa vaihtoehtoa, vaan kukin investointi on käsiteltävä tapauskohtaisesti osana suurempaa kokonaisuutta. Esimerkiksi metsässä kulkevan avojohdon johtokatua voisi leventää, ja hyödyntää jatkossakin jo olemassa olevaa sähkölinjaa. Vastaavasti kyseisen linjan voisi korvata rakentamalla tien viereen uuden, korvaavan ilmajohdon, tai vetämällä tien viereen maakaapelin. Kaikkien vaihtoehtojen elinkaaren aikaiset kokonaiskustannukset ja vaikutukset toimitusvarmuuteen ovat erilaiset. Verkkoyhtiön tavoitteena onkin löytää kussakin tapauksessa kokonaiskustannuksiltaan edullisin vaihtoehto, joka täyttää liiketoiminnalle asetetut reunaehdot. Investointien pitkien aikajänteiden ja jatkuvasti muuttuvan liiketoimintaympäristön vuoksi tämä tehtävä on haasteellinen.

1.2 Työn tavoite ja toteutus

Tässä työssä tutustutaan tehostetun vierimetsänhoidon sekä ylileveiden johtokatujaan käyttöön 20 kV ilmajohtoverkoissa toimitusvarmuuden parantamiseen tähtäävänä menetelmänä. Johtokatua leventämällä voidaan eliminoida puiden kaatuminen tai taipuminen linjan päälle ja siten parantaa verkon toimitusvarmuutta. Johtokadun leventäminen ja siten kyseisen linjan puuvarmaksi tekeminen antaisi mahdollisuuden hyödyntää jatkossakin jo olemassa olevaa verkkoa. Tällöin verkkoyhtiön ei tarvitsisi uusia verkkoa, joka ei ole vielä tullut teknistaloudellisen käyttöikänsä päähän. Työssä selvitetään, millainen ylileveä johtokatu on käytännössä, miten toimiva menetelmä se on toimitusvarmuuden näkökulmasta, sekä millaisia kustannuksia menetelmä aiheuttaa verkkoyhtiölle. Kuvassa 1.1 on esitetty käytännön esimerkki ylileveästä johtokadusta.

Työhön kerätään taustatietoja kirjallisuustutkimuksena. Kirjallisuustutkimuksella taustoitetaan Suomen sähköverkkoyhtiöiden nykyistä tilaa. Lisäksi avataan verkkoyhtiöiden toimintaympäristöä ja sen muutoksia, ja miten nämä muutokset tulevat vaikuttamaan verkkoyhtiöiden toimintaan tulevaisuudessa. Kirjallisuustutkimuksen lisäksi työtä varten haastateltiin kahta verkkoyhtiötä ylileveiden johtokatujaan käytöstä: PKS Sähkönsiirto Oy ja Lappeenrannan Energiaverkot Oy. Haastattelulla selvitetään ylileveisiin johtokatuihin liittyviä käytäntöjä, sekä syitä siihen, miksi ja millaisissa tilanteissa yhtiö on päätenyt menetelmän käyttöön. Näin pyritään muodostamaan kokonaiskuva siitä, millaisessa toimintaympäristössä ylileveiden

johtokatuja käyttö voisi olla verkkoyhtiön näkökulmasta järkevää. Lisäksi haastatteluilla selvitetään käytännön kokemuksia leveiden johtokatuja käytöstä, ja ovatko verkkoyhtiöt kokeneet niiden käytön kannattavaksi omassa toiminnassaan.



Kuva 1.1 Ylileveä johtokatu Kiteellä (Aalto 2017).

2. VERKKOYHTIÖIDEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ

Tässä kappaleessa taustoitetaan verkkoyhtiöiden toimintaympäristöä ja sen muutoksia menneinä ja tulevaisuina vuosina. Kappaleessa käydään läpi sähkömarkkinalain ja sähköverkkoliiketoiminnan valvontamallin muutoksia, sekä miten nämä asiat ovat relevantteja tämän työn kannalta. Lisäksi tutustutaan verkkojen ympäristöön ja olosuhteisiin, ja miten nämä asiat vaikuttavat verkkojen pitkän aikavälin kehittämiseen.

2.1 Taustaa Suomen keskijänniteverkoista

Sähköverkot voidaan jakaa jännitetasonsa mukaan suur-, keski- ja pienjänniteverkkoihin. Keskijänniteverkkoihin luetaan yleisesti jännitetasot 1–70 kV, joskin Suomessa yleisimmin käytössä on 20 kV -jännitetaso. Keskijänniteverkko on pääasiallisesti paikallisten verkkoyhtiöiden omistuksessa. Verkkoyhtiöitä on tällä hetkellä Suomessa noin 80 kappaletta, joista jokaisella on Energiaviraston vahvistama oma toiminta-alueensa. Toiminta-alueellaan verkkoyhtiöllä on alueellinen monopoli. Verkkoyhtiöiden koot vaihtelevat suurista, satojen tuhansien asiakkaiden suuryrityksistä pieniin paikallisyrityksiin, joiden asiakasmäärät voivat olla pienimmillään vain muutamia tuhansia. (Energiavirasto 2015a.)

Keskijänniteverkon rooli sähkönjakelun toimitusvarmuuden kannalta on suuri, koska noin 90 % loppukäyttäjien kokemista sähkökatkoista johtuu keskijänniteverkoissa syntyneistä vioista (Lakervi ja Partanen 2008, 125). Keskijänniteverkon kokonaispituus on noin 140 000 km. Vuonna 2016 suurin osa keskijänniteverkosta, noin 99 000 km tai 70 %, oli päällystämätöntä avojohtoa. Päällystettyä PAS-johdinta oli noin 9000 km tai 6 %. Maa- ja vesistökaapeleiden osuus oli noin 31 000 km, mistä saadaan keskijänniteverkon kaapelointiasteeksi noin 22 %. Ilmakaapeleita käytetään suhteellisen vähän, ja niiden osuus verkon kokonaispituudesta onkin vain 500 km. (Energiateollisuus 2017a.)

Avojohtojen suuri osuus keskijänniteverkossa juontaa juurensa 1950- ja 1960-luvulle, jolloin tapahtui suurin osa maaseudun sähköistämisestä. Tällöin sähkönjakelun luotettavuus ei ollut verkostosuunnittelussa päällimmäisenä kriteerinä, vaan verkon rakentamisessa keskityttiin lähinnä investointien materiaalikustannusten minimointiin. Koska maaseudulla asiakasmäärät ovat pieniä ja välimatkat suuria, tämä tarkoitti yleensä johtopituuden minimoimista vetämällä suora sähkölinja metsien läpi. Myös maankäyttösopimusten tekeminen

maanomistajien kanssa oli helppoa, koska sopimuksella maanomistaja varmisti sähköliittymän saamisen itselleen. Lisäksi johtojen sijoittamista metsiin perusteltiin esteettisillä seikoilla erityisesti asutuksen lähellä, koska metsään sijoitettu sähkölinja oli alueen asukkaille hyvin huomaamaton (Lakervi ja Partanen 2008, 143). Maakaapeleita ei juuri käytetty niiden korkean hinnan vuoksi, vaan linjat toteutettiin avojohtoina. Nykyisin avojohtojen sijainti metsässä on kuitenkin ongelma, koska sähkölinjojen vierimetsien puut aiheuttavat suuren osan loppukäyttäjän kokemista jakelunkeskeytyksistä.

2.2 Sähkömarkkinalaki

Jakeluverkkoliiketoiminnalle on määritelty reunaehdot sähkömarkkinalaissa. Sähkömarkkinalaki tuli voimaan ensimmäisen kerran vuonna 1995, jolloin sähkön myynnin ja siirron liiketoiminnat erotettiin toisistaan. Sähkömarkkinalain tavoitteena on varmistaa edellytykset tehokkaille ja toimiville sähkömarkkinoille, sekä varmistaa kilpailukykyinen sähkön hinta, hyvä toimitusvarmuus ja kohtuulliset palveluperiaatteet sähkön loppukäyttäjälle (Sähkömarkkinalaki 588, 2013). Suomessa valvontaviranomaisena (regulaattorina) toimii Työ- ja elinkeinoministeriön alaisena Energiavirasto.

Uusi sähkömarkkinalaki 588/2013 astui voimaan 1.9.2013. Laki kumosi vuonna 1995 voimaan tulleen sähkömarkkinalain ja asetti verkkoyhtiöille aiempaa tiukempia vaatimuksia sähkön toimitusvarmuuden suhteen. Sähkömarkkinalain 51 §:ssä veloitetaan verkkoyhtiöitä suunnittelemaan, rakentamaan ja ylläpitämään jakeluverkkoaan siten, että lumikuorman tai myrskyn aiheuttama keskeytys käyttäjän sähköjakeluun kestää tulevaisuudessa asemakaava-alueella korkeintaan 6 h ja asemakaava-alueen ulkopuolella korkeintaan 36 h. Näistä rajoista on mahdollista poiketa vain siinä tapauksessa, jos käyttöpaikka sijaitsee saarella, johon ei ole olemassa siltaa tai muuta vastaavaa kiinteää yhteyttä, tai käyttöpaikan vuotuinen sähkönkulutus viimeisen kolmen vuoden aikana on ollut korkeintaan 2500 kWh, ja vaatimusten täyttäminen kyseiselle käyttöpaikalle aiheuttaisi sähköverkkoyhtiölle poikkeuksellisen suuria kustannuksia. (Sähkömarkkinalaki 588/2013.)

Sähkömarkkinalain 119 §:ssä on määritelty sähkön toimitusvarmuuden uusille tavoitetasoille siirtymäajat. Uusien vaatimuksien on täytyttävä vapaa-ajan asunnot pois lukien 50 %:lla jakeluverkon käyttäjistä vuoden 2019 loppuun mennessä, 75 %:lla käyttäjistä vuoden 2023 loppuun mennessä ja kaikkien käyttäjien osalta vuoden 2028 loppuun mennessä. Jake-

luverkonhaltijalla on mahdollisuus hakea lisäaikaa uusiin tavoitetasoihin pääsemiseen vuoden 2017 loppuun asti. Täytäntöönpanoajan siirtäminen edellyttää, että tavoitteisiin pääsemiseksi verkonhaltija joutuisi uusimaan ennenaikaisesti merkittävän osan verkostaan. Näillä perusteilla lisäaikaa tavoitteiden täyttämiseen on mahdollista saada korkeintaan vuoden 2036 vuoden loppuun saakka. (Sähkömarkkinalaki 588/2013.)

Sähkömarkkinalain päivityksen yhteydessä 100 §:ssä määriteltyihin sähkönjakelun keskeyttämisestä maksettaviin vakiokorvauksiin lisättiin kaksi uutta korkeampaa porrasta vähintään kahdeksan päivää kestäville jakelunkeskeytyksille. Vakiokorvauksen määrä loppukäyttäjän vuotuisesta siirtopalvelumaksusta määräytyy seuraavasti:

- 10 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 12 h mutta vähemmän kuin 24 h;
- 25 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 24 h mutta vähemmän kuin 72 h;
- 50 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 72 h mutta vähemmän kuin 120 h;
- 100 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 120 h mutta vähemmän kuin 192 h;
- 150 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 192 h mutta vähemmän kuin 288 h;
- 200 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 288 h.

Myös vakiokorvauksen vuotuista enimmäismäärää sähkönkäyttäjää kohti korotetaan asteittain 700 eurosta 2000 euroon tai enintään 200 %:in vuotuisesta siirtopalvelumaksusta. (Sähkömarkkinalaki 386/1995; Sähkömarkkinalaki 588/2013.)

