

Etti Saariniemi

# **AAPELI-MYRSKYN AIHEUTTAMAT SÄHKÖKATKOKSET JA NIIDEN SEURAUKSET**

Kandidaatintyö  
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta  
Tarkastaja: Pekka Verho  
Huhtikuu 2020

# TIIVISTELMÄ

Etti Saariniemi: Aapeli-myrskyn aiheuttamat sähkökatkokset ja niiden seuraukset  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Sähkötekniikka  
Huhtikuu 2020

---

Tässä työssä esitellään Aapeli-myrskyn aiheuttamaa suurhäiriötä Suomen sähköjakeluverkossa. Suurhäiriö on poikkeuksellinen häiriötilanne sähköjakelun toimivuudessa ja toimitusvarmuudessa. Suurhäiriö aiheutuu yleisimmin kovista myrskyistä. Aapeli-myrsky alkoi 2.1.2019 vastaisena yönä ja kesti vajaan vuorokauden. Se aiheutti merkittäviä sähkökatkoksia etenkin Ahvenanmaalla ja Länsi-Suomessa. Sähkökatkoksista aiheutui seurauksia korjausten, kustannusten ja metsän tuhoutumisen muodossa. Aapeli-myrskyn sähkökatkoksia ja seurauksia käsitellään etenkin toimitusvarmuuden ja säävarman verkon kautta. Työn tavoitteena on antaa kattava kokonaiskuva säävarman verkon positiivisista vaikutuksista sähköjakelun luotettavuuden toteutumiselle.

Työssä esitellään sähkömarkkinalain uudistus toimitusvarmuuden näkökulmasta sekä selvennetään keskeytysten roolia toimitusvarmuudessa. Toimitusvarmuuden kehitystä esitellään keskeytysten keston, maakaapeloinnin ja sähkömarkkinalain vaatimusten toteutumisen kautta. Työssä annetaan myös konkreettisia keinoja toimitusvarmuuden parantamiseen ja sähkömarkkinalain laatuvaatimusten täyttämiseen käyttöpaikoilla. Nämä keinot perustuvat keskeytysten määrän pienentämiseen ja keskeytysten keston lyhentämiseen. Toimitusvarmuuden parantaminen pohjautuu yleisesti investointeihin ja kunnossapitoon.

Työssä esitellään verkkoyhtiökohtaisesti säävarman verkon kehittämiseksi tehtyjä toimenpiteitä. Työ osoittaa, että toimitusvarmuuden parantuminen vähensi Aapeli-myrskyn sähkökatkoksia ja pienensi seurauksia. Tehdyt investoinnit näkyivät erityisesti kustannusten ja sähköttömien asiakkaiden pienemmässä määrässä, verrattuna aikaisempiin, saman kokoluokan myrskyjen aiheuttamiin suurhäiriöihin. Näihin seurauksiin perehdytään yleisesti sekä verkkoyhtiökohtaisesti.

Verkkoyhtiöiden toiminta suurhäiriötilanteissa perustuu yhtiökohtaisiin suurhäiriön varautumissuunnitelmiin, jotka koostuvat muun muassa resurssienhallinnasta ja korjaustoimista. Aapeli-myrskyn aiheuttamien vikojen korjauksiin osallistuivat asentajat, kopterit ja metsäkoneet. Kustannukset koostuivat vakiorvauksista, korjauskustannuksista ja keskeytyneen haitan hinnasta eli KAH-arvosta.

Avainsanat: Aapeli-myrsky, toimitusvarmuus, säävarma verkko

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. SÄHKÖNJAKELUVERKON TOIMITUSVARMUUS .....	3
2.1 Sähkömarkkinalain uudistus.....	3
2.2 Toimitusvarmuuden tunnuslukuja.....	4
2.3 Sähkönjakeluverkon keskeytykset.....	5
2.4 Suurhäiriön määritelmä .....	6
2.5 Toimitusvarmuuden kehittyminen.....	7
3. SÄHKÖNJAKELUN KESKEYTYSTEN SEURAUKSET .....	10
3.1 Sähkönjakelun keskeytysten kesto ja korjaukset.....	10
3.2 Keskeytyskustannukset.....	11
4. TOIMITUSVARMUUDEN PARANTAMINEN .....	14
4.1 Vikojen määrään vaikuttavat menetelmät.....	14
4.1.1 Maakaapelointi.....	14
4.1.2 Kunnossapito .....	15
4.1.3 Johtokatuja raivaus .....	16
4.1.4 PAS-johdot.....	16
4.1.5 Rakentaminen teiden varsille .....	16
4.1.6 1000 V:n johtolähdöt ja uudet sähköasemat.....	17
4.2 Vikojen kestoon vaikuttavat menetelmät .....	17
4.2.1 Automaatio ja kauko-ohjattavat erottimet .....	17
4.2.2 Varayhteydet.....	18
5. AAPALI-MYRSKYN AIHEUTTAMAT SÄHKÖNJAKELUN KESKEYTYKSET .....	19
5.1 Säätövarman verkon tilanne ennen Aapeli-myrskyä.....	19
5.2 Aapeli-myrskyn aiheuttamat sähkökatkokset.....	22
5.3 Aapeli-myrskyn vian korjaus.....	23
5.4 Aapeli-myrskyn kustannukset.....	24
5.5 Myrskyn aiheuttamia muita häiriöitä .....	25
6. YHTEENVETO.....	26
LÄHTEET .....	27

# 1. JOHDANTO

Luonnonilmiöt ovat aiheuttaneet haasteita sähköverkossa siitä lähtien kun sähköverkko on ollut olemassa. Suomessa ongelmia aiheuttavia luonnonilmiöitä ovat muun muassa ukkonen, lumi ja kova tuuli. Nykyään verkon suurhäiriöriski on korkeampi, sillä ilmasto muuttuu. Ilmastonmuutoksessa sään ääri-ilmiöt lisääntyvät ja voimistuvat. Viime vuosina tapahtuneet kovat myrskyt, ja näiden takia aiheutuneet sähköverkon suurhäiriöt ovat johtaneet sähkömarkkinalain uudistukseen.

Vuonna 2011 tapahtuivat Tapani- ja Hannu-myrskyt. Näitä pidetään Suomen lähihistorian pahimpina myrskyinä, ja ne johtivat sähkömarkkinalain muutokseen. Vuonna 2013 sähkömarkkinalaki uudistettiin suuntaan, jossa sähköverkkoyhtiöiden oli aloitettava kunnostamaan sähköverkkoa säävarmaksi. Keskeisessä roolissa uudessa sähkömarkkinalaissa oli suurhäiriöiden välttäminen ja toimitusvarmuuden parantaminen. Uuden sähkömarkkinalain myötä monet verkkoyhtiöt ovat aloittaneet kaapeloimaan verkkoa, sillä maakaapeloitu verkko täyttää toimitusvarmuudelle asetetut vaatimukset.

Aapeli-myrsky tapahtui 2. tammikuuta 2019. Myrsky aiheutti mittavia sähkökatkoksia ja ongelmia esimerkiksi juna- ja laivaliikenteeseen sekä ongelmia matkapuhelinverkoissa. Tuuli oli kovimmillaan 41,6 m/s merellä ja maalla 32,8 m/s. Sähköt olivat poikki pahimmillaan 120 000 asiakkaalta. Yhtiöittäin eniten sähköttömiä asiakkaita oli keskiviikkona (2.1.2019) puolenpäivän aikaan Elenialla, Carunalla, sekä Järvi-Suomen Energiolla.[1] Aapelin aiheuttamat kustannukset jäivät kuitenkin pienemmiksi kuin edellisinä vuosina suurhäiriöissä, toimitusvarmuuteen tehtyjen investointien ansiosta.

Tässä työssä esitellään säävarman verkon edistäviä vaikutuksia suurmyrskyjen ja vikojen ehkäisemiseen sekä näiden aiheuttamiin keskeytyksiin. Työssä käsitellään Aapeli-myrskyn aiheuttamia sähkökatkoksia toimitusvarmuuden ja säävarman verkon näkökulmasta. Työ käsittelee Aapeli-myrskyn aiheuttamia tuhoja Suomen sähköverkon kannalta, vaikka myrsky aiheutti ongelmia myös muissa valtioissa, kuten Ruotsissa ja Tanskassa. Työssä tarkastellaan myös yleisesti suurmyrskyjen aiheuttamien kustannusten ja vaurioiden vähenemistä toimitusvarmuuden parantumisen myötä.

Aluksi, luvussa 2 käsitellään sähkönjakelun toimitusvarmuutta. Tarkastelussa on päivitetyn sähkömarkkinalain määräykset toimitusvarmuuden suhteen. Luvussa määritellään

myös käsitteenä suurhäiriö ja toimitusvarmuuden keskeisimmät tunnusluvut, sekä tarkastellaan tunnuslukujen avulla verkon kehitystä. Luvussa 3 perehdytään yleisesti jakeluverkossa tapahtuviin keskeytyksiin ja niiden seurauksiin, kuten kestoon ja kustannuksiin. Luvussa 4 käsitellään suurhäiriöiden varautumiseen ja toimitusvarmuuden kehittämiseen käytettäviä menetelmiä. Luvussa 5 perehdytään Aapeli-myrskyn sähkökatkoksiin ja seurauksiin yleisesti sekä verkkoyhtiökohtaisesti. Lopuksi työn keskeisimmät pääpiirteet ja havainnot on koottu yhteenveto-osioon.

## 2. SÄHKÖNJAKELUVERKON TOIMITUSVARMUUS

Toimitusvarmuudella tarkoitetaan sähköjakelun luotettavuutta asiakkaan näkökulmasta. Toimitusvarmuus on sovitun tuotteen toimittamista asiakkaalle, joten sähkön toimitusvarmuuteen vaikuttaa merkittävästi sähköjakeluverkon keskeytykset. Sähkön toimitusvarmuus on osa verkkopalvelun laatua. [2]

### 2.1 Sähkömarkkinalain uudistus

Vuonna 2011 joulukuussa peräkkäisinä päivinä tapahtuneet Tapani- ja Hannu-myrskyt olivat sähköverkolle tuhoisia, ja myrskyjen seurauksena sähköt olivat joillakin asiakkailla poissa useita päiviä tai viikkoja. Kustannukset olivat suuria, ja verkkoa täytyi korjata myrskyn jäljiltä. Tämä johti sähkömarkkinalain uudistamiseen säävarman verkon ja toimitusvarmuuden kehittämisen osalta. Sähkömarkkinalain uudistus tuli voimaan syyskuussa 2013.