2.3 Jakeluverkkoliiketoiminnan regulaatiomallin toimitusvarmuuskannustin

Sähkönjakeluliiketoiminnassa ei ole luonnollisen kilpailun aiheuttamia paineita ja kannustimia palveluiden kehittämiseen ja hintojen pitämiseen kohtuullisina, koska verkkoyhtiölle muodostuu toiminta-alueelleen luonnollinen monopoli rinnakkaisten verkkojen rakentamisen korkean hinnan vuoksi. Jotta verkkopalveluiden hinnat pysyisivät kohtuullisina ja asiakkaita kohdeltaisiin syrjimättömästi ja tasapuolisesti, jakeluverkkoliiketoiminta on vahvasti reguloitua. Regulaation avulla pyritään luomaan monopolivaltaiselle liiketoiminnan alueelle keinotekoista kilpailua sekä määräyksiä ja kannustimia yhtiöiden liiketoiminnan kehittämiseen ja tehostamiseen. Suomessa regulaattorina toimii Energiavirasto. Liiketoiminnan regulaatio jakautuu neljän vuoden mittaisiin valvontajaksoihin, joihin sisältyy sekä teknistä että

taloudellista valvontaa. Tällä hetkellä on käynnissä neljäs valvontajakso 2016–2019. Regulaatiomallissa verrataan verkkoyhtiön valvontajakson aikana toteutunutta laskennallista tulosta verkkoliiketoimintaan sitoutuneen pääoman kohtuulliseen tuottoon. Valvonta keskittyy kohtuulliseen pääoman tuottoon, mutta se asettaa kuitenkin todellisuudessa rajan myös salitulle liikevaihdolle. (Partanen et al. 2017.)

Kolmannen valvontajakson 2012–2015 kahdelle viimeiselle vuodelle regulaatiomalliin lisättiin toimitusvarmuuskannustin, joka on käytössä myös neljännellä ja viidennellä valvontajaksolla. Lisäyksellä pyritään huomioimaan sähkömarkkinalain muutoksen tuomien toimitusvarmuusvaatimusten vaikutus verkkoyhtiöiden investointeihin. Vaikka toimitusvarmuusvaatimukset tulevat voimaan portaittain, ne vaativat monilta verkkoyhtiöiltä huomattavasti normaalia suurempia korvausinvestointeja ja kunnossapitotoimia, jotta verkot täyttävät asetetut vaatimukset aikarajojen puitteissa. Toimitusvarmuuskannustimen tarkoituksena on mahdollistaa toimitusvarmuusvaatimusten saavuttaminen mahdollisimman kustannustehokkaasti määräaikaan mennessä. (Energiavirasto 2015b.)

Toimitusvarmuuskannustimessa otetaan huomioon toimitusvarmuuden parantamiseksi tehtävät ennaikaisista korvausinvestoinneista aiheutuvat NKA-jäännösarvon alaskirjaukset sekä kunnossapito- ja varautumistoimenpiteiden kohtuulliset kustannukset (Energiavirasto 2015b). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että mikäli verkkoyhtiö joutuu uusimaan verkkoaan ennaikaisesti tai huomattavasti lisäämään kunnossapito- ja varautumistoimenpiteitään toimitusvarmuusvaatimukset täyttääkseen, voidaan nämä investoinnit ja kustannukset ottaa huomioon toimitusvarmuuskannustimessa. Alaskirjauksien hyväksymiseen toimitusvarmuuskannustimeen on kuitenkin oltava perusteltu syy. Toimitusvarmuuskannustin huomioidaan laskettaessa verkkoyhtiön toteutunutta oikaistua tulosta. Toimitusvarmuuskannustin vähennetään yhtiön liikevoitosta/-tappiosta, eli se pienentää yhtiön toteutunutta oikaistua tulosta. Yhtiön on siis mahdollista kerätä toimitusvarmuuskannustimesta aiheutuva alijäämä asiakkailtaan. Toteutuneen oikaistun tuloksen laskentaperiaate on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 1.

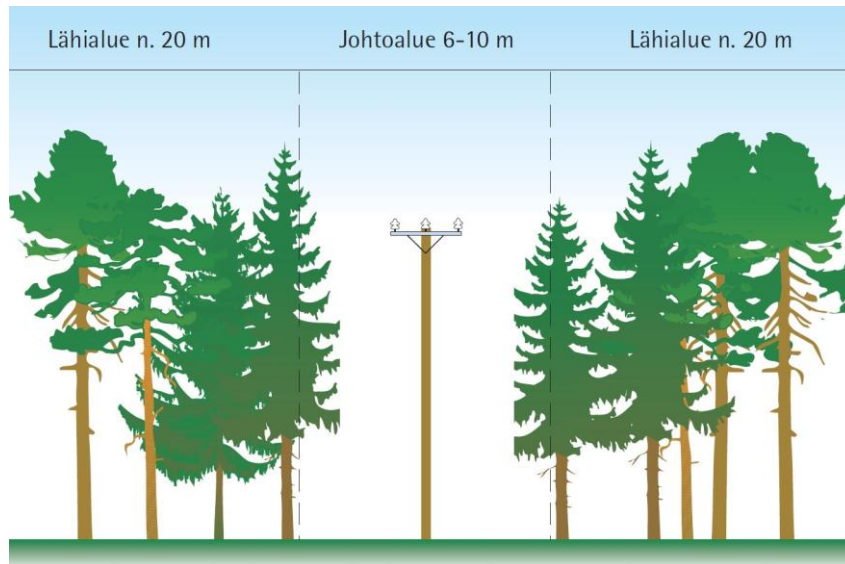
Tämän työn kannalta toimitusvarmuuskannustimen kiinnostavin osa on siihen hyväksyttävät kunnossapito- ja varautumistoimenpiteet, joihin kuuluvat keskijänniteverkon vierimetsän hoidon tason nostaminen ja hoidon tehostetut toimenpiteet. Johtoalueeseen kohdistuvia toi-

menpiteitä ei voida sisällyttää toimitusvarmuuskannustimeen. Vierimetsään liittyviin toimenpiteisiin lukeutuvat muun muassa vierimetsän hoito ensiharvennusvaiheessa, yksittäisten vaarapuiden poistaminen, sekä johtokadun ulkopuolelle kohdistuvat toimenpiteet, joilla varmistetaan johdon puuvarmuus (Energiavirasto 2015b). Vierimetsänhoidon katsotaan sisältävän näihin johtokadun ulkopuolella tehtäviin toimenpiteisiin, mikä käsittää sekä kasvatusmetsiin tehtävät harvennushakkuut, että uudistuskypsien metsien avohakkuut. Näiden toimenpiteiden sisällyttäminen regulaatioon on osaltaan lisännyt vierimetsänhoidon kiinnostavuutta toimitusvarmuuden parantamiseen tähtäävänä menetelmänä, ja toisaalta antanut verkkoyhtiöille lisää työkaluja sähkömarkkinalain asettamien tavoitteiden täyttämiseen. Vierimetsänhoitoa käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.

2.4 Johtokadun ja vierimetsän määritelmä

Johtokaduksi tai -alueeksi kutsutaan puuttomaksi raivattua aluetta, jossa ilmajohdot kulkevat. Verkonhaltija tekee johdon rakentamisvaiheessa tästä alueesta maankäytösopimuksen maanomistajan kanssa. Verkonhaltija maksaa maanomistajalle maankäytöstä maanomistajalle kertakorvauksen. Maksulla verkonhaltija korvaa maanomistajalle linjan rakentamisesta aiheutuvan haitan ja saa samalla itselleen oikeuden linjan rakentamiseen sekä alueen raivaus- ja muihin kunnossapitotoimenpiteisiin. (Energiateollisuus 2017c.)

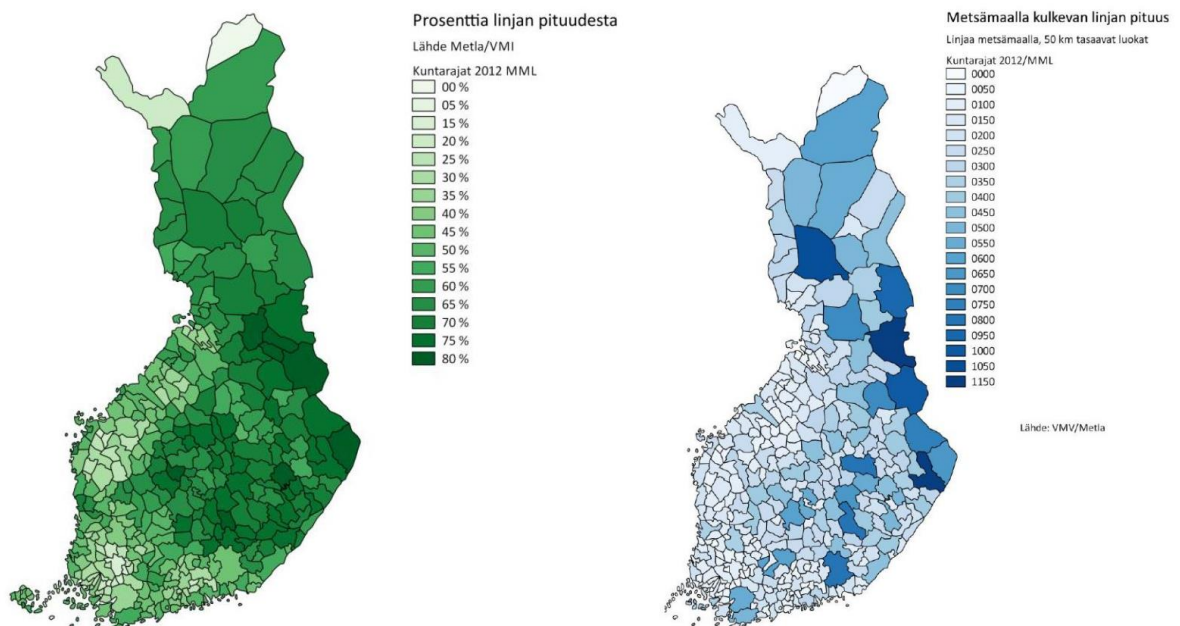
Johtokadun leveys riippuu jännitetasosta ja käytettävästä tekniikasta. Keskijänniteverkon ilmajohdoilla johtokadun leveys vaihtelee johdon rakenteen mukaan välillä 6–10 m, eli 3–5 m johdosta ulospäin mitattuna. Johtokadun leveys käsittää johtoa varten raivatun rungottoman alueen, puiden oksat saavat ulottua lähemmäksi johtoa. Avojohtorakenteella johtokadun leveys on tyypillisesti 10 m. PAS-johtoa käytettäessä selvittää 6 m leveällä johtokadulla johdon eristerakenteen vuoksi. Eristeen ansiosta vaiheet voidaan sijoittaa lähemmäksi toisiaan, eivätkä johtoihin osuvat puiden oksat tai jopa johtoon nojaava puu aiheuta johdolle vikaa (Lakervi ja Partanen 2008, 145). Johtokatu rajoittuu ulkoreunastaan puustoon, jota kutsutaan vierimetsäksi. Vierimetsä käsittää puuston, joka voisi nyt tai myöhemmin kasvaessaan kaataa johdon päälle tai koskettaa sitä sääilmiöiden tai muun syyn seurauksena. Vierimetsän leveydelle ei ole virallista määritelmää. Yleensä vierimetsäksi kuitenkin luetaan johtokadun reunasta mitattuna 10–20 m leveä kaistale. Periaatekuva 20 kV avojohdon johtokadusta ja sitä ympäröivästä vierimetsästä on esitetty kuvassa 2.1 (Tapio 2013b).



Kuva 2.1 Periaatekuva 20 kV avojohdon johtokadusta ja sitä ympäröivästä vierimetsästä (Tapio 2013b).