Päivittyneessä sähkömarkkinalaissa keskeisenä terminä on toimitusvarmuus. Parempaan toimitusvarmuuteen tähdätään säävarman verkon kehittämällä. Sähkömarkkinalaki määrittelee, että vuoteen 2028 mennessä kaikkien asiakkaiden tulee olla sähkömarkkinalain vaatimusten piirissä. [3]

Käyttöpaikat on jaoteltu sähkömarkkinalaissa kahteen alueeseen: taajama-alueeseen ja taajama-alueen ulkopuoliseen alueeseen. Sähkömarkkinalaissa tehtiin tiukennuksia verkon kehittämisvelvollisuuteen ja sitä kautta vikakeskeytyksien enimmäiskeston. Asemakaava-alueella saa näin ollen olla enintään 6 tunnin sähköjakelun keskeytys ja asemakaava-alueen ulkopuolella enintään 36 tunnin sähköjakelun keskeytys, mikäli keskeytys on aiheutunut myrskyn tai lumikuorman aiheuttamasta viasta. [3] Esimerkiksi muuntajan vioittumisesta aiheutuva keskeytys voi kuitenkin olla edellä mainittuja keskeytyksiä pidempi.

Toimitusvarmuuden kehittämiseksi myös vakiokorvaukset sähköjakelun keskeytyksistä suurenevät. Vakiokorvaus on prosenttiosuus siirtopalvelumaksusta, minkä verkkoyhtiö maksaa loppukäyttäjälle. Keskeytyksen pitää olla yhtäjaksoinen. Vakiokorvausten määrät sekä näiden aikavälit ovat seuraavat [3]:

1) 10 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 12 tuntia mutta vähemmän kuin 24 tuntia

- 2) 25 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 24 tuntia mutta vähemmän kuin 72 tuntia
- 3) 50 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 72 tuntia mutta vähemmän kuin 120 tuntia
- 4) 100 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 120 tuntia mutta vähemmän kuin 192 tuntia
- 5) 150 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 192 tuntia mutta vähemmän kuin 288 tuntia
- 6) 200 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 288 tuntia.

Loppukäyttäjälle maksettava vakiokorvaus voi olla enintään kalenterivuoden siirtomaksusta 200 %:a tai 2 000 euroa. Sähkömarkkinalain vaatimukset toimitusvarmuudesta tulevat voimaan asteittain. Vuoden 2019 loppuun mennessä vaatimusten on täytyttävä vähintään 50 %:lla jakeluverkon käyttäjistä sekä vuoden 2023 loppuun mennessä 75 %:lla käyttäjistä. Loput käyttäjät tulee olla laatuvaatimusten piirissä vuoden 2028 loppuun mennessä. [3]

Jotkin yhtiöt ovat saaneet laatuvaatimukseen lisäaikaa, sillä verkkojen uudistamisnopeus on rajallista. Haja-asutusalueella verkkoyhtiöillä verkkopituus on suurempi per asiakas sekä esimerkiksi avojohdollista keskijänniteverkkoa on paljon. Nämä hankaloittavat aikataulussa pysymistä. Tällä hetkellä lisäaikaa laatuvaatimusten täyttämiseen on saanut 10 verkkoyhtiötä [4].

Sähkömarkkinalain vaatimusten toteutumista ja verkkojen kehittämistä valvotaan kehittämissuunnitelmien avulla, jonka jokainen yhtiö toimittaa Energiavirastolle kahden vuoden välein [3]. Kehittämissuunnitelmalla valvotaan toimitusvarmuuden ja sähkönjakeluverkon laatuvaatimusten kehittymistä siirtymäaikojen puitteissa. Energiavirasto on antanut seuraavat vaatimukset kehittämissuunnitelman sisällöstä: Kehittämissuunnitelman tulee pitää sisällään pitkän aikavälin ja seuraavan kahden vuoden suunnitelman laatuvaatimusten kehittämiseksi, nykytilanne laatuvaatimusten kannalta ja kahden edellisen vuoden aikana laatuvaatimusten täyttämiseksi tehdyt toimenpiteet. [5]

## **2.2 Toimitusvarmuuden tunnuslukuja**

Toimitusvarmuuden tunnusluvut kuvaavat sähkönjakelun luotettavuutta ja toimitusvarmuuden toteutumista. Tunnusluvut kuvaavat asiakkaiden kokemia vikoja, kuten vikojen

kestoja tai kappalemääriä. Ne ovat verkkoliiketoiminnassakin verkkoyhtiöille tärkeitä tunnuslukuja, ja niitä seurataan aktiivisesti. Tunnusluvut ovat käytössä ympäri maailman. Seuraavaksi eritellään neljä tyypillisintä keskeytysindeksiä. [6]

- SAIFI (The System Average Interruption Frequency Index) kuvaa tietyllä aikavälillä tapahtuvien keskeytysten keskimääräistä lukumäärää.
- SAIDI (The System Average Interruption Duration Index) kuvaa tietyllä aikavälillä tapahtuvien keskeytysten keskimääräistä kestoaikaa.
- CAIDI (The Customer Average Interruption Duration Index) kuvaa asiakkaan tietyllä aikavälillä kokemien keskeytysten keskipituutta.
- MAIFI (The Momentary Average Interruption Frequency Index) kuvaa tietyllä aikavälillä esiintyneiden lyhyiden (alle 3 min) toimituskatkojen keskimääräistä lukumäärää vuodessa asiakasta kohti.

Toimitusvarmuutta ohjataan ja valvotaan taloudellisen regulaation avulla. Tunnusluvuilla on siinä suuri painoarvo, joten verkkoyhtiöiden on investoitava toimitusvarmuuden ylläpitämiseen ja kehittämiseen. Jos vaadittavat luvut eivät täyty, uhkana on taloudellinen sanktio muun muassa vakiokorvausten muodossa. [7] Yllä olevia tunnuslukuja käytetään verkkoyhtiön toiminnan kehittämiseen ja esimerkiksi suurhäiriövuotena toiminnan ja kehityksen analysoimiseen.

### **2.3 Sähkönjakeluverkon keskeytykset**

Suomessa keskimääräinen sähkönjakelun keskeytysaika vuodessa on noin 3 tuntia taa-jaman ulkopuolella ja taajamassa alle tunti. Suurhäiriössä ja yksittäisissä myrskyissä keskeytykset näkyvät tilastoissa piikkeinä. [8]

Suurin osa asiakkaiden kokemista jakeluverkon keskeytyksistä johtuu jakeluverkon vioista. Tämä johtuu jakeluverkon rakenteesta ja toimintaympäristöstä. Sähkönjakeluverkko on usein altis puiden kaatumisen aiheuttamille keskeytyksille tai maanrakennuksesta johtuville vikaantumisille. [9]

Noin 90 %:a sähkönkäyttäjien kokemista keskeytyksistä aiheutuu keskijänniteverkon keskeytyksistä ja 10 %:a pääosin pienjänniteverkon vioista [7]. Keskijänniteverkon viat aiheuttavat keskeytyksiä laajemmille alueille, sillä keskijänniteverkon takana on enemmän asiakkaita, kun taas pienjänniteverkon viat aiheuttavat keskeytyksen tietylle, pienemmälle alueelle.



Keskeytykset voidaan luokitella suunniteltuihin ja odottamattomiin keskeytyksiin sekä pysyviin ja ohimeneviin (alle 3 minuutin) keskeytyksiin. Vian sattuessa vika pyritään korjaamaan ensisijaisesti jälleenkytkennöillä. Ensiksi tehdään muutaman sekunnin mittainen pikajälleenkytkentä. Jos tämä ei auta tarvitaan kahden minuutin mittainen jännitteetön aika eli aikajälleenkytkentä. Jos tämäkään ei saa vikaa poistumaan vika on pysyvä. Pikajälleenkytkentä selvittää noin 75 %:a vioista ja aikajälleenkytkentä 15 %:a vioista. [7]

Odottamattoman pysyvän vian sattuessa pyritään vika-alue rajaamaan esimerkiksi erottimilla mahdollisimman pieneksi. Vikatilanteen jatkuessa ja sähköttömien asiakkaiden määrän kasvaessa aletaan puhumaan sähkönjakelun suurhäiriöstä. Myös suunnitellut keskeytykset ovat pysyviä keskeytyksiä. Ne ovat yleensä verkon asennus- tai huolto- töitä, joista ilmoitetaan asiakkaalle etukäteen. [7] Niistä ei makseta vakiokorvauksia, vaikka keskeytykset olisivat yli 6 tunnin mittaisia asemakaava-alueella tai yli 36 tunnin mittaisia asemakaava-alueen ulkopuolella.

## 2.4 Suurhäiriön määritelmä

Suurhäiriö voidaan määritellä monella tavalla riippuen kontekstista, tai siitä millä alalla suurhäiriöstä keskustellaan. Sähköverkkoalalla suurhäiriö määritellään poikkeukselliseksi häiriötilanteeksi sähkönjakelun toimivuudessa ja toimitusvarmuudessa. Suurhäiriö sisältää ainakin yhden suurhäiriöpäivän. [6] Kun puhutaan suurhäiriöstä, tarkoitetaan yleensä jakeluverkkoa, sillä kantaverkon suurhäiriössä voitaisiin puhua jopa kriisistä. Edelliset koko Suomea koskeneet kantaverkon häiriöt on tapahtuneet yli 40 vuotta sitten [8].