2.5 Vierimetsien aiheuttamat uhat sähköverkoille

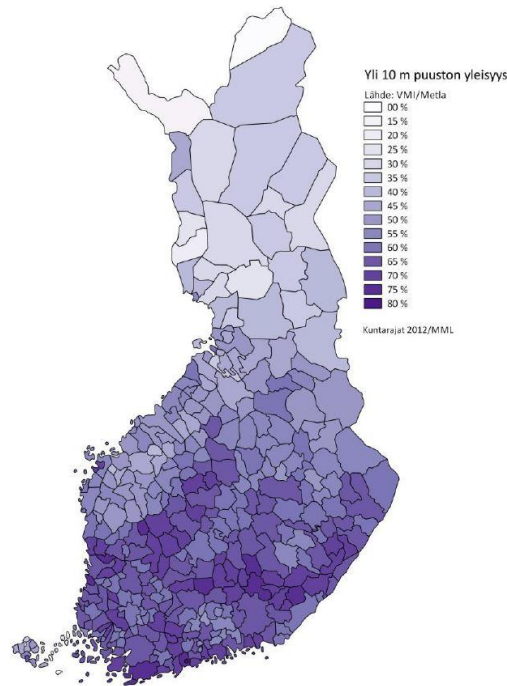
Yksi suurimmista sähkön toimitusvarmuuteen vaikuttavista tekijöistä on sähkölinjan sijainti. Suomi on hyvin metsäinen maa, ja suuri osa erityisesti maaseutujen sähkölinjoista on vedetty suorinta reittiä metsien läpi johtopituuden minimoimiseksi. Tämän vuoksi suuri osa keskijänniteverkosta sijoittuu metsien läheisyyteen. Metsässä kulkevan keskijänniteverkon pituutta on havainnollistettu kuvassa 2.2.



Kuva 2.2 Vasemmalla metsämaalla kulkevan keskijänniteverkon osuus verkon kokonaispituudesta kunnittain. Oikealla metsämaalla kulkevan verkon kokonaispituus kunnittain. (Tapio 2013a).

Kuvassa vasemmanpuoleisessa kartassa on esitetty kunnittain metsässä kulkevan verkon osuus verkon kokonaispituudesta. Kuvasta havaitaan, että metsämaalla kulkevien linjojen osuudessa on kunnittain suurta vaihtelua. Pohjois-Karjalasta ja Kainuusta löytyy kuntia, joiden sähköverkosta noin 80 % kulkee metsämaalla. Myös Savossa, Hämeessä, sekä Keski- ja Kaakkois-Suomessa metsän osuus koko linjapituudesta on noin 75 %. Etelä- ja Länsi-Suomen maatalousvaltaisilla alueilla metsän osuus linjapituudesta jää huomattavasti pienemmäksi. Pienempikin metsäalue voi kuitenkin muodostaa sähkölinjalle uhan, esimerkiksi kahden aukean alueen, kuten kahden pellon väliin jäävä metsäalue, on huomattavasti suurempia metsäalueita alttiimpi koville tuulille. Kuvan oikeanpuoleisessa kartassa on esitetty metsämaalla kulkevan verkon kokonaispituus kunnittain. Erityisesti itärajalla ja Savossa on paljon metsässä kulkevia linjoja sekä absoluuttisesti että suhteellisesti mitattuna. Myös Rovaniemen seudulta ja muusta Pohjois-Suomesta löytyy kokonaispituutensa puolesta paljon metsälinjoja.

Vierimetsien verkolle muodostamaa uhkaa arvioitaessa on huomioitava myös metsän puuston laatu, pituus ja yleinen sijainti. Ratkaisevin tekijä vierimetsän aiheuttamisessa riskeissä on puuston pituus. Vierimetsä on uhka sähkölinjalle silloin, kun puusto ylettää kaatuessaan tai taipuessaan johtimiin, mikä edellyttää johtokadun reunapuilta noin 13 m pituutta. Metsikön valtapuut ovat kuitenkin useimmiten 1–2 m metsän keskipituutta korkeampia, ja johtimet kulkevat alle 10 m korkeudessa. Tällöin voidaan olettaa keskipituudeltaan yli 10 m olevan vierimetsän muodostavan uhan sähkölinjalle. Koko maan metsässä kulkevista sähkölinjoista noin 60 % rajoittuu tämän kaltaiseen metsään. Keskipituudeltaan 10 m ylittävien vierimetsien osuutta kunnittain on havainnollistettu kuvassa 2.3. (Tapio 2013a.)



Kuva 2.3 Yli 10 metriä pitkän puuston yleisyys sähköverkkojen vierimetsissä (Tapio 2013a).

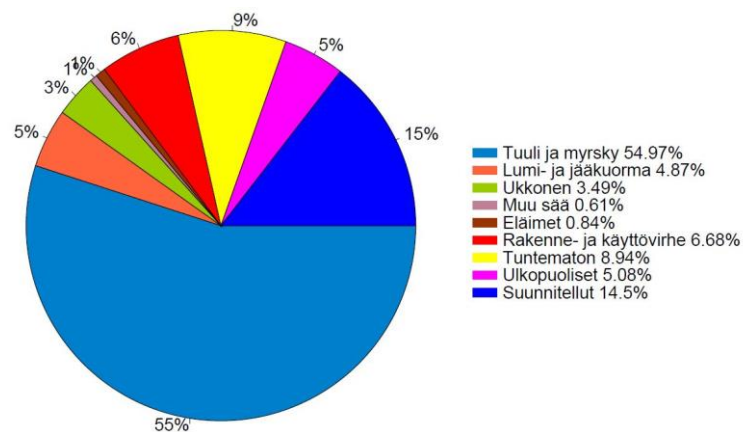
Etelä- ja Lounais-Suomen sekä Satakunnan alueella suuri osa metsämaalla kulkevasta verkosta kulkee pitkän puuston keskellä. Pohjois-Suomessa puut jäävät keskimäärin lyhyemmiksi lyhyemmän kasvukauden vuoksi, mikä osaltaan vähentää puiden aiheuttamia vikoja. On kuitenkin huomioitava, että Pohjois-Suomessa on kokonaispituudeltaan paljon metsässä kulkevia linjoja, jolloin on myös todennäköisempää, että linja kulkee myös riskipituuden ylittävän metsän läpi. (Tapio 2013a.)

Myös puustoon liittyvät tekijät, kuten puulaji, puuston ikä ja terveys sekä metsänhoito vaikuttavat vierimetsän sähkölinjalle aiheuttamaan uhkaan. Lehtipuut taipuvat havupuuta helpommin sähkölinjalle lumikuorman alla. Tämän vuoksi vierimetsiä harvennettaessa poistetaan yleensä ensimmäisenä lehtipuut. Nuoret kasvatusmetsät aiheuttavat keskimäärin eniten häiriötä keskijänniteverkoille, koska nuoret puut eivät ole ehtineet kasvaa kovin vahvoiksi, ja taipuvat tai katkeavat sen vuoksi helpommin. Kasvaessaan suuremmiksi puiden alttius taipumiseen tai katkeamiseen yleensä vähenee. Vanhat puut muodostavat kuitenkin oman riskiryhmänsä, koska ne alkavat ajastaan lahota ja altistua jälleen myrskyille ja lumikuormille. Metsänhoidolla on kuitenkin mahdollista vaikuttaa näihin seikkoihin. Myrskyjen ja lumen aiheuttamille tuhoille alttiimpia ovat niin sanotut riukuuntuneet, eli pituuteensa suhteutettuna ohuet puut. Riukuuntuneita puita esiintyy paljon nuorissa, harventamattomissa

metsissä, koska puilla ei ole tilaa kasvaa suuremmiksi ja vahvemmiksi. Metsää harventamalla voidaan poistaa riukuuntuneet puut, ja antaa samalla jäljelle jääville puille enemmän tilaa kasvaa vahvemmiksi. (Tapio 2013b.)

2.6 Jakelunkeskeytykset keskijänniteverkossa

Verkkoyhtiön asiakkaiden näkökulmasta verkon käyttövarmuus on yksi tärkeimpiä sähkön laatutekijöitä. Verkon käyttövarmuutta voidaan mitata esimerkiksi jakelunkeskeytysten määrän ja keston avulla. Jakelunkeskeytykset voidaan jakaa suunniteltuihin keskeytyksiin ja häiriökeskeytyksiin. Häiriökeskeytykset voidaan jakaa edelleen lyhyisiin keskeytyksiin ja pitkiin keskeytyksiin. Lyhyet keskeytykset kestävät alle kolme minuuttia, ja niihin kuuluvat pikajälleenkytkennät (PJK) ja aikajälleenkytkennät (AJK). Tätä pidemmät keskeytykset ovat pitkiä keskeytyksiä (Partanen et al. 2010). Kuvassa 2.4 on esitetty tilasto keskijänniteverkon jakelunkeskeytysten keskeytysajan aiheuttajista vuonna 2016. PJK:t ja AJK:t on jätetty tilastossa huomioimatta. (Energiateollisuus 2017a).

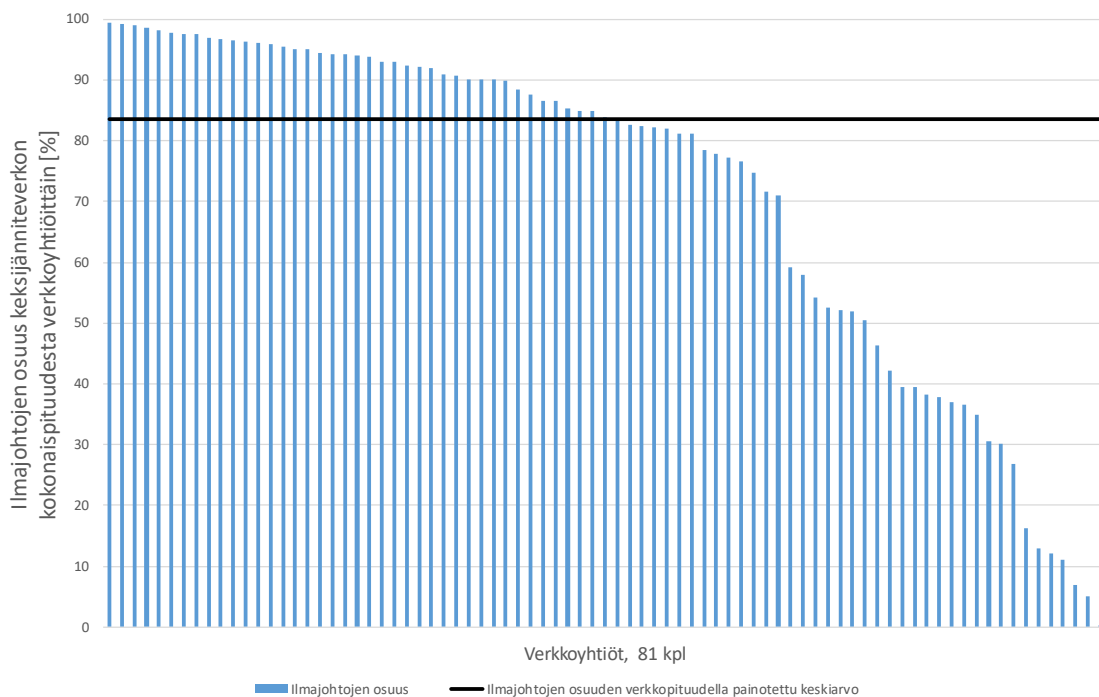


Kuva 2.4 Keskijänniteverkon jakelunkeskeytysten keskeytysajan aiheuttajat vuonna 2016. Pika- ja aikajälleenkytkentöjä ei ole huomioitu. (Energiateollisuus 2017a).

Kuvasta nähdään, että suurimmat yksittäiset jakelunkeskeytysten aiheuttajat keskeytysajan kannalta ovat tuulet ja myrskyt, eli käytännössä niiden kaatamat puut. Kun otetaan lisäksi huomioon lumi- ja jääkuorman taivuttamien puiden aiheuttamat keskeytykset, huomataan, että noin 60 % keskeytysajasta aiheutuu verkkojen vierimetsistä. Tämän vuoksi sähkön toimitusvarmuuden parantamiseen tähtäävät menetelmät tarkoittavat käytännössä linjojen puuvarmoiksi tekemistä.

3. VIERIMETSÄNHOITO JA YLILEVEÄT JOHTOKADUT KESKIJÄNNITEVERKOSSA

Vierimetsänhoidolla tarkoitetaan johtokadun vierimetsän puuston sähkölinjalle aiheuttamien riskien pitkävaikutteista vähentämistä metsänhoidollisilla toimenpiteillä. Vierimetsänhoidon muotoja ovat taimikoiden ja nuorten kuitupuumetsien harvennushakkuut, yksittäisten vaarapuiden poistaminen vierimetsistä, sekä varttuneiden ja uudistuskypsien metsien kaistalehakkuut. Vierimetsille tehtävissä toimenpiteissä ei yleensä tehdä vierimetsästä maankäytösopimusta, vaan toimenpiteet korvataan maanomistajalle muilla tavoilla. Kaistalehakkuun tapauksessa sähkölinjan vierimetsästä kaadetaan kaikki puut, jolloin sähkölinjan johtokatu levenee merkittävästi. Tällöin sähkölinjan läheisyydestä on poistettu puusto, joka voisi mahdollisesti taipua tai kaatua linjan päälle. Kaistalehakkuun seurauksena muodostuu ylileveä johtokatu ja puuvarma ilmajohtoverkko.



Kuva 3.1 Ilmajohtojen osuus keski-jänniteverkon kokonaispituudesta verkkoyhtiöittäin vuonna 2014. Musta vaakaviiva on ilmajohtojen osuuden verkkopituudella painotettu keskiarvo (Energiavirasto 2015a).

Tehostettu vierimetsänhoito on noussut suhteellisen lyhyessä ajassa keskeiseksi osaksi sähköverkkojen pitkän aikavälin kehittämistä. Vierimetsänhoito on ollut menetelmänä käytössä verkkoyhtiöissä jo pidemmän aikaa, mutta vierimetsissä suoritettavat toimenpiteet ovat ra-

joittuneet lähinnä yksittäisten vaarapuiden poistamiseen. Suurin syy vierimetsänhoidon nopeaan lisääntymiseen ja tehostumiseen on vuoden 2013 sähkömarkkinalaki ja sen mukanaan tuomat toimitusvarmuusvaatimukset. Toimitusvarmuusvaatimukset asettavat rajat jakelukeskeytysten pisimmille sallituille kestoajoille ja vaativat verkkoyhtiöiltä nopeaa toimitusvarmuuden parantamista. Toimitusvarmuusvaatimukset ovat erityisen haasteelliset verkkoyhtiöille, joiden keskijänniteverkon kaapelointiaste on matala, ja joiden verkon pituus suhteessa asiakasmäärään on suuri. Ilmajohdojen osuus Suomen verkkoyhtiöiden keskijänniteverkoissa on esitetty kuvassa 3.1. Kuvasta huomataan, että suurimmassa osassa Suomen verkkoyhtiöistä ilmajohdot ovat edelleen hyvin suuressa asemassa. Monet näistä verkkoyhtiöistä sijoittuvat lisäksi metsäisille alueille, mikä tuo oman haasteensa toimitusvarmuuden parantamiseen metsässä kulkevien sähkölinjojen ollessa erityisen alttiita jakelukeskeytyksille. Tällaisille yhtiöille vierimetsänhoito ja ylileveät johtokadut voivat osoittautua hyväksi keinoksi toimitusvarmuusvaatimuksien täyttämiseen.

Tässä kappaleessa esitellään tarkemmin, miten tehostettua vierimetsänhoitoa ja ylileveitä johtokatuja on hyödynnetty haastatelluissa verkkoyhtiöissä. Työtä varten haastateltiin kahden sähköverkkoyhtiön edustajia. PKS Sähkönsiirto Oy:n (PKSS) Arto Tuovinen vastaa yhtiön maankäyttöasioista, ja on sen myötä ollut vastuuhenkilönä myös vierimetsänhoitoprojekteissa. Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n (LREV) Petri Tikka oli vastuuhenkilönä yhtiön ensimmäisen ylileveän johtokadun suunnittelussa, ja on ollut mukana myös yhtiön toisen suunnitteilla olevan projektin valmistelussa. Suuri kiitos haastatteluihin osallistuneille henkilöille, jotka mahdollistivat tämän kandidaatintyön toteuttamisen.

Tehostettu vierimetsänhoito ja ylileveät johtokadut ovat verkoston pitkän aikavälin kehittämisessä melko uusi menetelmä, koska niiden hyödyntämistä alettiin suunnitella monissa verkkoyhtiöissä vasta sähkömarkkinalain muutoksen jälkeen vuonna 2013. Tämän vuoksi aiheesta saatavilla oleva aineisto on vielä suhteellisen pieni. Haastatelluista yhtiöistä PKS Sähkönsiirto Oy on kuitenkin Suomen kokeneimpia yhtiöitä tehostetun vierimetsänhoidon hyödyntämisessä, joten haastatteluissa kerätyn aineiston voidaan olettaa antavan menetelmästä ja sen käyttömahdollisuuksista oikeellista ja käyttökelpoista tietoa.

3.1 Tehostetun vierimetsänhoidon hyödyntäminen haastatelluissa verkkoyhtiöissä

Molemmissa haastatelluissa verkkoyhtiöissä ollaan hyödynnetty tehostettua vierimetsänhoitoa osana verkoston pitkän aikavälin kehittämistä, toisessa vain huomattavasti laajemmassa

mittakaavassa. PKSS:n keskijänniteverkon kokonaispituus vuonna 2014 oli noin 9800 km. Verkon pituus suhteessa yhtiön asiakasmäärään on suuri. Samana vuonna yhtiön keskijänniteverkon kaapelointiaste oli 2,5 %, eli suurin osa yhtiön verkosta on toteutettu ilmajohtoilla (Energiavirasto 2015a). Lisäksi suuri osa keskijänniteverkosta kulkee metsässä, kuten kappaleessa 2.5 havaittiin. Verkon nykytila ja sähköverkkoliiketoiminnan kannalta haastava ympäristö asettavat yhtiölle suuren haasteen sähkömarkkinalain toimitusvarmuusvaatimusten täyttämiseen. PKSS on ollut yksi vierimetsänhoitoprosessin kehittämisen ja hyödyntämisen pioneereista, ja nykyisin vierimetsänhoito on keskeisessä osassa yhtiön pitkän aikavälin verkon kehittämissuunnitelmaa. Kuvassa 3.2 on käynnissä vierimetsän kaistalehakkua.



Kuva 3.2 Vierimetsän kaistalehakkua (Rantonen).

LREV:n keskijänniteverkon kokonaispituus vuonna 2014 oli noin 2100 km. Keskijänniteverkon kaapelointiaste samana vuonna oli noin 19 % (Energiavirasto 2015a). Suhteellisen suuri osa LREV:n verkosta on taajama-alueita. Taajama-alueet yhtiö pyrkii kaapeloimaan, jolloin verkon kaapelointiaste tulee luonnollisesti nousemaan. Ilmajohtojen osuus verkon kokonaispituudesta on pienempi kuin esimerkiksi PKSS:llä, mutta huomattava osa verkosta

on kuitenkin alttiina puiden aiheuttamille häiriöille. Toimitusvarmuusvaatimuksien täyttäminen tulee vaatimaan myös LREV:ltä suuria investointeja ja parannuksia toimitusvarmuuteen.

PKSS aloitti tehostetun vierimetsänhoidon pilotoinnin ja kehittämisen vuonna 2012 vierimetsien harventamisella. Harventamisella pyrittiin vähentämään lumikuormien aiheuttamia ongelmia, ja samalla poistettiin vierimetsistä yksittäisiä vaarapuita ja kiilametsiä. Puuvarma vierimetsänhoito, eli vierimetsien kaistalehakkuut aloitettiin vuonna 2014 sähkömarkkina-lain muutosten jälkeen. Yhtiön verkon ollessa laaja ja asiakasmäärän ollessa pieni verkon kokonaispituuteen nähden, koko verkon maakaapelointia ei nähty taloudellisesti kannattavaksi. Tästä syystä puuvarma vierimetsänhoito otettiin keskeiseksi osaksi verkon kehittämissuunnitelmaa. Kaistalehakkuun tapauksessa vierimetsää kaadetaan johtokadun reunasta ulospäin mitattuna 15 m leveä kaistale. Mikäli hakkuu tehdään sähkölinjan molemmille puolille, hakkuiden jälkeen johtokadun leveys on noin 40 m. Puuvarmalla johtokadulla toimitusvarmuus paranee nopeasti, koska merkittävä osa verkosta saadaan käsiteltyä suhteellisen lyhyessä ajassa. Kaistalehakkuu parantaa kyseisen sähkölinjan toimitusvarmuutta noin 15–30 vuodeksi. Tämä aika vierimetsällä menee kasvaa uudestaan sellaisiin mittoihin, että se muodostaa jälleen uhan sähkölinjalle. PKSS käsittelee keskijänniteverkon vierimetsiä noin 500 km/a vuosina 2017-2023. Yhteensä keskijänniteverkkoa käsitellään 4000 km, mikä vastaa noin 40 % yhtiön keskijänniteverkon kokonaispituudesta. Käsiteltävän verkoston pituus käsittää siis huomattavan suuren osuuden yhtiön verkostokokonaisuudesta. Yhtiön tavoitteena on saada toimitusvarmuusvaatimuksien täyttämiseen vaadittavat vierimetsänhoitoprojektit tehtyä vuoden 2023 loppuun mennessä. Kaikkien projektien valmistuttua noin 70 % yhtiön ilmajohtoverkosta olisi puuvarmaa. (Tuovinen 2017.)