Energiamarkkinaviraston julkaisussa Pertti Järventausta määrittelee suurhäiriön seuraavalla tavalla: ”Suurhäiriö on tilanne, jossa yli 20 % yhtiön asiakkaista on ilman sähköä, tai jossa 110 kV johto tai 110/20 kV (110/10 kV) sähköasema tai päämuuntaja vikaantuu pitkäaikaisesti (useita tunteja).” [10, s.40]

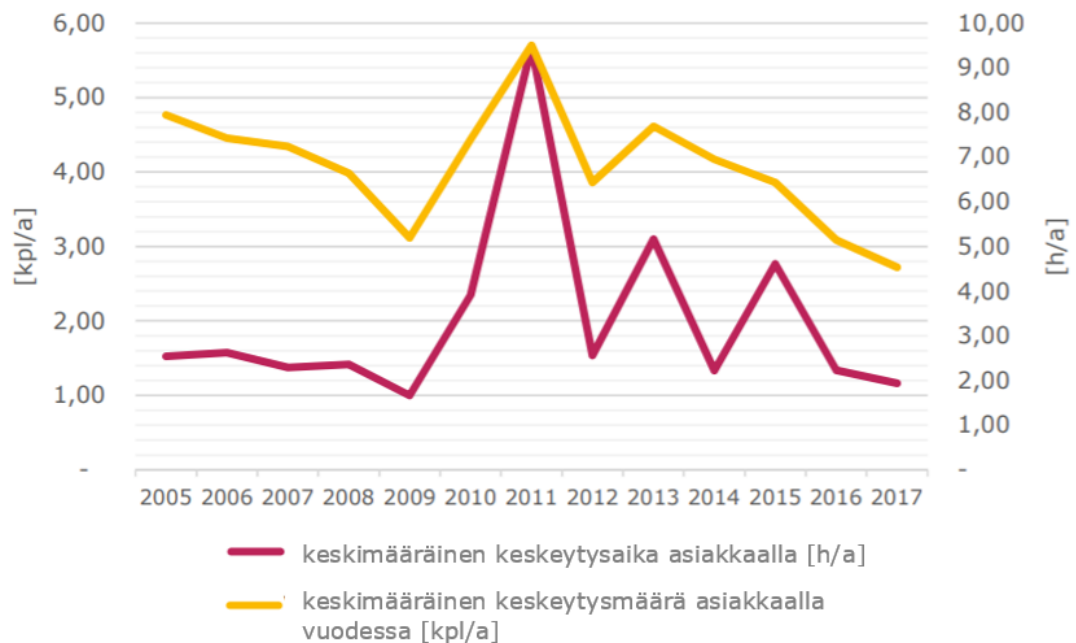
Teknisemmin suurhäiriö voidaan määritellä luvun 2.2 toimitusvarmuuden tunnuslukujen avulla. IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices –dokumentissa määritellään suurhäiriö seuraavasti: Suurhäiriö on päivä, jolloin päivittäinen SAIDI-arvo ylittää raja-arvon  $T_{MED}$  (MED = Major Event Day).  $T_{MED}$  on määritelty käyttäen tilastoituja päivittäisiä SAIDI:n arvoja viideltä edelliseltä vuodelta.  $T_{MED}$  määrittelyyn otetaan vain ne päivittäiset SAIDI:n arvot, jolloin on tapahtunut keskeytys. [6]

Edellisten määritelmien perusteella voidaan todeta, että Aapeli-myrsky aiheutti suurhäiriön Suomen sähköverkossa. SAIDI-arvo oli suuri pitkien keskeytysten takia. Toimitusvarmuus ei ollut normaalilla tasolla, ja asiakkaista yli 20 %:a oli ilman sähköä usealla verkkoyhtiöllä. Suurhäiriön tapahtuessa sekä sen jälkeen verkkoa täytyi korjata, jotta toimitusvarmuus saatiin normaalille, sähkömarkkinalain määräämälle tasolle.

## 2.5 Toimitusvarmuuden kehittyminen

Säävarman verkon tilannetta voidaan tarkastella muun muassa sähköjakelun toimitusvarmuutta mittaavilla tunnusluvuilla. Energiavirasto on dokumentissaan ”Verkkotoiminnan vaikuttavuusraportti 2018” [9] koonnut sähköjakelun tilastoja muun muassa toimitusvarmuudesta ja maakaapelointiasteen suurenemisesta. Energiavirasto kerää verkkoyhtiöiltä tilastoja keskeytyksistä ja valvoo verkon kehittämistä kehittämissuunnitelmien avulla [5].

Sähköjakelun keskimääräinen SAIDI (h/a) ja SAIFI (kpl/a) vuodessa on esitetty kuvassa 1 vuosina 2005–2017. Kuvassa arvot ovat keskimääräisiä Suomen tasolla. [9] Yksittäisten yhtiöiden kohdalla keskimääräinen keskeytysten määrä ja keskeytysaika voivat vaihdella keskiarvon molemmin puolin.



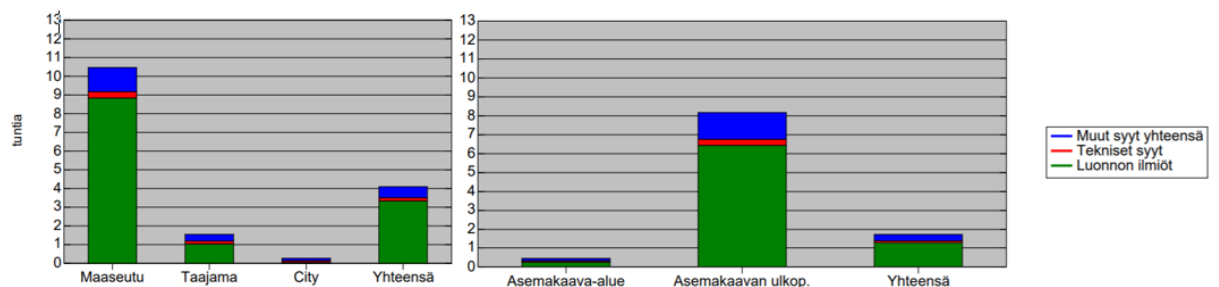
**Kuva 1.** Keskimääräiset keskeytysajat ja -määrät asiakkaalla vuosina 2005–2017 [9, s.38].

Keskimääräistä suuremmat vaihtelut keskeytysajoissa ja keskeytymäärissä johtuvat poikkeuksellisen voimakkaista myrskyistä. Myrskyvuosina 2011, 2013 ja 2015 näkyvät piikit keskeytysaikakäyrässä. Keskeytymääriin ne eivät ole aiheuttaneet niin merkittävää heilahtelua. Molemmat käyrät ovat laskussa, minkä voidaan olettaa johtuvan säävarman verkon rakentamisesta, mutta myös siitä, että voimakkaita myrskyjä ei ole tapahtunut viime vuosina, ennen vuotta 2019. Keskeytymäärä on laskussa, mikä johtuu todennäköisesti toimitusvarmuuden kehittämisestä, esimerkiksi maakaapeloinnista ja johtokatuja raivauksesta.

Sähköverkkoinvestointien aikajänteet ovat pitkiä ja sääolosuhteet, esimerkiksi myrskyt, vaikuttavat yksittäisten vuosien tunnuslukuihin merkittävästi. Tämän vuoksi investointien vaikutukset näkyvät valtakunnallisissa keskiarvoissa mahdollisesti vasta vuosien kuluessa. [9] Näin ollen ei voida varmuudella sanoa edellä olevasta kuvaajasta verkon kehittyneen merkittävästi. Esimerkiksi lähivuosina ennen Aapeli-myrskyä ei ole ollut voimakkaita myrskyjä, jotka olisivat aiheuttaneet merkittäviä keskeytymäärien ja -aikojen nousua.

Seuraavana tarkastellaan tarkemmin kahden tilastoiltaan samankaltaisen vuoden keskeytysdiagrammeja ja vertaillaan niitä toisiinsa. Esimerkkinä tarkastellaan tilastoja sellaisilta vuosilta, jolloin on tapahtunut merkittävä myrsky, kuten 2013 ja 2015, sekä sellaisilta, jolloin merkittäviä myrskyjä ei tapahtunut, kuten 2014 ja 2017. Vuosina 2014 ja 2017 on ollut myrskyjä, mutta ne eivät ole olleet niin voimakkaita eivätkä ole vaikuttaneet merkittävästi keskeytystilastoihin.

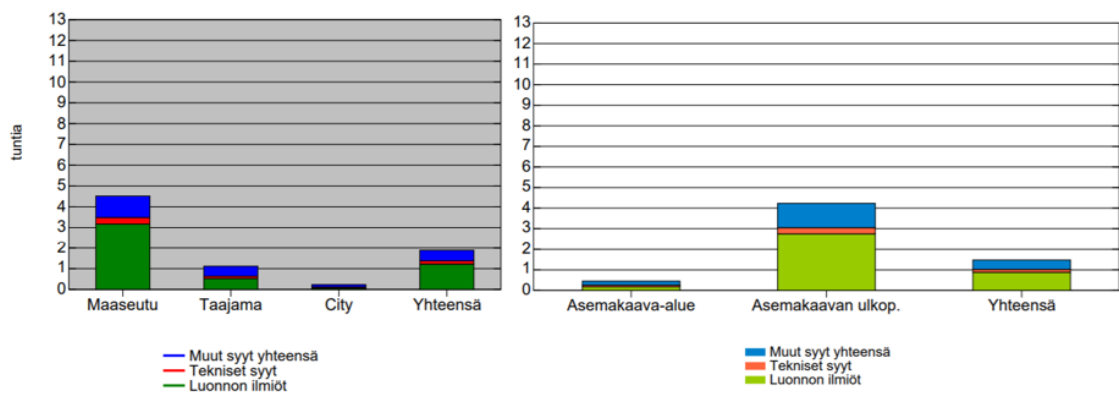
Alla olevat tilastot kuvaavat keskimääräistä keskeytysaikaa asiakkaalla vuodessa eli SAIDI:a (h/a). Arvot ovat määriteltä seuraavasti: keskeytysten käyttöpaikkatunnit jaettuna kyseessä olevan verkon kaikilla käyttöpaikkamäärillä. Jälleenkytkennät eivät ole tässä mukana. [11] Kuvassa 2 on vuoden 2013 ja 2015 keskeytystilastot. Näiden välissä on vaihtunut alueiden jako, mutta näitä voidaan silti vertailla toisiinsa.



**Kuva 2.** Vasemmalla vuoden 2013 keskimääräinen keskeytysaika asiakkaalla vuodessa [11, s.3] ja oikealla vuoden 2015 keskimääräinen keskeytysaika asiakkaalla vuodessa [12, s.3].

Tilastoista nähdään kaikkien alueiden keskeytysaikojen pientyminen vuoteen 2015 mennessä. City ja asemakaava-alueita voidaan pitää tässä samana alueena. Alueiden keskeytysaika on pysynyt samana. Maaseutua ja taajamaa yhdessä voidaan pitää samana kuin asemakaava-alueen ulkopuolista aluetta. Asemakaava-alueen ulkopuolella keskeytysaika on pientynyt 12 tunnista 8 tuntiin.

Kuvassa 3 on vuoden 2014 ja 2017 keskeytystilastot. Keskeytystilastot kuvaavat keskimääräistä keskeytysaikaa asiakkaalla vuodessa eli SAIDI:a (h/a). Ne ovat määritelty samalla tavoin, kuin yllä olevat keskeytystilastot.



**Kuva 3.** Vasemmalla vuoden 2014 keskimääräinen keskeytysaika asiakkaalla vuodessa [13, s.3] ja oikealla vuoden 2017 keskimääräinen keskeytysaika asiakkaalla vuodessa [14, s.3].