Lähtökohdat ja filosofia puuvarmojen johtokatuja tekemiseen LREV:llä eroavat hieman PKSS:stä. LREV:n verkko koostuu pääasiassa Lappeenrannasta lähtevistä säteittäisistä verkon osista, joissa kunkin säteittäisen johdon päästä löytyy taajama-alue. Pääasiallisesti yhtiö pyrkii kaapeloimaan asemakaava-alueella sijaitsevan verkon. Kaapeloitaessa verkkoon olisi kuitenkin hyvä saada muodostettua renkaita varasyöttöyhteyksien mahdollistamiseksi, minkä toteuttaminen on säteittäisellä verkolla vaikeaa. Johtolähtöjen tehojen ollessa lisäksi useissa tapauksissa pieniä, kaapelointi ei ole kaikissa tapauksissa kannattavaa. Sen takia yhtiö on käyttänyt ja suunnittelee käyttävänsä verkoston kehittämisessä muitakin käytettävissä olevia menetelmiä, muun muassa puuvarmoja johtokatuja. Yhtiö on kuitenkin toistaiseksi

keskittynyt asemakaava-alueilla sijaitsevan verkon käsittelemiseen, minkä vuoksi alueille, joilla puuvarmat johtokadut voisivat olla parempi ratkaisu, ei ole vielä suunniteltu monia projekteja. Kokonaisuudessaan yhtiön verkossa ei ole kauhean monia puuvarmoille johtokaduille soveltuvia kohteita. LREV oli tehnyt haastatteluajankohtaan mennessä yhden puuvarman johtokadun, ja toinen projekti oli suunnitteluasteella. Puuvarman johtokadun tapauksessa kaistalehakuu tehdään 20 m leveälle kaistaleelle reunimmaisesta johdosta mitattuna, eli käytännössä yhtä leveälle alueelle, kuin mitä PKSS käyttää projekteissaan. Ylämaalle tehty puuvarma johtokatu sijaitsee tien vieressä, jolloin kaistalehakuu täytyi tehdä vain johdon toiselle puolelle. Käsitellyn johtokadun kokonaispituus on noin 16 km. Lisäksi yhtiöllä on suunnitteilla Savitaipaleella toinen projekti, jonka kokonaispituus on noin 10 km. Savitaipaleen projekti eroaa Ylämaan projektista siinä, että vanha avojohdo korvataan uudella, metsästä tien viereen siirrettävällä avojohdolla, jonka metsän puoleiselle sivulle tehdään kaistalehakuu. Johdolle tehdään maankäyttösopimus ylileveästä johtokadusta, jolloin johtokadun leveydeksi tulee perinteisen 10 m sijaan noin 20 m. Tämä helpottaa johtokadulle jatkossa tehtäviä raivauksia, koska yhtiöllä on koko ylileveään johtokatuun maankäyttöoikeus. (Tikka 2018.)

3.2 Vierimetsänhoidossa mukana olevat sidosryhmät

Vierimetsänhoitoprojektissa on mukana verkkoyhtiön lisäksi useita muita sidosryhmiä. Vierimetsänhoitoprojektin toteuttaminen ja sen onnistuminen eivät siis ole riippuvaisia ainoastaan verkkoyhtiöstä, vaan asiaan vaikuttavia tekijöitä on useita. Suurin yksittäinen syy vierimetsänhoidon tehostamiseen ja lisääntymiseen on vuoden 2013 sähkömarkkinalain muutos. Lainsäädännön kautta valvontaviranomainen, tässä tapauksessa Energiavirasto, on välillisesti osallisena vierimetsänhoitoprojekteihin, koska vierimetsänhoidolla pyritään täyttämään lainsäädännössä säädetyt reunaehdot jakelunkeskeytysten maksimijaoille. Energiavirasto on osallisena myös jakeluverkkoliiketoiminnan regulaatiomallin kautta, koska vierimetsänhoito voidaan sisällyttää regulaatiomallin toimitusvarmuuskannustimeen.

Sekä PKSS että LREV ovat ulkoistaneet vierimetsänhoitoprojektien käytännön toteutuksen metsänhoitoyhdistykselle tai muulle metsätyöurakoitsijalle. Urakoitsijat vastaavat projektin toteutuksesta hakkuulupien hankkimisesta aina loppudokumentaation toimittamiseen saakka, ja ovat siten projektissa hyvin keskeisessä osassa. Yhteistyön sujuvuus urakoitsijan kanssa sekä urakoitsijan ammattitaito metsänhoidollisissa toimenpiteissä ovat äärimmäisen

tärkeitä seikkoja projektin onnistumisen kannalta, mikä tekee urakoitsijoista vierimetsänhoidon näkökulmasta yhden verkkoyhtiön tärkeimmistä sidosryhmistä. (Tuovinen 2017; Tikka 2018.)

Myös vierimetsien maanomistajat ovat tärkeässä roolissa vierimetsänhoitoprojektissa, koska hakkuiden toteuttaminen riippuu maanomistajilta saatavista hakkuuluvista. Ilman lupia hakkuita vierimetsissä ei voida suorittaa ollenkaan. Maanomistajat ovat samalla myös verkkoyhtiöiden asiakkaita sähköjakelun kautta, jolloin maanomistajien tyytyväisyys verkkoyhtiön toimintaan voi vaikuttaa heidän suhtautumiseensa verkkoyhtiön suunnittelemiin vierimetsänhoitoprojekteihin. Maanomistajien tyytyväisyys on näin ollen tärkeää vierimetsänhoitoprojektien onnistumisen kannalta. Maanomistajien suhtautumiseen voidaan vaikuttaa myös jakamalla tietoa vierimetsänhoidosta ja sen syistä esimerkiksi asiakaslehden tai uutisten välityksellä.

3.3 Hoitokohteiden ja hoitotavan valinta

Vierimetsänhoitoa suunniteltaessa verkkoyhtiöllä on valittavissaan kaksi eri vaihtoehtoa: harvennetaanko johdon vierimetsää, vai tehdäänkö vierimetsään kaistalehakkuu. Harvennushakkuuta ja yksittäisten vaarapuiden poistoja tehdään käytännössä joka yhtiössä, jolla kulkee verkkoa metsässä. Vaarapuiden poistaminen on yksinkertainen keino parantaa johdon toimitusvarmuutta, jolloin sitä ei käytännössä kannattaa jättää tekemättä. Kaistalehakkuut sen sijaan ovat spesifimpi työkalu, joka vaatii tietynlaisen verkon tietynlaisessa ympäristössä, jotta sen hyödyntäminen on järkevää.

PKSS käyttää verkostosuunnittelussaan niin sanottua vyöhykemallia, jossa verkko on jaettu ympäristönsä ja sijaintinsa mukaan kolmeen eri vyöhykkeeseen. Vyöhyke 1 käsittää taajama-alueet, jotka tullaan kaapeloimaan kokonaan. Vyöhyke 2 käsittää taajama-alueilta ulospäin lähtevät johtolähdöt. Vyöhyke 2 pyritään tekemään täysin puuvarmaksi. Näiden vyöhykkeiden ulkopuolelle jäävä verkko kuuluu vyöhykkeeseen 3, joka säilytetään ilmajoh-toverkkona. LREV:n tapauksessa asemakaava-alueella sijaitseva verkko pyritään ensisijaisesti kaapeloimaan. Pienemmät, pidempien johtolähtöjen päissä sijaitsevat taajamat sekä haja-asutusalueet pyritään tekemään mahdollisuuksien mukaan puuvarmoiksi. (Tuovinen 2017; Tikka 2018.)

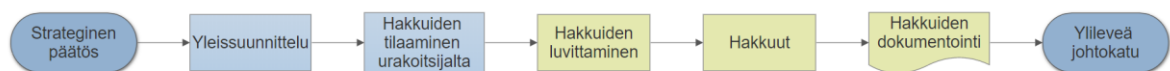
Sekä PKSS:llä että LREV:llä tärkeimmät tekijät vierimetsän hoitokohteita valittaessa ovat verkon ikä ja tekninen kunto. PKSS pyrkii käsittelemään pääasiassa verkkoa, jolla on teknistaloudellista käyttöikää jäljellä 15–30 vuotta, LREV:lle vastaava lukema on 20–25 vuotta (Tuovinen 2017, Tikka 2018). Tämä vastaa hyvin aikaväliä, jolle puuvarmalla vierimetsänhoidolla saadaan parannuksia toimitusvarmuuteen. Puuvarmaa vierimetsänhoitoa pyritään siis käyttämään pääasiassa sellaisilla ilmajohdoilla, joiden toimitusvarmuutta saadaan parannettua johdon teknistaloudellisen käyttöiän loppuun saakka. Lähellä käyttöikänsä loppua olevan ilmajohdon vierimetsiä ei pääsääntöisesti käsitellä, koska kyseinen johto saneerattaisiin joka tapauksessa lähitulevaisuudessa. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi ilmajohdon siirtymistä metsästä tien viereen, jolloin vierimetsänhoidolla saavutetut hyödyt rajoittuvat kyseisen johdon osalta vain muutamaan vuoteen. PKSS ei myöskään pääsääntöisesti käsittele uusia verkonosia puuvarmoiksi. Johtojen pitoaikojen ollessa 40–50 vuotta, vierimetsä ehtii kasvaa kaistalehakkuun jälkeen johdon pitoaikana uudelleen sellaisiin mittoihin, että se on jälleen uhka johdolle (Tuovinen 2017). LREV:n Savitaipaleen projektissa myös uusi ilmajohto tehdään puuvarmaksi kaistalehakkuulla. Kyseisessä projektissa on kuitenkin erottavana tekijänä se, että koko leveästä johtokadusta on tehty maankäyttösopimus, jolloin myöhemmin johtokatua raivattaessa ei tarvita uusia hakkuulupia maanomistajilta. Tällaisessa tapauksessa myös uuden johdon puuvarmaksi tekeminen kaistalehakkuulla voi olla järkevää, koska johtokatua päästään tarvittaessa helposti raivaamaan. Uuden, tien viereen rakennetun johdon puuvarmaksi tekeminen voi olla myös pitkällä aikavälillä kestävämpi ratkaisu metsään hakattavien leveiden johtokatuja sijaan, koska se mahdollistaa uusien, puuvarmojen ilmajohtojen rakentamisen, ja yhtä sähkölinjaa varten raivattavasta metsäalueesta tulee huomattavasti kapeampi. Tien vieressä sijaitsevan johdon korjaaminen ja tarkistaminen on myös helpompaa, kuin metsän keskellä kulkevan johdon.

Toinen tärkeimmistä kriteereistä hoitokohteita valittaessa on johtolähdön teho. Johtolähdön tehon suuruus vaikuttaa oleellisesti jakelunkeskeytyksistä aiheutuvien KAH-kustannuksien suuruuteen, jolloin korkeamman tehon johtolähtöjä kannattaa priorisoida hoitokohteita valittaessa. PKSS:llä myös verkon vikataajuudet otetaan huomioon hoitokohteiden valinnassa, mutta niiden vaikutus päätöksentekoon on huomattavasti kahta edellistä pienempi. (Tuovinen 2017)

Vierimetsänhoidon hoitotavan valinta, eli tehdäänkö vierimetsälle harvennus- vai kaistalehakuu, määräytyy pääasiallisesti vierimetsän iän ja puuston koon mukaan. PKSS:n Tuovisen mukaan hakkuiden toteutuksessa käytetään pääsääntöisesti normaaleja metsänhoitomenetelmiä hiukan niitä soveltaen, kuten mahdollisten yksittäisten vaarapuiden poistaminen harvennusten yhteydessä. Pienet ja varttuneet taimikot sekä nuoret kasvatusmetsiköt harvennetaan. Harvennukset antavat puille enemmän tilaa kasvaa vahvemmiksi, jolloin harvennuksetkin vähentävät puiden tulevaisuudessa aiheuttamia haittoja. Varttuneissa kasvatusmetsissä ja uudistuskypsissä metsissä pyritään tekemään kaistalehakuu. Varttunut kasvatusmetsä ja uudistuskypsä metsä muodostavat PKSS:n alueella noin 30–40 % johtokatuja vierimetsistä. Jo olemassa olevat aukot, kuten pellot, muodostavat johtokatuja vieruksista toisen noin 30 %. Kun kaikki käsiteltäväksi suunnitellut vierimetsät on hoidettu, yhtiön ilma-johtoverkosta noin 70 % on puuvarmaa. (Tuovinen 2017.)

3.4 Vierimetsänhoitoprojektin toteuttaminen verkkoyhtiön näkökulmasta

PKSS:llä vierimetsänhoidon ollessa keskeinen osa verkon pitkän aikavälin kehittämissuunnitelmaa, vierimetsänhoito otetaan huomioon jo verkon yleissuunnitteluvaiheessa. Vierimetsänhoidon ollessa mukana yleissuunnittelussa suunnitteluun on käytetty kokonaisuudessaan muutamia vuosia. Yleissuunnittelun osalta suurin työ on kuitenkin jo tehty, ja kohteet, joissa vierimetsänhoitoa tullaan tekemään, ovat jo tiedossa. Tällöin vierimetsänhoitoprojektien suunnitteluun ei kulu yhtiöltä juurikaan aikaa (Tuovinen 2017). Kuvassa 3.3 on esitetty PKSS:n vierimetsänhoitoprosessin pääkohdat prosessikaavion muodossa.



Kuva 3.3 PKSS:n vierimetsänhoitoprosessin pääkohdat. Normalissa tapauksessa vihertävien laatikoiden sisältämät vaiheet kuuluvat urakoitsijalle, siniset taas verkkoyhtiölle. Harvennuksen tapauksessa prosessin lopusta löytyvä ylilevä johtokatu olisi harvennettu vierimetsä.

Molemmat haastatellut verkkoyhtiöt ovat käyttäneet metsäalan ammattilaisia itse hakkuiden järjestämisessä. PKSS:lle vierimetsänhoitoprojektien käytännön toteutuksesta vastaavat Metsänhoitoyhdistys Pohjois-Karjala sekä kolme muuta metsätyöurakoitsijaa (Tuovinen 2017). LREV:lle tehdyn kaistalehakuun toteutti Metsänhoitoyhdistys Etelä-Karjala (Tikka 2018). Urakoitsijat saavat tiedon hoidettavista sähkölinjoista ja hoitavat projektin tästä

eteenpäin käytännössä kokonaan. Molemmat verkkoyhtiöt antavat vastuun hakkuiden järjestämisestä metsäalan ammattilaisille, koska heidän ammattitaitonsa ja kokemuksensa metsänhoidollisista toimenpiteistä helpottaa ja nopeuttaa vierimetsänhoitoprojektin onnistumista. Yleissuunnittelun valmistuttua käytännön vierimetsänhoito ei vaadi juurikaan osallistumista verkkoyhtiöltä. PKSS on tehnyt vierimetsänhoitoa verkossaan jo niin paljon, ja prosessi on hyvin kehittynyt, että verkkoyhtiön ei tarvitse osallistua hakkuiden toteuttamiseen käytännössä ollenkaan. Yhtiö pyrkii kuitenkin vaikuttamaan vierimetsänhoitoprojektien onnistumiseen positiivisella tavalla muun muassa levittämällä tietoa vierimetsänhoidosta ja sen syistä esimerkiksi asiakaslehden ja uutisten välityksellä (Tuovinen 2017). LREV:llä verkkoyhtiön edustaja saattaa olla mukana projektin luvitusvaiheessa, mikäli metsänhoitoyhdistys tarvitsee apua lupaneuvotteluissa maanomistajien kanssa (Tikka 2018). PKSS:llä vierimetsänhoitoprojektien kesto vaihtelee kuuden ja 24 kuukauden välillä. Lopullinen kesto riippuu muun muassa käsiteltävän sähkölinjan pituudesta, hakkuulupien hankkimiseen kuluva ajasta ja hakkuisiin liittyvistä muista käytännön järjestelyistä. (Tuovinen 2017.)

PKSS:n tapauksessa yleissuunnittelun ollessa suurimmaksi osaksi tehty, projekti aloitetaan tilaamalla työt urakoitsijalta ja samalla valtuuttamalla urakoitsija hoitamaan projektia eteenpäin. Projektiin tilaamiseen kuluva aika on pieni, eikä se vaikuta juurikaan projektin kokonaiskeston. Ensimmäinen vaihe hakkuiden järjestelyissä on hakkuulupien hankkiminen, jonka hoitaa urakoitsija. Luvitusvaiheessa urakoitsijan toimihenkilö lähestyy ensin kaikkia vierimetsien maanomistajia kirjeitse, jossa maanomistajaa informoidaan suunnitteilla olevista hakkuista ja niiden syistä sekä sopimusehdoista. Kirjeitse saadaan lupa hakkuiden tekemiseen keskimäärin 50 %:lta maanomistajista. Loppuihin maanomistajiin ollaan tämän jälkeen yhteydessä puhelimitse, ja urakoitsijan toimihenkilö tekee tarvittaessa myös maastotyötä maanomistajien kanssa. Näin maanomistajat saavat vastaukset mahdollisiin kysymyksiinsä, ja lupa hakkuiden toteuttamiseen saadaan suurimmassa osassa tapauksista. Esimerkiksi 10 km mittaiselle verkon osalle luvitusvaihe kestää yleensä noin 3 kuukautta. (Tuovinen 2017.)

Kun luvat hakkuiden tekemiseen on saatu, urakoitsija voi aloittaa hakkuut. Hakkuiden toteuttaminen on itsessään suhteellisen nopeaa, mutta hakkuiden lopulliseen toteutusaikatauluun vaikuttavat monet eri asiat, joista suurin osa on urakoitsijasta riippuvaisia. Lopulliseen aikatauluun vaikuttavia urakoitsijasta riippuvaisia asioita ovat muun muassa urakoitsijan tekemä hakkuiden suunnittelu, urakoitsijan työvoiman ja kaluston resursointi, työntekijöiden

kouluttaminen sähkölinjojen läheisyydessä työskentelyyn, sekä puukauppasopimusten tekeminen. Urakoitsijasta riippumattomia asioita ovat vuodenaika ja sääolot, jotka vaikuttavat myös hakkuiden toteuttamisaikatauluun. Osa hakkuukohteista on talvihakkuukohteita, joissa hakkuut voidaan toteuttaa ainoastaan talvisin esimerkiksi kesäisin liian pehmeän maaston vuoksi. Hakkuiden lopullinen toteutusaikataulu on siis monien eri asioiden ja aikataulujen yhteensovittamista. Kun hakkuut on tehty, urakoitsija toimittaa työn tuloksista dokumentaation PKSS:n karttatietojärjestelmään. Dokumentaatiosta selviää esimerkiksi, että missä verkon osissa on tehty harvennuksia ja missä taas puuvarmaa verkkoa. Tämä mahdollistaa verkko-yhtiössä myöhemmin tehtävän analyysin vierimetsänhoidon vaikutuksista esimerkiksi keskeytys- ja viankorjauskustannuksiin. (Tuovinen 2017.)

PKSS:llä vierimetsänhoitoprojektin kesto vaihtelee kokonaisuudessaan 6–24 kuukauden välillä edellä mainituista asioista riippuen. Mikäli hakkuiden luvitusvaihe menee sujuvasti, ja hakkuut päästään aloittamaan heti luvitusvaiheen jälkeen, koko projekti voi valmistua kuudessa kuukaudessa. Jos hakkuihin sisältyy talvihakkuukohteita, on kuitenkin mahdollista, että projektin valmistumiseen menee enemmän aikaa. Mikäli projektin valmistelu aloitetaan keväällä, mutta hakkuuta ei esimerkiksi urakoitsijan resursseista tai sääoloista johtuen pystytä toteuttamaan tulevana talvena, voi hakkuiden toteutus siirtyä seuraavalle talvelle, jolloin projektin kokonaiskesto aika voi venyä lähemmäksi 24 kuukautta (Tuovinen 2017). LREV:n Ylämaalle toteuttama projekti kesti kokonaisuudessaan noin vuoden. Projekti oltaisiin voitu toteuttaa nopeammassakin aikataulussa, mutta urakoitsijan annettiin sovittaa projekti omiin aikatauluihinsa, koska kiire hakkuiden valmistumiselle ei ollut suuri. Projektin kiirehtiminen olisi luultavasti myös nostanut sen kokonaiskustannuksia (Tikka 2018).

3.5 Tärkeimmät asiat vierimetsänhoitoprojektin onnistumisen kannalta

Molempien verkkoyhtiöiden edustajien mukaan ylivoimaisesti tärkein asia vierimetsänhoitoprojektin onnistumisen kannalta on hakkuiden luvittamisen, eli asiakaskontaktin onnistuminen maanomistajan ja urakoitsijan toimihenkilön välillä. Mikäli maanomistajat eivät halua osallistua projektiin ja hakkuulupia ei saada, projektia ei voitaisi toteuttaa lainkaan. Toimihenkilön ammattitaito ja soveltuvuus myyntityöhön ovat siksi erityisen tärkeitä, koska vierimetsänhoitoprojektin myyminen maanomistajalle ei ole helppoa. PKSS:n projekteissa maanomistajat ovat kuitenkin suhtautuneet vierimetsänhoitoprojekteihin todella positiivisesti ja yli 90 % maanomistajista on antanut luvan hakkuiden tekemiseen. Myös LREV:n toteuttamassa projektissa osallistumisprosentti oli samaa suuruusluokkaa (Tikka 2018).

Tämä johtuu suurimmalta osin yhteistyöstä metsänhoidon ammattilaisten kanssa, koska heillä on hyvä ammattitaito metsänhoidollisten toimenpiteiden myyntiin, ja mahdollisesti jo valmiita suhteita maanomistajiin (Tuovinen 2017; Tikka 2018).

Molemmat yhtiöt yrittävät vaikuttaa luvituksen onnistumiseen tarjoamalla maanomistajille kannustimia vierimetsänhoitoprojektiin osallistumiseen. PKSS maksaa kaadettavasta puusta maanomistajalle markkinahintaa korkeamman hinnan. Markkinahinnan lisäksi maksettava lisämaksu on kaistalehakkuun tapauksessa 5 €/m³ ja harvennuksen tapauksessa 1 €/m³. Puun hinnan lisäksi maanomistajalle maksetaan uudistamiskorvausta 1200 €/ha hakkuiden jälkeistä maanmuokkausta ja uusien taimien istuttamista varten. Keskenkasvuista metsää harkittaessa puusta maksetaan myös odotusarvokorvaus, joka korvaa puiden hyödyntämättä jääneen kasvupotentiaalin (Tuovinen 2017). LREV käyttää vastaavaa kannustinta tulevassa Savitaipaleen projektissaan (Tikka 2018). Taulukossa 3.1 on esitetty esimerkkilaskelma korkeamman markkinahinnan vaikutuksesta puun hintaan 1 km pituisella kaistalehakkuulla, josta kaadetaan 15 m leveä kaistale johdon molemmilta puolilta.

Taulukko 3.1 Laskelma puun hinnasta 1 km mittaisella kaistalehakkuulla, jossa kaadetaan 15 m leveä kaistale johdon molemmilta puolilta, tai johdon vierimetsiin tehdään ensiharvennushakkuu. Metsän oletetaan olevan hoidettua kuusimetsää. Päätehakuussa puuta oletetaan kaadettavaksi 300 m³/ha, josta 80 % on tukkipuuta. Ensiharvennuksessa puuta oletetaan kaadettavaksi 60 m³/ha, josta 15 % on tukkipuuta. Hinnat on laskettu markkinahinnalla, sekä markkinahinnalla, johon on lisätty PKSS:n maksama lisämaksu. Lisäksi päätehakuussa maksetaan uudistamiskorvaus. Odotusarvokorvausta ei ole huomioitu. Markkinahinnat ovat Luonnonvarakeskuksen hintatilastoista marraskuulle 2017. (Luonnonvarakeskus 2017.)