Kuvasta nähdään, että asemakaava-alueen ulkopuolella, johon siis lasketaan vuoden 2014 taajama- ja maaseutualue, on pientynyt 5,5 tunnista 4 tuntiin. Myös yhteensä-palkki on pientynyt puoli tuntia. Asemakaava-alue ja city ovat pysyneet lähes samana. Asemakaava-alueen keskeytysten määrä ei välttämättä tule muuttumaan vuosien saatossa enää pienemmäksi, sillä vuoden aikana on aina jonkin verran suunniteltuja keskeytyksiä.

## 3. SÄHKÖNJAKELUN KESKEYTYSTEN SEURAUKSET

Sähkönjakelun keskeytysten seurauksina tässä luvussa tarkastellaan vikojen korjausta ja keskeytyksistä aiheutuvia kustannuksia. Keskeytysten seurausten määrään vaikuttaa merkittävästi vikojen laajuus sekä keskeytysten kesto.

### 3.1 Sähkönjakelun keskeytysten kesto ja korjaukset

Sähkökatkosten kestoon vaikuttavat vian paikantamisprosessi ja korjausaika. Katkosten kestoa voi pitkittää resurssien puuttuminen tai vaikeat olosuhteet verkon korjauksen aikana. Korjausaika muodostuu reagointiajasta ja vikapaikan saavutettavuudesta, kuten etäisyydestä, maasto-olosuhteista ja sääolosuhteista.

Asiakkaan kokemaa sähkönjakelun kestoa voidaan pienentää erottamalla vika kytkennöillä. Vian erottamisen ja jakelun palauttamiseen kuluva aikaa voidaan lyhentää kauko-ohjatuissa erotinvyöhykkeissä verkosto- ja valvomoautomaatiolla sekä käsinohjattavissa erottimissa operointiajalla. Vikojen korjausaikaan voidaan vaikuttaa myös viankorjausorganisaation hallinnalla ja olemassaololla, erotinvyöhykkeiden määrällä, varasyötöillä ja aggregaateilla. [2]

Suurhäiriön varautumisen suunnitteluun ja toimintaan kuuluu kaksi aluetta: Toiminta ennen suurhäiriötä ja toiminta suurhäiriön aikana. Toiminta ennen suurhäiriötä kattaa muun muassa sääilmiöiden ennustamisen ja suurhäiriön toimintasuunnitelman tekemisen, josta ilmenee esimerkiksi eri osapuolten tehtävät ja vastuut. Toimintaan suurhäiriön aikana kuuluu esimerkiksi resurssien hallinta, viestintä ja korjaustoiminnot. [15] Näillä toimilla pyritään lyhentämään sähkönjakelun kestoa suurhäiriössä.

Sähköverkkoyhtiöt pyrkivät ennustamaan suurhäiriöiden kestoa, mutta se on erittäin haastavaa. Alkuvaiheessa tilannekuva häiriöstä on usein epäselvä ja häiriön aikana tilanne elää jatkuvasti. Häiriötilanteissa verkkoyhtiöt näkevät sähköttömien asiakkaiden tilanteen käytöntukijärjestelmästä. [15]

Sähköverkkoyhtiöt voivat esimerkiksi ennustaa suurhäiriöiden jatkoa sääennusteista. Säätilan seuraaminen onkin verkkoyhtiöiden käyttötoiminnan perustoimintoja. Sähkönjakelun keskeytysten kestoa voidaan lyhentää merkittävästi, jos tieto suurhäiriön mahdollisuudesta saadaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Säätilan ennustamisessa haastavaa on sääolojen epävarmuus. [15]

Suurhäiriön aikana verkkoyhtiön organisaatio siirtyy suurhäiriöorganisaatioon, jolloin resurssit kohdennetaan tehokkaasti vian korjaukseen ja hallintaan sekä viestintään ja asiakaspalveluun. Suurhäiriön aikana viankorjausta tehostetaan, esimerkiksi valvomoresursseilla, helikoptereilla tai metsäkoneilla. Tällä voidaan lyhentää keskeytyksen kestoa asiakkaalla. [16]

### 3.2 Keskeytykset

Keskeytykset muodostuvat pysyvistä vika- ja työkeskeytyksistä sekä pika- ja aikajälleenyhtymien kustannuksista. Verkonhaltijalle vioista aiheutuvat kustannukset koostuvat keskeytyksistä aiheutuvan haitan hinnasta, toimittamattomasta energiasta sekä tapauskohtaisesti vikojen aiheuttamista korjauskustannuksista. Keskeytyksen aiheuttama haitta määritellään KAH-arvolla. [2]

Energiamarkkinavirastolle (nyk. Energiavirasto) KAH-arvot on määritellyt Teknillinen korkeakoulu ja Tampereen teknillinen yliopisto selvityksessä ”Sähkönjakelun keskeytyksistä aiheutuva haitta” (2006) [17, katso 18]. Nämä KAH-arvot ovat taulukossa 1. Yksikköinä keskeytyksen aiheutuvalla haitalla käytetään €/kWh, joka kuvaa keskeytynyttä sähköenergiaa ja €/kW, joka kuvaa keskeytysaikaan verrannollista toimittamattoman sähköenergian aiheuttamaa haittaa. Taulukon yksikköhinnat ovat vuoden 2005 rahanarvossa [18].

**Taulukko 1.** Energiaviraston käyttämät keskeytyksistä aiheutuvan haitan arvot. [18, s.69]

Odottamaton keskeytykset		Suunniteltu keskeytykset		Aikajälleenyhtymien	Pikajälleenyhtymien
$h_{E,odott}$	$h_{W,odott}$	$h_{E,suunn}$	$h_{W,suunn}$	$h_{AJK}$	$h_{PK}$
€ / kWh	€ / kW	€ / kWh	€ / kW	€ / kW	€ / kW
<b>11,0</b>	<b>1,1</b>	<b>6,8</b>	<b>0,5</b>	<b>1,1</b>	<b>0,55</b>

Yllä olevat KAH-arvot ovat Energiaviraston käyttämiä arvoja laskennassa keskeytyksille, joiden avulla Energiavirasto valvoo yhtiöiden verkkoliiketoimintaa. Ne eivät ole jaoteltu erilaisille käyttäjätyypeille, vain erityyppisille keskeytyksille.

Verkkoyhtiöt voivat käyttää tarkempia arvoja keskeytyksetkustannusten arviointiin erilaisille käyttäjäryhmille. Käyttäjäryhmät ovat jaoteltu viiteen ryhmään: kotitaloudet, maataloudet, teollisuus, julkinen ja palvelu [7]. Näin saadaan asiakkaan kokema haitta laskettua tar-

kasti, ja esimerkiksi investoinnit voidaan kohdistaa niin, että saadaan keskeytyskustannuksia pienemmäksi. Keskeytyskustannusten laskentaan käytettävät asiakaskohtaiset KAH-arvot ovat taulukossa 2.

**Taulukko 2.** KAH-arvot eri asiakasryhmille. [7, s.49]

	Vika	Vika	Työ	Työ	PJK	AJK
Keskeytyskustannukset	€/kW	€/kWh	€/kW	€/kWh	€/kW	€/kW
Kotitalous	5,1	42,9	0,5	6,3	3,1	2,7
Maatalous	13,4	194,9	1,4	28,5	11,9	7,4
Teollisuus	160,7	781,5	12,6	104,7	200	52,4
Julkinen	11,9	66,3	1,7	9,2	18,7	5,9
Palvelu	21,2	167,2	0,4	36,5	20,9	7,8

Taulukosta nähdään, että hättäkustannukset ovat suurimmat teollisuudella, seuraavaksi suurimmat palveluilla. Teollisuuden ja palveluiden merkittävimmät haitat ovat tulonmenetykset tuotannon pysähtymisen tai myynnin keskeytymisen takia [7]. Haittaan vaikuttavat myös keskeytyksen luonne ja kesto. Jos keskeytyksestä on ilmoitettu etukäteen, ja siihen on pystytty varautumaan, haitta ei ole niin suuri kuin odottamattomassa keskeytyksessä.

Seuraavaksi suurin haitta on julkisen ja maatalouden asiakasryhmillä. Näille ryhmille keskeytykset aiheuttavat myös työn keskeytystä ja hukattua työaika. Pienin haitta on kotitalouksilla. Kotitalouksille sähkönjakelun keskeytyksistä on haittaa esimerkiksi pakastimen sulamisen takia. [7] Keskeytyksen haittaan vaikuttaa samalla tavalla keskeytyksen tyyppi ja kesto. Kustannukset lasketaan kaavalla (1) käyttäen edellä kuvattuja KAH-arvoja [19].

$$KAH = \sum_i \sum_j \lambda_{ij} a P_j + \sum_i \sum_j \lambda_{ij} r_{ij} b P_j, \quad (1)$$

missä  $i$  ja  $j$  ovat kaksi eri aluetta,  $\lambda_{ij}$  on alueen  $i$  vikataajuus, joka vaikuttaa alueen  $j$  sähkökäyttäjiiin ja  $r_{ij}$  on alueen  $i$  vikojen aiheuttama keskeytysaika alueen  $j$  sähkökäyttäjille.  $a$  on tehoon verrannollinen KAH-arvojen keskeytyskustannuskomponentti (€/kW),  $b$  on keskeytysaikaan verrannollinen KAH-arvojen keskeytyskustannuskomponentti (€/kWh) ja  $P_j$  on alueen  $j$  keskiteho.[19]

KAH-arvot voidaan ottaa taulukosta 1 tai 2 riippuen laskelman tarkoituksesta. Tarkoitus voi esimerkiksi olla verkkoyhtiön pyrkimys kohdistaa investointeja verkon kohtiin, jotka aiheuttavat merkittävästi kustannuksia tai Energiaviraston tarkastelu yhtiöiden kustannuksiin ja näin yhtiöiden verkkoliiketoiminnan valvonta.



## 4. TOIMITUSVARMUUDEN PARANTAMINEN

Toimitusvarmuuden parantaminen kehittää säävarmaa verkkoa. Toimitusvarmuutta sähkönjakelussa voidaan parantaa tekemällä verkostoinvestointeja tai lisäämällä kunnossapitoa. Sähkön toimitusvarmuus riippuu jakeluverkon keskeytysten määrästä ja keskeytysten keston pituudesta. Toimitusvarmuuden parantamisen keinot voidaan jaotella vian määrän pienentämiseen ja vikojen keston lyhentämiseen. Verkostoinvestointeja voidaan kohdistaa muun muassa kriittisyyden, haja-asutusalueen asiakastiheyden tai KAH-kustannusten perusteella.

### 4.1 Vikojen määrään vaikuttavat menetelmät

Vikojen määrään vaikuttavat muun muassa seuraavat menetelmät: maakaapelointi, tienvarteen siirto, panostus johtokatuja kunnossapitoon sekä investointi uusiin sähköasemiin ja johtoihin. Edellä mainitut menetelmät vähentävät erityisesti pysyvien keskeytysten määrää. Lyhyitä keskeytyksiä voidaan vähentää edellisten lisäksi esimerkiksi PAS-johdoilla. [2]

#### 4.1.1 Maakaapelointi

Maakaapeloinnilla saavutetaan avojohtoja parempi toimitusvarmuus asiakkaalle sähköverkossa. Parempi toimitusvarmuus perustuu pysyvien vikojen vikataajuuksiin, sillä vikataajuus pienenee 10–50 %:a avojohtojen vikataajuudesta. [7] Ohimeneviä, lyhyitä keskeytyksiä kaapeliverkossa ei ole [2].

Kaapeloinnissa on huonojakin puolia. Korkea hinta verrattuna avojohtoon tai PAS-johdoton rajoittaa kaapeloinnin käyttöä, mutta hinnat ovat laskeneet niiden käytön lisääntyessä [19]. Kaapelointi ei ole kaikissa olosuhteissa kustannustehokkain tapa parantaa toimitusvarmuutta. Laaja kaapeliverkko voi tuoda esiin haasteita, mitä ei esimerkiksi ilmajohdoilla esiinny. Kaapelointi kasvattaa maasulkuvirtoja, koska haja-asutusalueilla on pienet kuormat sähköverkossa. Jos haja-asutusalueelle rakennetaan laajaa kaapeliverkkoa, jännite voi nousta ja maasulkuvirrat kasvavat, jolloin tarvitaan hajautettua kompensointia. [19]

Vikojen paikannus on kaapeliverkossa työlästä, ja siksi keskeytykset voivat kestää pidempään vikojen ilmaantuessa. Vikojen keston vaikuttaa myös pitkät kaapeleiden korjauksajat. Muunneltavuus kaapeliverkossa on myös hankalampaa, esimerkiksi kalliiden

kaapeliojitusten kaivuun takia. Taajamissa merkittävä osa kaapeliverkon vioista tapahtuu kaivinkoneilla tehdyistä kaivuutöistä, joissa kaapeli rikkoutuu koneen osuessa kaapeliin. Riittävä ohjeistus kaivuutöitä tekeville vähentää merkittävästi kaapeliverkon vikoja. [2]

### 4.1.2 Kunnossapito

Verkon kunnossapito voidaan jakaa kolmeen eri tehtävään: ennakoivaan, parantavaan ja korjaavaan kunnossapitoon. Ennakoivaan kunnossapitoon kuuluu säännölliset tarkastukset ja huollot. Näillä pyritään estämään vikaantuminen varsinkin tärkeillä ja kalliilla komponenteilla. Oleellista koko sähköverkostolle on pitää verkosto määräysten ja turvallisuuden vaatimassa kunnossa. Tällöin saadaan karsittua turhia kustannuksia pois, esimerkiksi siten, ettei tarvitse hankkia uutta komponenttia. [19]

Ennakoiva kunnossapito voidaan jakaa vielä kahteen eri ryhmään: aikaperusteiseen kunnossapitoon ja tarpeisiin perustuvaan ennakoivaan kunnossapitoon. Aikaperusteinen kunnossapito on määräysten ja lakien ohjaamaa tarkastus- ja huoltotoimenpitoa, mikä ei riipu laitteiden kuntoilasta. Tarpeisiin perustuva ennakoiva kunnossapito taas sisältää kuntoarvioihin ja diagnostisiin mittauksiin perustuvaa kunnossapitoa sekä luotettavuuden arviontiin perustuvaa kunnossapitoa. Luotettavuuteen perustuva kunnossapito kohdentaa toimenpiteet kohteisiin, joissa toimenpiteet johtavat verkon luotettavuuden paranemiseen. Tarpeisiin perustuva kunnossapito vähentääkin turhia toimenpiteitä ja optimoi resurssien käyttöä. [19]

Parantavalla kunnossapidolla pyritään vähentämään vikoja ja häiriöitä ja parantamaan turvallisuutta tarkoituksenmukaisilla muutoksilla. Parantavaa kunnossapitoa on muun muassa johtokaturien raivaus tai ylijännitesuojaus. Parantavalla kunnossapidolla voidaan vähentää ennakoivan kunnossapidon tarvetta. [19]

Korjaavaa kunnossapitoa tarvitaan vian sattuessa tai laitteen rikkoutuessa. Jos korjaavaa kunnossapitoa käytetään ainoana kunnossapitostrategiana voi se johtaa suureen häiriömäärään, joita ei saada korjattua nopeasti ja turvallisesti. [19] Kunnossapidon ei siis tulisi olla pelkästään reagoivaa, vaan myös ennakoivaa ja ylläpitävää. Ennakoivalla kunnossapidolla voidaan ehkäistä esimerkiksi suurhäiriöiden keskeytysten kestoa ja laitteiden vikaantumisia. Aina tarvitaan kuitenkin myös korjaavaa kunnossapitoa, sillä mikään ennakoiva kunnossapito ei pysty estämään arvaamattomia luonnonilmiöiden aiheuttamia vikoja. [19]

### 4.1.3 Johtokatuja raivaus

Suuri osa jakeluverkon vioista johtuu puiden kaatumisesta tai taipumisesta avojohdoille. Tätä voidaan välttää raivaamalla johtokatuja säännöllisesti. Raivauksella poistetaan johtokadulle yltävät oksat ja kaadetaan riskipuut pois, kuten nuoret koivut ja lehtipuut, jotka voivat taipua lumikuorman vaikutuksesta avojohdon päälle aiheuttaen vian. [2] Johtokatuja raivaus on sekä ennakoivaa että parantavaa kunnossapitoa [19].

Johtokatuja voidaan raivata erilaisilla työvälineillä. Näistä tehokkaaksi työmenetelmäksi on nykyaikana muodostunut helikopterisahaus. Helikopterisahauksessa helikopterista roikkuvalla pitkällä moottorisahalla raivataan johtokadun oksia läheltä sähköverkkoa. Tällä pyritään siihen, että puut taipuvat ja katkeavat poispäin johtokadusta ja sähkölinjasta. Vierimetsän hoito tehdään yleisesti yhteistyössä organisaatioiden kanssa, kuten alueellisen metsänhoitoyhdistyksen kanssa. [2] Ääritapaus johtokadun raivauksessa on puuvarma johtokatu eli normaalia leveämpi johtokatu, jota on aloitettu tekemään keskijänniteverkolle sähkömarkkinalain vaatimusten täyttämiseksi ja kaapelointi-investointien siirtämiseksi tulevaisuuteen [19].

### 4.1.4 PAS-johdot

PAS-johdot ovat toimitusvarmuudeltaan parempia kuin avojohdot, mutta maakaapelin käyttövarmuuteen se ei yllä. PAS-johto on siis altis myrskyille avojohdojen tavoin. PAS-johdoissa on päällä eristysrakenne, jolloin johtimille lentävät risut tai linnut eivät aiheuta vikaa niin kuin avojohdoissa. Johdoille nojaavien puiden tai oksien aiheuttamia keskeytyksiä PAS-johto ei vähennä, ja siksi se on altis myrskyissä vioittumiselle ja pitkille keskeytyksille. [7]

### 4.1.5 Rakentaminen teiden varsille

Metsässä olevan johto-osuuden siirtäminen tien varteen vähentää vikojen määrää puolella kyseisillä johto-osuuksilla [7]. Tienvarteen rakentaminen ei juurikaan lisää johtopituuksia ja ei ole nykyisillä hinnoilla metsää kalliimpi vaihtoehto, kun huomioidaan esimerkiksi maankäytösopimukset. Nykyään voi olla jopa hankalaa saada maankäytösopimus metsään. Luonnonkin kannalta vaihtoehto on parempi, sillä johtojen takia ei tarvitse kaataa puita, vaan pystytään käyttämään jo raivattua tietä. [2] Myös vikojen korjaaminen nopeutuu, sillä korjaaminen on helpompaa ja turvallisempaa teiden varsilla kuin metsissä, etenkin myrskyn aikaan.

### 4.1.6 1000 V:n johtolähdöt ja uudet sähköasemat

20 kV:n keskijänniteverkossa tapahtuvat viat aiheuttavat noin 90 %:a asiakkaiden kokeamista keskeytyksistä. Vaihtamalla 20 kV:n johdot 1000 V:n johtolähtöihin voidaan pienitehoisten ja vika-alttiiden keskijännitehaarojen osuutta pienentää, ja näin ollen parantaa käyttövarmuutta. Tästä on hyötyä erityisesti harvaan asutuilla alueilla pienten kuormitusten takia. Tällä saadaan vikojen määrä ja vaikutusalue pienentymään, sillä vikaantuessa se ei vaikuta muiden saman keskijännitesyötön asiakkaisiin. Tämä johtuu 1000V:n johtojen omasta suojauksesta. [7]

Myös uuden sähköaseman rakentamisella saadaan verkon käyttövarmuutta parannettua. Uuden syöttöpisteen avulla saadaan katkaisijan takana olevat johtopituudet lyhenemään merkittävästi, jolloin johtopituus/katkaisija voi jopa puolittua. Tämä vähentää vikoja, mutta myös lyhentää vikojen kestoaikaa, kun vikojen erottamiseen ja varasyöttöjen kytkemiseen kuluva aika lyhenee. [7]

## 4.2 Vikojen keston vaikuttavat menetelmät

Vikojen kestoaikaa asiakkaalle pienentävät menetelmät vaikuttavat lyhentämällä erityisesti vian erotusaikaa. Seuraavaksi esitellään kaksi menetelmää.

### 4.2.1 Automaatio ja kauko-ohjattavat erottimet

Kauko-ohjattavien erottimien avulla voidaan lyhentää vioista aiheutuva keskeytyksen kesto asiakkaalla, rajaamalla vika alue pienemmälle alueelle. Keskeytysten määrään kauko-ohjattavilla erottimilla ei ole vaikutusta, koska ne eivät ehkäise vian syntymistä. [7]

Kauko-ohjattavilla erottimilla saadaan vikapaikka erotettua yleensä muutamassa minuutissa. Tätä voidaan verrata käsin ohjattavaan erottimeen, jonka ohjaukseen kuluva aika koostuu erottimen sijainnista sekä korjausmiehistön sijainnista ja valmiusasteesta. [7] Kauko-ohjattavat erottimet ovatkin hyvin käytännöllisiä esimerkiksi suurhäiriöissä tai laajemmissa vioissa.