Päätehakkuu [€/km]		Ensiharvennus [€/km]	
Markkinahinta	48420	Markkinahinta	4167
Markkinahinta + lisämaksu	52920	Markkinahinta + lisämaksu	4347
Hintaero	9,3 %	Hintaero	4,3 %

Taulukosta nähdään, että esimerkkitapauksessa puusta maksettava lisähinta nostaa puun hintaa päätehakuun tapauksessa noin 9 % ja ensiharvennuksessa noin 4 %. Esimerkkilaskelmassa käytetyt hinnat ovat aavistuksen PKSS:n tarjoamia hintoja korkeammat, jolloin todellisuudessa maanomistajan saama hyöty on todennäköisesti aavistuksen esimerkkilaskelmaa pienempi. On kuitenkin otettava myös huomioon, että esimerkkilaskelma on tehty kuusesta, joka on yleensä korkeimman hinnan omaavia puulajeja (Luonnonvarakeskus 2017). Jos hakkuissa kaadetaan jotakin halvempaa puulajia, puusta maksettava lisämaksu on suhteellisesti

suurempi, jolloin myös maanomistajan saama hyöty on suurempi. Hintaero on siis suhteellisen merkittävä maanomistajan hyväksi, mikäli oletetaan, että vastaavat hakkuut tehtäisiin metsäalueelle lähitulevaisuudessa joka tapauksessa. Markkinahintaa korkeamman hinnan maksaminen kaadetusta puusta vaikuttaa siis maanomistajalle varsin hyvältä kannustimelta.

Toisenlaista kannustinta maanomistajille tarjottiin LREV:n Ylämaan projektissa, jossa maanomistajille tarjotut hakkuut sisälsivät myös uusien taimien istutuksen alueelle ilman erillistä korvausta. Tällöin koko hakkuprosessi tarjottiin maanomistajalle alusta loppuun avaimet käteen -periaatteella. Kannustimen tarkoituksena oli tehdä hakkuisiin osallistumisesta maanomistajalle mahdollisimman helppoa, koska maanomistajan ei tarvitsisi itse istuttaa alueelle taimia hakkuiden jälkeen. Myös tämä metodi toimi kannustimena varsin hyvin, sillä vain muutama maanomistaja useasta kymmenestä jätti osallistumatta vierimetsänhoitoprojektiin. (Tikka 2018).

Myös muut urakoitsijasta riippuvaiset asiat kuten hakkuiden suunnittelu, resursointi, työntekijöiden kouluttaminen ja puukauppasopimusten tekeminen vaikuttavat oleellisesti projektin sujuvaan toteutumiseen. Mikäli jotakin edellä mainituista asioista ei ole hoidettu asianmukaisesti, koko projekti voi jäädä pahimmassa tapauksessa toteuttamatta. Projektin suuri riippuvuus urakoitsijan ammattitaidosta kannustaa verkkoyhtiötä yhteistyöhön metsänhoidon ammattilaisten kanssa. Vaikka vierimetsänhoitoprojektin onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä on useita, on luvituksen onnistuminen silti nostettava projektin onnistumisen kannalta tärkeimmäksi tekijäksi.

3.6 Vaikutukset toimitusvarmuuteen

Tärkein yksittäinen tekijä vierimetsänhoidon tehostamiseen on toimitusvarmuusvaatimusten vaatima nopea toimitusvarmuuden paraneminen. Tarve toimitusvarmuuden parantamiseen havaittiin myös työn teon aikana vuonna 2017 joulun aikoihin, jolloin tykkylumen sähkölinjoille taivuttamat puut aiheuttivat Itä-Suomessa jakelunkeskeytyksiä yli kymmenelle tuhannelle asiakkaalle. Eniten katkoja oli Pohjois-Karjalan ja Kainuun alueilla. Jakelunkeskeytykset kestivät pisimmillään useita vuorokausia. Keskeytykset aiheuttivat myös miljoonaluokan tappioita sähköverkkoyhtiöille. Kuvassa 3.4 on esitetty esimerkki tykkylumen maata kohti painamista ilmajohdoista.



Kuva 3.4 Tykkylumen maata kohti painamia ilmajohtoja. Kuvassa näkyy myös vierimetsän puista karstittuja oksia (Tuovinen).

Kaistalehakuun tapauksessa ilmajohdosta saadaan puuvarma 15–30 vuodeksi. Tällä aikavälillä ilmajohto vastaa toimitusvarmuuden näkökulmasta lähes maakaapelia. Kaistalehaku poistaa kokonaan puiden taipumisten ja kaatumisten aiheuttamat keskeytykset, jolloin johdosta tulee puuvarma. Ilmastollisten ylijännitteiden, inhimillisten virheiden aiheuttamien vikojen sekä suunniteltujen keskeytysten määrään kaistalehaku ei kuitenkaan vaikuta. Puiden aiheuttamat viat ovat kuitenkin keskijänniteverkossa yleisin jakelunkeskeytysten syy, ja erityisen metsäisellä alueella sijaitsevassa verkossa puiden aiheuttamien keskeytysten osuus voi olla vielä kappaleessa 2.6 esitettyä suurempi. Kaistalehakuun jälkeen metsässä leveällä johtokadulla kulkevan leveän avojohdon vikataajuuden voidaan olettaa olevan hyvin lähellä pellolla kulkevan avojohdon vikataajuutta. Kaistalehakuilla saatavat parannukset toimitusvarmuuteen ovat siis hyvin merkittäviä. Tämän vuoksi kaistalehakkuiden käyttäminen on toimitusvarmuuden näkökulmasta järkevää, vaikka ne eivät kaikkia mahdollisia vikoja vähennäkään. Myös harvennushakuilla saadaan parannuksia toimitusvarmuuteen, koska hakuissa vierimetsistä voidaan poistaa myös yksittäiset puut, jotka aiheuttavat sähkölinjalle kaikista suurimman uhan. PKSS arvioi hyvin hoidetun vierimetsän vähentävän vierimetsän puuston aiheuttamia häiriöitä noin 30 % hoitamattomaan vierimetsään verrattuna (Tuovinen 2017).

Haastatteluajankohtana PKSS:llä ei ollut olemassa valmista tilastollista tarkastelua vierimetsänhoidon vaikutuksista jakelunkeskeytysten määrään tai niiden aiheuttamiin keskeytys- ja viankorjauskustannuksiin. Kaistalehakkuihin tiedetään kuitenkin poistavan puiden aiheuttamat viat kokonaan. Lisäksi PKSS on tehnyt lentotarkastuksia tykkylumen vaikutuksista Ilomantsin ja Tuupovaaran alueella sijaitsevalle verkon osalle. Kyseiselle verkon osalle on tehty sekä harvennus- että kaistalehakkuita. Analysoitavissa oleva aineisto on vielä toiseksi pieni, mutta tässä verkon osassa puiden taipumiset linjalle vähenivät hakkuiden ansiosta alle viidesosaan vertailuarvosta, mikä tarkoittaa merkittävää parannusta toimitusvarmuuteen. (Tuovinen 2017.)

Keskijänniteverkon vikatilastoista ja verkkoyhtiöiden empiirisistä kokemuksista voidaan vetää johtopäätös, että kaistalehakkuiden tekeminen johtokatuja vierimetsissä laskee verkon vikataajuutta huomattavasti. Erityisesti metsäisillä alueilla toimiville verkkoyhtiöille kaistalehakkuit voivat olla kaistalehakkuiden näkökulmasta oikean ikäiselle verkolle hyvä vaihtoehto toimitusvarmuuden nopeaan ja kustannustehokkaaseen parantamiseen.

3.7 Vierimetsänhoidosta aiheutuvat kustannukset

Vierimetsänhoitoa voidaan tehdä urakoitsijasta riippuen joko urakka- tai tuntipohjaisena työnä. Tuntipohjaisen työn kustannukset riippuvat lähinnä käsiteltävän metsän laadusta ja sen myötä käsiteltävästä puumäärästä. Kustannuksiin vaikuttaa muun muassa se, että vaatiiko kohde aluskasvillisuuden raivausta etukäteen ennen varsinaisten hakkuiden tekemistä, ja miten paljon kaadettavaa puuta käsiteltävällä alueella on. Lisäksi muut normaalit metsänhoitoon liittyvät asiat, kuten matkakulut ja kaadettujen puiden varastopaikat vaikuttavat kustannuksien suuruuteen. (Tuovinen 2017.)

Vuosina 2017- 2023 PKSS investoi vierimetsänhoitoon 2,5 M€/a. Vuonna 2016 yhtiön investoinnit olivat 24,3 M€ viimeisen neljän vuoden investointien ollessa keskimäärin 28,8 M€ (PKS 2017). Mikäli yhtiön investoinnit ovat myös tulevina vuosina samaa suuruusluokkaa, investoinnit vierimetsänhoitoon kattavat noin 10 % yhtiön vuosittaisista investoinneista. Vierimetsänhoito on siis yhtiössä varsin merkittävässä roolissa toimitusvarmuuden parantamisessa. PKSS hoitaa verkkojen vierimetsiä vuosittain noin 500 km, jolloin vierimetsänhoidon keskihinnaksi tulee noin 5000 €/km. Puuvarman verkon eli kaistalehakkuihin tekemisen kustannukset ovat noin 6000–8000 €/km, mikäli kaistalehakkuihin tehdään sähkölin-

jan molemmille puolille. Jos kaistalahakkuu tehdään vain sähkölinjan toiselle puolelle, esimerkiksi tien vieressä kulkevan linjan tapauksessa, hakkuiden kustannukset ovat noin 4000–5000 €/km. Harvennushakkuiden tekeminen on kaistalahakkuuta edullisempaa, mikä laskee vierimetsänhoidon keskihintaa. (Tuovinen 2017.)

Tehostetun vierimetsänhoidon kustannusten vertaileminen esimerkiksi maakaapeloinnin kanssa on haastavaa, koska erilaisia investointeja vertailtaessa on otettava huomioon monia muitakin seikkoja itse investointikustannusten lisäksi. Erilaisten menetelmien vaikutukset esimerkiksi keskeytys- ja korjauskustannuksiin vaihtelevat. Lisäksi maakaapeloinnin ja tehostetun vierimetsänhoidon sovelluskohteet eroavat joiltakin osin toisistaan, jolloin menetelmien suora vertailu keskenään ei ole mielekästä. Työtä varten kerätyn aineiston perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että oikeanlaisessa liiketoimintaympäristössä tehostettu vierimetsänhoito on hyvin kustannustehokas tapa verkon toimitusvarmuuden parantamiseen. Jos verkkoyhtiön verkko koostuu suurimmaksi osaksi metsässä kulkevista ilmajohdoista, yhtiön asiakasmäärä suhteessa verkon kokonaispituuteen on pieni ja toimitusvarmuutta on saatava parannettua nopeasti, tehostettu vierimetsänhoito vaikuttaa harkinnan arvoiselta vaihtoehdolta. Pienempien investointikustannuksien lisäksi tehostetun vierimetsänhoidon käyttäminen voi mahdollistaa jo olemassa olevan infrastruktuurin hyödyntämisen sen käyttöönsä loppuun saakka. Tämän seurauksena suurempia investointeja, kuten verkon maakaapelointia, on mahdollista siirtää kauemmas tulevaisuuteen, mikä antaa yhtiölle lisää aikaa esimerkiksi tulevaisuudessa tapahtuvien tehon muutosten arviointiin. Suurempien investointien lykkääminen mahdollistaa myös investointien tasaisemman jakautumisen eri vuosien välille, koska suurta osaa verkosta ei tarvitse kaapeloida seuraavien kymmenen vuoden aikana toimitusvarmuusvaatimusten täyttämiseksi.