Valvomoautomaatiolla, esimerkiksi sähköjakelussa yleisesti käytetyllä käytöntukijärjestelmällä saadaan nopeasti tieto viasta ja pystytään paikantamaan vika melko tarkasti. Vian erottaminen ja palauttaminen on nopeaa automaatiolla. Vian paikannukseen käytetään käytöntukijärjestelmässä laskentatoimintaa, joka tarvitsee sähköasemilla vikavirtaa mittaavan suojareleen tai verkossa vikavirtaa mittaavan vianilmaisimen. [7]

## 4.2.2 Varayhteydet

Varasyöttöyhteyksillä pyritään lyhentämään asiakkaiden kokemaa keskeytysaikaa. Tämä saavutetaan rakentamalla uusia yhteyksiä oman verkon osien välille tai varasyöttöyhteys naapuriverkkoyhtiöiden verkkoihin. Varasyöttöyhteyksillä verkko muuttuu silmukoiduksi, mutta normaalissa käyttötilanteessa yhteydet eivät ole käytössä, ja tällöin verkko on säteittäinen. Varasyöttöyhteyksillä toimitusvarmuus kasvaa, mutta normaalitilassa tarpeettomien pitkien johto-osuuksien rakentaminen kaikkialle ei ole kannattavaa eikä taloudellista. [2]

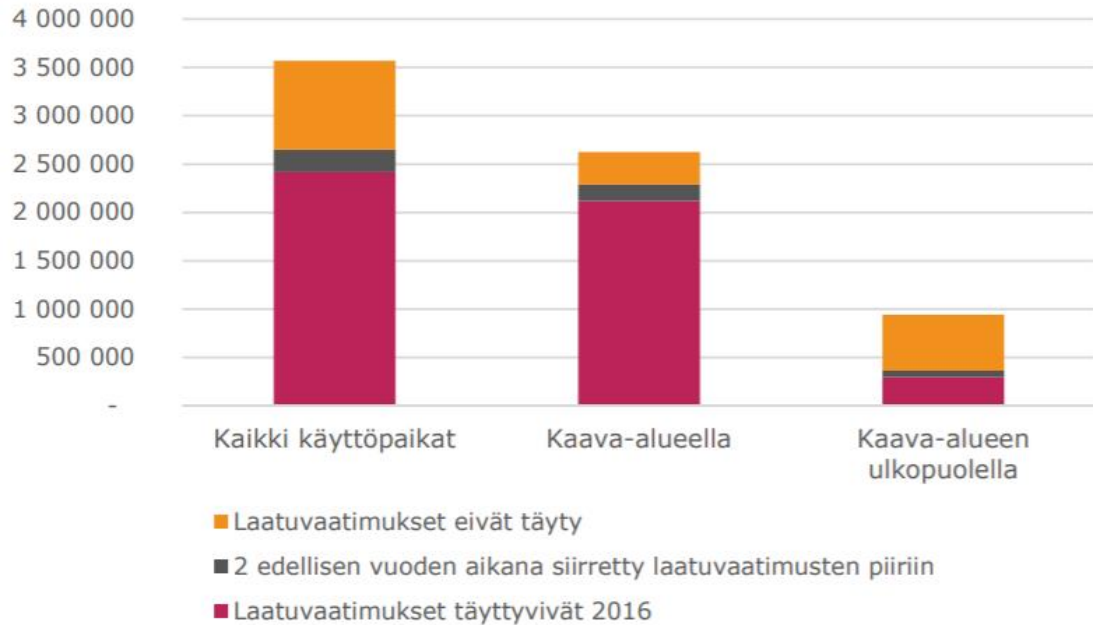
## **5. AAPELI-MYRSKYN AIHEUTTAMAT SÄHKÖN- JAKELUN KESKEYTYKSET**

Tässä luvussa tarkastellaan Aapeli-myrskyn aiheuttamia sähkökatkoja ja niiden seurauksia edellisten lukujen pohjalta. Myrskyn aiheuttamia vikoja ja niistä aiheutuneita seurauksia sekä toimia tarkastellaan verkkoyhtiökohtaisesti. Tarkastelun kohteena ovat verkkoyhtiöt Elenia, Caruna, Järvi-Suomen Energia, Vaasan sähköverkko ja Ålands Elandelslag, sillä näissä verkkoyhtiöissä Aapeli-myrsky aiheutti eniten sähkökatkoksia.

### **5.1 Säävarman verkon tilanne ennen Aapeli-myrskyä**

Kun Aapeli-myrsky tapahtui vuoden 2019 alussa, sähkömarkkinalain uudistus oli ollut voimassa noin 5 vuotta. Tänä aikana verkon toimitusvarmuutta oli saatu jo paremmalle tasolle. Uusiin myrskyihin oli varauduttu, ja tuhot jäivät pienemmiksi kuin esimerkiksi vuoden 2011 Tapani- ja Hannu-myrskyissä, jotka olivat alueellisesti yhtä voimakkaita myrskyjä Energiateollisuuden johtajan Kenneth Hännisen mukaan [20]. Kuitenkin ilmajohtoverkkoa oli edelleen paljon, ja monilta asiakkailta oli sähköt poissa alueellisesti Aapeli-myrskyssäkin.

Vuonna 2018 sähkömarkkinalain laatuvaatimukset täyttyivät 74 %:lla kaikista käyttöpaikoista, kun ne täyttyivät esimerkiksi vuonna 2016 68 %:lla. Kuvassa 4 on esitetty laatuvaatimusten täyttyminen käyttöpaikoilla kolmansissa kehittämissuunnitelmissa Energiasivastolle toimitettujen tietojen mukaan.[9]



**Kuva 4.** Toimitusvarmuus asemakaava-alueen ulkopuolella ja asemakaava-alueen piirissä olevilla asiakkailla vuonna 2018. [9, s.42]

Käyttöpaikoista sähkömarkkinalain laatuvaatimukset eivät täytyneet vuonna 2018 yhteensä 920 000 asiakkaalla. Useimmat näistä olivat asemakaava-alueen ulkopuolella. Tämä johtuu siitä, että toimitusvarmuustoimenpiteiden painotus oli keskittynyt aluksi tiheimmin asutuille seuduille, jolloin saatiin lukumäärällisesti enemmän käyttöpaikkoja laatuvaatimusten piiriin. [9]

Maakaapelointi on tehokkain menetelmä täyttää sähkömarkkinalain toimitusvarmuuden laatuvaatimukset, sillä ilmastolliset tekijät eivät aiheuta vikoja maakaapeliin. Taulukkoon 3 on kuvattu maakaapelointiasteen kehitys vuoteen 2016 mennessä sekä maakaapelointiasteen kehitys vuodesta 2016 eteenpäin kehittämissuunnitelmien mukaan.

**Taulukko 3.** Maakaapelointiaste vuosina 2014–2020. [9, s.43]

Vuosi	Keskijänniteverkon maakaapelointiaste (%)	Pienjänniteverkon maakaapelointiaste (%)
2014	15	41
2015	17	41
2016	19	42
2017	23	44
2018	27	47
2019	30	49
2020	34	52

Taulukosta nähdään, että pienjänniteverkolla on suurempi maakaapelointiaste, joten voidaan todeta keskijänniteverkon olevan alttiimpi myrskyjen aiheuttamille vioille. Tämä näkyi myös Aapeli-myrskyn aiheuttamissa vioissa, kun lumikuormat aiheuttivat keskijänniteverkolla paljon vikoja.

Taulukosta nähdään, että maakaapelointiaste kasvaa tasaisesti kummallakin verkolla keskimääräisesti 3–4 %:a vuodessa. Verkon maakaapelointiaste ei tule kuitenkaan kasvamaan 100 %:iin, sillä maakaapelointi ei ole kaikilla alueilla kustannustehokkainta tai edes mahdollista. Tällöin käytetään esimerkiksi luvussa 4 esiteltyjä menetelmiä toimitusvaatimuksiin pääsemiseksi. Kehittämissuunnitelmien mukaan vuoteen 2036 mennessä keskijänniteverkon maakaapelointiaste tulee kasvamaan 54 %:iin ja pienjänniteverkon 70 %:iin [9].

Seuraavaksi tarkastellaan säävarman verkon tilannetta verkkoyhtiökohtaisesti. Kaikilla viidellä verkkoyhtiöllä on harvaanasuttuja alueita sekä taajamaa. Siten avojohtoverkkoa on paljon. Kaikki verkkoyhtiöistä ovat kuitenkin maakaapeloineet verkkoa, mikä on tehokkain tapa säävarman verkon kehittämiseen.

Elenian ja Carunan alueilla edelliset kovat myrskyt olivat aiheuttaneet merkittäviä vikoja ja häiriöitä sähköjakelussa, joten nämä verkkoyhtiöt osasivat valmistautua Aapeli-myrskyyn. Elenia päätti vuonna 2009 rakentaa maakaapelina uudistettavan ja uuden verkon jo ennen kuin sähkömarkkinalain uudistus tuli voimaan [21]. Aiemmin aloitettu kaapelointi johtui Elenian verkon alueella tapahtuneista aiemmista myrskyistä, ja niistä kehittyneistä suurhäiriöistä. Elenian maakaapelointiaste oli vuonna 2019 49,6 %:a [22].

Carunan kaapelointiaste oli 56 %:a vuonna 2019. Harvaanasutuilla alueilla Caruna pyrkii kaapeloinnin ohella panostamaan muihin toimitusvarmuuden parantamisen toimiin, kuten automaatioon ja puuston raivaukseen johtojen läheisyydestä. [23] Verkon tilanne on hyvällä tasolla näillä kahdella verkkoyhtiöllä, mutta kun vikoja ilmeni myrskyn takia, vikojen korjaamisen pidentyi huonojen olosuhteiden vuoksi, mikä pidensi sähköjakelun keskeytyksiä.

Ahvenanmaan ja Vaasan seudun verkkoyhtiöt ovat pitkälti myös haja-asutusalueen verkkoyhtiöitä, jolloin heillä on paljon avojohtoverkkoa. Vaasan sähköverkko on panostanut maakaapelointiin ja automaatioon, joiden ansiosta keskeytysajat ovat puolittuneet viiden vuoden aikana [24]. Järvi-Suomen Energia panostaa etenkin maakaapelointiin, mutta myös 1 kV:n avojohdon rakentamiseen [25]. Avojohtojen uusiminen jännitteeltä pienempiin avojohtoihin johtuu harvaan asuttujen alueiden pienistä kuormista. Järvi-Suomen Energialle on myönnetty sähkömarkkinalain laatuvaatimukseen lisäaikaa vuoteen 2036 [4].



Ahvenanmaan verkkoyhtiö Ålands Elandelslag ja Vaasan alueen sähköverkkoyhtiöt eivät ole kokeneet näin voimakasta myrskyä ja pahaa suurhäiriötä edellisten myrskyjen aikana. Vaasan sähköverkko kuvaili Aapeli-myrskyä ”kaikkien aikojen pahimmaksi” [26]. Kokemattomuus pahoista myrskyistä vaikutti näiden alueiden hankalaan tilanteeseen Aapeli-myrskyssä, sillä varautuminen ei ollut niin hyvällä tasolla ja resursseja ei ollut tarpeeksi. Esimerkiksi Ahvenanmaalle asentajia pyydettiin apuun Suomen ja Ruotsin puolelta [27]. Ahvenanmaalla oli sähköttömiä asiakkaita vielä viikon kuluttua myrskystä [28]. Kaikilla verkkoyhtiöillä on vielä avojohtoja, ja siksi myrskyt aiheuttavat edelleen sähkökatkoja sähköjatelussa. Elenialla ja Carunalla puolet verkosta on jo maassa kaapelina. Kaikilla viidellä verkkoyhtiöllä on kuitenkin vielä paljon avojohtoverkkoa ja matkat voivat olla pitkiä, minkä takia viat aiheuttavat paljon vaikeita, laajalle ulottuvia keskeytyksiä. Maakaapeliin myrsky ei aiheuta vikoja, joten kasvaneen maakaapelointiasteen ansiosta Aapeli-myrsky ei aiheuttanut niin suurta sähköttömien määrää, kuin edellisissä yhtä pahoissa myrskyissä.

## 5.2 Aapeli-myrskyn aiheuttamat sähkökatkokset

Aapeli-myrskyn vaikutukset Suomessa alkoivat Ahvenanmaalta ja siirtyivät sieltä Länsi-Suomeen. Alueellisesti pitkiä keskeytyksiä oli Vaasan alueella, länsirannikolla, Pirkanmaalla ja Keski-Suomen eteläisissä osissa [29]. Ahvenanmaalla ja Turun saaristossa sähköttä oli suurin osa koko asukkaista, sekä muualla Länsi-Suomessa sähköt olivat pois merkittävässä määrin kovan myrskän ja tuulen vuoksi. Suurin osa vioista tapahtui metsäisillä avojohto-osuuksilla puiden kaaduttua sähköjohdoille sekä runsaan lumisateen vuoksi, joka märkänä lumena jäi puihin kiinni ja jäättyi, taivuttaen puita johdoille. [1]

Aapeli-myrsky iski Suomeen keskiviikon (2.1.2019) vastaisena yönä ja jatkui iltapäivään. Tiistain ja keskiviikon välisenä yönä sähköttöminä oli yhteensä jopa 120 000 käyttöpaikka Ahvenanmaalla sekä manner-Suomessa. Tässä lukumäärässä ovat mukana asuntojen lisäksi muun muassa mökit ja yritykset. Keskiviikon puolella välissä puolet vioista oli saatu korjattua, ja sähköttöminä oli enää noin 60 000 asiakasta. [1] Torstaina sähköttömiä asiakkaita oli vielä yli 10 000, joista Ahvenanmaalla vajaa 6000 asiakasta [29]. Kestoltaan jotkin asiakkaat olivat jopa kaksi vuorokautta ilman sähköä. Pahimmassa tapauksessa Ahvenanmaalla oli sähköttä asiakkaita jopa viikon [28].

Aapeli-myrsky katkaisi sähköt noin 200 000:lta asiakkaalta. Toimitusvarmuutta sähköverkossa oli tähän mennessä paranneltu investoinneilla merkittävästi. Tämän takia myrskyn aiheuttamat sähkökatkot olivat lyhyempiä kuin, jos Aapeli-myrsky olisi tapahtunut

muutamaa vuotta aikaisemmin. [20] Esimerkiksi vuonna 2011 yhtä voimakkaan Tapani-myrskyn aikana sähköttömiä oli jopa 300 000 asiakasta [30].

### 5.3 Aapeli-myrskyn vian korjaus

Tässä luvussa kuvaillaan esimerkkinä muutamien yhtiöiden viankorjausta, sillä yleisesti korjaustyöt koostuvat kaikilla yhtiöillä melko samanlaisista toimista. Korjaustyöt aloitettiin keskijännitteisestä runkoverkosta ja jatkettiin pienjänniteverkkoon, jotta sähkönsyöttö saatiin toimimaan pienjänniteverkossa [31]. Vian korjaus aloitettiin myrskyn aikana, mutta huonojen sääolosuhteiden vuoksi korjaus jatkui monilla verkkoyhtiöillä torstain vastaiseen yöhön ja torstaihin saakka [32].

Myrskyn aikana vian korjaus ei ollut helppoa, sillä sääolosuhteet olivat erittäin hankalat. Maastossa liikkuminen aiheutti hankaluuksia, koska lunta oli paksusti. Korjaustöitä vaikeuttivat kova tuuli ja pitkät etäisyydet. Asentajat liikkuivat mönkijöillä tai kävellen hängessä. [29] Vaikea liikkuminen lisäsi vikojen kestoaikaa. Elenian uutisen mukaan vikojen korjausta vaikeuttivat myös pimeys yöllä ja auraamattomat tiet. [33].

Järvi-Suomen Energia siirtyi suurhäiriötilaan keskiviikko aamuna. Järvi-Suomen Energian alueella työskenteli 120 asentajaa korjaustöissä. Korjauksessa oli myös mukana kaksi kopteria. Koptereista toinen kartoitti vika-alueita ja toinen raivasi johtoaukeita. Kartoituksen ansiosta asentajien oli mahdollista saada valmiit kartat vikapaikoista, esimerkiksi kaatuneista puista, mikä nopeutti korjaustöitä. [29] Myös 15 metsäkonetta oli raivaamassa kaatuneita puita Järvi-Suomen Energian verkon alueella [34].

Carunan verkon alueella viankorjaus oli hankalinta Turun saaristossa, Pohjanmaan rannikolla ja saarilla, sillä voimakkaiden tuulten vuoksi näihin paikkoihin oli vaikea päästä, jopa mahdotonta [35]. Carunan asiakkaille sähköt saatiin palautettua nopeasti verkostoautomaation ja rengasverkkoyhteyksien avulla, mitkä lyhensivät vian kestoaikaa asiakkailla [36].

Vaasan sähköverkon kokemattomuus hankalista myrskyistä näkyi resurssien puutteena. Eri puolilta Suomea tuli yhteensä yli 50 asentajaa, metsuria, työnjohtajaa ja koneenkuljettajaa auttamaan korjaustöissä [37]. Resurssien puute näkyi myös Ahvenanmaalla Ålands Elandelslagin verkon alueella, kun Suomen puolelta tuli asentaja auttamaan sähköjen palauttamisessa [38].

Yleisesti korjaustyöt koostuivat Aapeli-myrskyssä maastossa olevista asentajista ja koptereista, jotka kartoittivat vikoja. Käyttötukijärjestelmät olivat vikojen paikannuksen ja asentajien apuna. Myrskyn aikana käyttökeskusten työntekijät olivat tärkeässä roolissa.

Käyttökeskuksesta autettiin vikojen paikantamisessa ja pystyttiin erottimilla säätämään ja rajaamaan vian aiheuttamien häiriöiden alueita. [39]

## 5.4 Aapeli-myrskyn kustannukset

Aapeli-myrskyn keskeytyskustannukset olivat aiempien myrskyjen aiheuttamien keskeytyskustannuksien luokkaa eli suuremmat kuin keskimääräisen vuoden kustannukset. Taulukosta 4 nähdään edellisten vuosien kustannuksia ja arvoja, joiden avulla voidaan arvioida vuoden 2019 keskeytyskustannuksia.

**Taulukko 4.** Jakeluverkon tunnuslukuja vuosilta 2013–2017. [9, s.49]

Vuosi	2013	2014	2015	2016	2017
KAH, miljoona euroa	266	130	236	117	102
Vakiokorvaukset, miljoonaa euroa	22,9	1,4	21,2	7,4	4,9
Keskijänniteverkon maakaapelointiaste (%)	15	15	17	19	23
Pienjänniteverkon maakaapelointiaste (%)	-	41	41	42	44

Suurhäiriövuosina 2013 ja 2015 ovat vakiokorvaukset ja KAH-arvot merkittävästi suurempia. Vakiokorvauksia on maksettu paljon enemmän asiakkaille pidempien keskeytysten takia. Myös KAH-arvo on paljon suurempi kestoltaan pidempien keskeytysten takia, jolloin asiakkailla oli enemmän ja kauemmin haittaa sähkönjakelun keskeytyksestä. Käyttökeskeytykset on muutettu rahalliseksi arvoksi asiakkaille aiheutuvien haittakustannusten eli KAH-arvojen avulla kaavalla 1 laskettuna. Laskentaan on käytetty taulukossa 1 olevia Energiaviraston käyttämiä KAH-arvoja.

Taulukosta nähdään myös vertailuksi maakaapelointiasteen kehittyminen, joka on merkittävä säävarman verkon kehittämiseen käytetty menetelmä. Luvuista nähdäänkin, että maakaapelointiasteen kasvaessa vakiokorvaukset ja KAH-arvot ovat pienentyneet.

Myrskyjen aiheuttamat keskeytyskustannukset koostuvat asiakkaille maksettavista vakiokorvauksista, vian korjauskustannuksista ja keskeytyksestä aiheutuvan haitan hinnasta. Vakiokorvaukset maksetaan sähkönjakelukeskeytyksen kestoajan perusteella luvussa 2 kerrottujen prosentiosuuksien mukaan.

Aapeli-myrskyn jälkeen sähköyhtiöt maksoivat 400 000 asiakkaalle arviolta 4 miljoonaa euroa vakiokorvauksia keskeytyksistä [20]. Tähän päälle tulevat samana vuonna muista keskeytyksistä aiheutuvat vakiokorvaukset, jolloin luku suurenee. Luku ei yllä kuitenkaan vuoden 2013 tai 2015 vuoden vakiokorvausten lukemiin. Tämä johtuu toimitusvarmuuden kehityksestä. Myrskyn korjauskustannukset olivat yhteensä noin 4 miljoonaa euroa [20]. Seuraavaksi yhtiökohtaisista kustannuksista esimerkkinä ovat Elenia ja Järvi-Suomen Energia.