3.8 Tehostetun vierimetsänhoidon tulevaisuudennäkymät

Molemmat haastatellut verkkoyhtiöt olivat sitä mieltä, että tehostettu vierimetsänhoito tulee pysymään yhtiön työkalupakissa tulevaisuudessakin (Tuovinen 2017; Tikka 2018). Tehostettu vierimetsänhoito tulee olemaan selvemmin esillä erityisesti seuraavien kymmenen vuoden aikana, jolloin sähkömarkkinalain toimitusvarmuusvaatimukset olisi täytettävä. Verkon ollessa sopivan ikäistä ja kulkiessa sopivassa ympäristössä, tehostetulla vierimetsänhoidolla voidaan saavuttaa todella suuria parannuksia toimitusvarmuuteen kohtuullisen suuruisilla investoinneilla. Esimerkiksi maaseutujen verkkoyhtiöillä, joiden verkon kokonaispituus

suhteessa asiakasmäärään on suuri, tehostettu vierimetsänhoito voi mahdollistaa toimitusvarmuusvaatimusten täyttämisen ilman suhteettoman suuria investointia ja sen myötä ilman suuria korotuksia siirtohintoihin. Toimitusvarmuusvaatimukset vaativat toki suurimalta osalta verkkoyhtiöistä suuria investointeja, mutta tehostettu vierimetsänhoito voi olla yksi keino näiden investointien kohtuullistamiseen. Uuden ilmajohdon rakentaminen leveälle johtokadulle tien viereen voi olla myös käyttökelpoinen keino vanhojen ilmajohtojen uusimiseen samalla toimitusvarmuutta parantaen. Pitkien johtolähtöjen päässä sijaitsevat pienet kulutuskeskittymät eivät välttämättä kannusta maakaapeloimaan, jolloin uusi ilmajohto voi olla edullisempi vaihtoehto.

Tehostetun vierimetsänhoidon ja erityisesti ylileveiden johtokatuja laajempaa käyttöä voivat vähentää niiden vaikutukset normaaliin metsänhoitoon. Mikäli suurelle osalle Suomen nykyisistä keskijännitteisistä ilmajohtoverkoista tehtäisiin ylileveä johtokatu, johtokatuja takia kaadettava metsä alkaisi kasvaa huomattavan suureksi. Tehostetun vierimetsänhoidon tulevaisuutta arvioitaessa on huomioitava myös maakaapeloinnin hinnan lasku. Kaapeloinnin hinta on tullut viime vuosien aikana alaspäin, ja vastaava trendi tulee todennäköisesti jatkumaan myös tulevaisuudessa kaapeloinnin suosion kasvaessa. On mahdollista, että kaapeloinnin hintataso laskee niin paljon, että kaapelin vetäminen on uuden ilmajohdon rakentamista edullisempaa. Tässä tapauksessa valinta kallistuu todennäköisemmin kaapelointiin.

4. YHTEENVETO

Tehostetun vierimetsänhoidon suosion kasvu johtuu pääasiassa vuoden 2013 sähkömarkkinain toimitusvarmuusvaatimuksista. Toimitusvarmuusvaatimukset ovat haastavia erityisesti maaseutumaisessa ympäristössä toimiville verkkoyhtiöille, joiden verkon kokonaispituus suhteessa asiakasmäärään on suuri, ja joiden verkko kulkee pääasiassa metsässä. Tällaisille verkkoyhtiöille koko verkon maakaapelointi ei ole mahdollista tai järkevää, jolloin toimitusvarmuuden parantamiseen tarvitaan muita keinoja.

Haastatelluissa yhtiöissä kaistalehakuussa sähkölinjan vierimetsästä kaadetaan puut 15 m leveältä kaistaleelta johtokadun reunasta mitattuna. Kaistalehakkuita kannattaa käyttää sellaisissa verkon osissa, joilla on käyttöikä jäljellä 20-30 vuotta, koska tälle ajanjaksolle johdosta saadaan kaistalehakuulla puuvarma. Verkkoyhtiöt ovat toteuttaneet vierimetsänhoitoprojekteja yhteistyössä paikallisten metsänhoitoyhdistysten ja metsätyöurakoitsijoiden, sekä paikallisten maanomistajien kanssa. Tärkeimpiä asioita projektien onnistumisen kannalta ovat:

- Asiakaskontaktin onnistuminen maanomistajan kanssa (viestintä ja kannustimet).
- Urakoitsijan ammattitaito ja kokemus metsänhoidollisista toimenpiteistä.

Kaistalehakuulla puuvarmaksi tehdyn ilmajohdon toimitusvarmuus on lähellä maakaapelia. Kaistalehakuun kustannukset ovat PKSS:llä johdon molemmilta puolilta hakattaessa 6000–8000 €/km ja vain johdon toiselta puolelta hakattaessa 4000–5000 €/km. Kaistalehakuut ovat siis hyvin kustannustehokas tapa toimitusvarmuuden parantamiseen. Kaistalehakuut mahdollistavat jo olemassa olevan verkon hyödyntämisen sen käyttöään loppuun saakka. Myös verkkoon tehtäviä investointeja voidaan tasoittaa pidemmälle aikavälille, koska kaikkia verkkoa ei tarvitse kaapeloida seuraavan kymmenen vuoden aikana toimitusvarmuusvaatimuksien vuoksi. Tehostettu vierimetsänhoito tulee luultavasti olemaan osana maaseutumaisissa oloissa toimivien verkkoyhtiöiden työkalupakkia ainakin siihen asti, kunnes toimitusvarmuusvaatimukset on saatu täytettyä. On mahdollista, että menetelmä on myös jatkossa kustannustehokkain ratkaisu esimerkiksi pienitehoisilla ja pitkillä johtolähdöillä. Kaapeloinnin kustannusten laskeminen voi kuitenkin vaikuttaa pitkällä aikavälillä tehostetun vierimetsänhoidon suosittuuteen.

Jatkossa olisi mielenkiintoista saada tarkempaa tutkimustietoa kaistalehakkuiden vaikutuksista keskeytysaikoihin sekä keskeytys- ja viankorjauskustannuksiin. Tätä työtä tehdessä tällaista tietoa ei ollut saatavilla. Lisäksi tarkempi vertailu toimitusvarmuuden parantamiseen tähtäävien menetelmien taloudellisen kannattavuuden välillä erilaisissa liiketoimintaympäristöissä voisi olla kiinnostavaa.

5. LÄHTEET

Energiateollisuus. 2017a. Sähkön keskeytystilasto 2016. [viitattu 20.9.2017]. Saatavilla: https://energia.fi/files/1670/Sahkon_keskeytystilasto_2016.pdf

Energiateollisuus. 2017b. Sähköverkkojen rakenne. [www-sivu]. [viitattu 12.10.2017]. Saatavilla: https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiaverkot/sahkoverkot

Energiateollisuus. 2017c. Johtoaluesopimusohja 20171010- yhteinen malli. [viitattu 7.11.2017]. Saatavilla: https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/johtoaluesopimusohja_20171010-_yhteinen_malli.html#material-view

Energiavirasto. 2015a. Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut 2014. [viitattu 20.9.2017]. Saatavilla: <https://www.energiavirasto.fi/web/guest/tunnusluvut2014>

Energiavirasto. 2015b. Sähkön jakeluverkkotoiminta ja sähkön suurjännitteinen jakeluverkkotoiminta – Liite 2 Valvontamenetelmät. [web-dokumentti]. [viitattu 16.10.2017]. Saatavilla: <http://www.energiavirasto.fi/valvontamenetelmat-2016-20231>

Energiavirasto. 2015c. Sähkönjakeluverkon verkkokomponentit ja yksikköhinnat 2016 – 2023. [viitattu 31.10.2017]. Saatavilla: <https://www.energiavirasto.fi/verkkokomponentit-ja-yksikkohinnat-2016-2023>

Fingrid. 2017a. Suomen sähkövoimajärjestelmä. [www-sivu]. [viitattu 12.10.2017]. Saatavilla: <http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Suomen%20s%C3%A4hk%C3%B6voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Sivut/default.aspx>

Lakervi, E., Partanen, J. 2008. Sähkönjakeluteknikka. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press, Ota-tieto.

Lassila, J. 2009. Strategic Development of Electricity Distribution Networks – Concept and Methods. [väitöskirja]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Luonnonvarakeskus. 2017. Puukauppa. [www-sivu]. [viitattu 10.1.2017]. Saatavilla: <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/puukauppa/>

Partanen et al. 2010. Sähkönjakelun toimitusvarmuuden kriteeristö ja tavoitetasot. [raportti]. [viitattu 31.10.2017]. Saatavilla: https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/sahkonjakelun_toimitusvarmuuden_kriteeristo_ja_tavoitetasot_-_sahkotutkimuspoolin_julkaisu.html

Partanen et al. 2017. Sähkömarkkinat – opetusmoniste. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

PKS. 2017. PKS Vuosikertomus 2016. [www-sivu]. [viitattu 21.1.2018]. Saatavilla: <https://vuosikertomus.pks.fi/>

Tapio. 2013a. Keskijännitteisten sähkölinjojen vierimetsien määrä ja ominaisuudet. [raportti]. [viitattu 17.9.2017]. Saatavilla: <http://tapio.fi/julkaisut-ja-raportit/vierimetsa-projektin-raportit/>

Tapio. 2013b. Keskijännitteisten ilmajohtojen toimintavarmuuden parantaminen – osaraporttien tiivistelmä. [raportti]. [viitattu 17.9.2017]. Saatavilla: <http://tapio.fi/julkaisut-ja-raportit/vierimetsa-projektin-raportit/>

Tapio. 2013c. Keskijännitteisten ilmajohtolinjan vierimetsän hoitoprojektin suunnittelu ja toteutus. [raportti]. [viitattu 8.11.2017]. Saatavilla: <http://tapio.fi/julkaisut-ja-raportit/vierimetsa-projektin-raportit/>

17.3.1995/386 Sähkömarkkinalaki (kumottu). [viitattu 17.9.2017]. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/kumotut/1995/19950386>

9.8.2013/588 Sähkömarkkinalaki. [viitattu 17.9.2017]. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>

Haastattelut:

Tikka, P. 2018. Lappeenrannan Energiaverkot Oy. [haastattelu]. [Lappeenranta]. [18.1.2018].

Tuovinen, A. 2017. PKS Sähkönsiirto Oy. [puhelinhaastattelu]. [5.12.2017].

Kuvat

Aalto, H. 2017. Ylileveä johtokatu Kiteellä.

Rantonen, J. Vierimetsän kaistalehakuu.

Tuovinen, A. Tykkylumen maata kohti painamat ilmajohdot.

LIITE 1: VERKKOYHTIÖN TOTEUTUNEEN OIKAISTUN TULOKSEN LASKENTA

VERKKOTOIMINNAN ERIYTETYN TULOSLASKELMAN LIIKEVOITTO (LIIKETAPPIO)

- + Palautettavat eriytetyn tuloslaskelman erät
 - + Palautuskelpoisten liittymismaksujen nettomuutos
 - + Maksetut verkkovuokrat
 - + Suunnitelman mukaiset poistot liikearvosta
 - + Muihin kuluihin kirjattu verkonosuuden myyntitappio
 - Muihin tuottoihin kirjattu verkonosuuden myyntivoitto
 - + Suunnitelman mukaiset poistot ja arvonalentumiset sähköverkon hyödykkeistä
- Tuloksen korjauserät
 - + Rahoitusomaisuuden kohtuulliset kustannukset
- Investointikannustin
 - + Sähköverkko-omaisuuden oikaistut tasapoistot
- Laatukannustin
 - + Keskeytyskustannusten vertailutaso
 - Toteutuneet keskeytyskustannukset
- Tehostamiskannustin
 - + Tehostamiskustannusten vertailutaso
 - Toteutuneet tehostamiskustannukset
- Innovaatiokannustin
 - + Tutkimus- ja kehittämistoiminnan kohtuulliset kustannukset
- Toimitusvarmuuskannustin
 - + Ennenaikaisista korvausinvestoinneista aiheutuvat NKA-jäännösarvon alaskirjaukset
 - + Kunnossapito- ja varautumistoimenpiteiden kohtuulliset kustannukset

= TOTEUTUNUT OIKAISTU TULOS