Elenialle korjauskustannuksia aiheutui 1,7 miljoonaa euroa Aapeli-myrskyn vioista. Sähkönjakelun keskeytysten korvauskustannuksia Elenia maksoi yhteensä 1,83 miljoonaa, josta lakisääteistä vakiokorvausta oli 1,53 miljoonaa ja 300 000 euroa jo 6 tunnin keskeytyksistä asemakaava-alueen ulkopuolella tapahtuneista keskeytyksistä. Tämä on Elenian oma päätös, jonka mukaan se maksaa korvausta asiakkailleen jo 6 tunnin keskeytyksistä kaikille asiakkaille. [40] Järvi-Suomen Energian korvauskustannukset nousivat noin 1,5 miljoonaan euroon [41].

## 5.5 Myrskyn aiheuttamia muita häiriöitä

Myrskyt aiheuttavat sähköverkkojen ohella ongelmia muihinkin infrastruktuureihin. Muun muassa juna-, meri- ja lentoliikenne kokivat häiriöitä ja hankalat olosuhteet aiheuttivat ongelmia myös matkapuhelinverkkoihin ja viestintäpalveluihin. Esimerkiksi hätäpuhelinsoittaminen oli joissakin paikoissa estynyt [42]. Junaliikenteessä puita kaatui radalle ja myrsky aiheutti sähköratavaurioita [43].

Kova myrsky aiheuttaa myös puiden kaatumisia ja metsätuhoja. Pohjanmaalla 100 000 kuutiota metsää tuhoutui Aapeli-myrskyn aikana. Uutisessa ”Aapeli katkoi sähköt yli 100 000 taloudelta – Eniten katkoja oli vielä Ahvenanmaalla ja Vaasan seudulla” Metsäkeskuksen valmiuspäällikkö kertoo kaatuneiden puiden arvon olevan 3–4 miljoonaa euroa. Pohjanmaata lukuun ottamatta Aapeli-myrsky ei aiheuttanut laajoja tuhoja puustossa. Pohjanmaan tuhot aiheutuivat poikkeuksellisen kovasta tuulesta, joka oli välillä jopa 24,4–29,7 m/s:ssa. [29]

## 6. YHTEENVETO

Suomen sähköistämisen huippuvuosina avojohtoja rakennettiin paljon metsiin. Silloin ei pidetty kovin tärkeänä toimitusvarmuutta, joka nykyään on säädetty sähkömarkkina- laissa kehitettäväksi. Sähkömarkkinalain uudistamisen myötä vuonna 2013 toimitusvarmuus tuli ajankohtaiseksi termiksi. Sähkömarkkinalain uudistuksessa kiristettiin vakio- korvausten maksua sekä säädettiin lumikuorman tai myrskyn aiheuttaman keskeytyksen raja-arvoksi 6 tuntia taajama-alueella ja taajama-alueen ulkopuolella 36 tuntia. Sähkö- markkinalain uudistukset tulevat voimaan asteittain niin, että viimeisten käyttöpaikkojen tulee olla vaatimusten piirissä vuonna 2028.

Toimitusvarmuuden kehityksen myötä keskeytysten määrä ja kesto ovat jo pienentyneet. Keskeytysten keston ja määrään vaikutetaan verkon investoinneilla ja kunnossapidolla. Merkittävin keino toimitusvarmuuden parantamiseen on maakaapelointi, mikä ei kuitenkaan ole aina kustannustehokkainta. Tällöin muita keinoja voivat olla esimerkiksi johto- katujen raivaus, kunnossapito ja verkon rakentaminen teiden varsille.

Sähkönjakelun keskeytyksiä tapahtuu kuitenkin aina jonkin verran esimerkiksi suunnitel- tujen keskeytysten muodossa. Niin kauan kuin avojohtoverkkoa on paljon, myrskyn ai- heuttamia vikoja tulee myös esiintymään. Koska vuonna 2018 920 000 käyttöpaikkaa ei ollut laatuvaatimusten piirissä sekä maakaapelointiaste oli vielä pieni, Aapeli-myrsky ai- heutti suurhäiriön sähkönjakeluverkossa.

Aapeli-myrsky saapui Suomeen ensiksi Ahvenanmaalle, ja liikkui sieltä Länsi-Suomeen. Aapeli-myrsky katkaisi sähköt yhteensä noin 200 000 asiakkaalta. Seurauksia koitui kor- jausten, kustannusten, metsän tuhoutumisen sekä liikenteen ongelmien myötä. Erityisen pahaksi tilanne muodostui, kun satanut märkä lumi taivutti puita avojohdoille.

Korjaus oli vaikeaa huonojen olosuhteiden vuoksi. Lunta oli satanut paljon ja kovan tuu- len vuoksi korjaustyö oli hankalaa puiden kaatumisriskin takia. Korjaustöissä käytettiin yleisesti koptereita kartoittamaan vikoja sekä metsäkoneita puiden kaatumisen vuoksi. Asentajat liikkuivat korjaustöissä jalan ja mönkijöillä. Korjauskustannuksia kertyi yh- teensä 4 miljoonaa euroa.

Muita kustannuksia kertyi Aapeli-myrskyssä muun muassa KAH-arvon perusteella kes- keytyksen aiheuttaman haitan hinnasta ja vakiokorvauksista. Vakiokorvauksia sähköyh- tiöt maksoivat asiakkaille yhteensä 4 miljoonaa euroa.

# LÄHTEET

- [1] STT (2019) "Sähköt olleet poikki jopa 120 000 taloudelta – myräkki voi katkoa sähköjä vielä lisää" Helsingin Sanomat 2.1.2019 Luettu 29.3.2020 Saatavilla: <https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000005952429.html>
- [2] Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto & Energiatutkimus SER (2010) "Sähkönjakelun toimitusvarmuuden kriteeristö ja tavoitetasot" Tutkimusraportti 13.4.2010. Luettu 29.3.2020, Saatavilla: [http://sgemfinalreport.fi/files/Toimitusvarmuuskriteeristo\\_2010\\_loppuraportti.pdf](http://sgemfinalreport.fi/files/Toimitusvarmuuskriteeristo_2010_loppuraportti.pdf)
- [3] Sähkömarkkinalaki 588/2013. Luettu 29.3.2020. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>
- [4] Energiavirasto (2019) "Sähköverkon toimitusvarmuusvaatimusten siirtymäajan pidennyshakemukset käsitelty". Luettu: 20.3.2020. Saatavilla: [https://energiavirasto.fi/tiedote/-/asset\\_publisher/sahkoverkon-toimitusvarmuusvaatimusten-siirtymaajan-pidennyshakemukset-kasitelty](https://energiavirasto.fi/tiedote/-/asset_publisher/sahkoverkon-toimitusvarmuusvaatimusten-siirtymaajan-pidennyshakemukset-kasitelty)
- [5] Energiavirasto (2014) "Määräys sähköjakelun kehittämissuunnitelmasta", dnro 823/002/2013, 13.1.2014. Luettu:29.3.2020. Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12836747/2013-Energiaviraston-määräys-sähkönjakeluverkon-kehittämissuunnitelmasta.pdf/fe40f40d-46b5-3e43-74a9-ceddf0b01129/2013-Energiaviraston-määräys-sähkönjakeluverkon-kehittämissuunnitelmasta.pdf>
- [6] IEEE Std 1366, 2012 Edition. IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices. Luettu: 15.3.2020. Saatavilla: <https://ieeexplore-ieee-org.lib-proxy.tuni.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6209381&tag=1>
- [7] Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo (2008) "Sähkönjakelutekniikka" 3. painos Gaudemus Helsinki University Press
- [8] Energiateollisuus (n.d) "Mitä tapahtuu häiriön pitkittyessä?" Luettu: 29.3.2020. Saatavilla: [https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/sahkokatkot/mita\\_tapahtuu\\_kun\\_hairio\\_pitkittyy](https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/sahkokatkot/mita_tapahtuu_kun_hairio_pitkittyy)
- [9] Energiavirasto (2019) "Sähköverkkoliiketoiminnan kehitys, sähköverkon toimitusvarmuus ja valvonnan vaikuttavuus 2018". Luettu: 29.3.2020. Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12862527/Verkkotoiminnan-vaikuttavuusraportti-2018.pdf/4c48b5ce-57ad-35c3-4f07-193e23c6b0ac/Verkkotoiminnan-vaikuttavuusraportti-2018.pdf>
- [10] Järventausta, Pertti (2005). Sähköverkon kehittämisveloitteen arviointi käytövarmuuden näkökulmasta. Helsinki: Energiamarkkinavirasto.
- [11] Energiateollisuus (2014) "Keskeytystilasto 2013". Luettu: 29.3.2020. Saatavilla: [https://energia.fi/files/606/Keskeytystilasto\\_2013.pdf](https://energia.fi/files/606/Keskeytystilasto_2013.pdf)
- [12] Energiateollisuus (2016) "Keskeytystilasto 2015". Luettu: 29.3.2020. Saatavilla: [https://energia.fi/files/1334/Keskeytystilasto\\_2015.pdf](https://energia.fi/files/1334/Keskeytystilasto_2015.pdf)

- [13] Energiateollisuus (2015) "Keskeytystilasto 2014". Luettu: 29.3.2020. Saatavilla: [https://energia.fi/files/607/Keskeytystilasto\\_2014.pdf](https://energia.fi/files/607/Keskeytystilasto_2014.pdf)
- [14] Energiateollisuus (2018) "Keskeytystilasto 2017". Luettu: 29.3.2020. Saatavilla: [https://energia.fi/files/2785/Sahkon\\_keskeytystilasto\\_2017.pdf](https://energia.fi/files/2785/Sahkon_keskeytystilasto_2017.pdf)
- [15] Perttala, Jukka & Heinonen Ville (2012) "Toiminta sähköjakelun suurhäiriöissä" Konsulttitoimisto Reneco. Luettu 29.3.2020. Saatavilla: <https://konsulttitoimistoreneco.files.wordpress.com/2012/09/et-suurhc3a4iric3b6-raportti-2012-09-18.pdf>
- [16] Partanen, Jarmo (2018) "Sähkösiirotohinat ja toimitusvarmuus" Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 43/2018. Luettu: 29.3.2020. Saatavilla: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161178/43\\_18\\_Sahkonsiirtohinat\\_ja\\_toimintavarmuus.pdf](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161178/43_18_Sahkonsiirtohinat_ja_toimintavarmuus.pdf)
- [17] Silvast, Antti, Heine, Pirjo, Lehtonen, Matti, Kivikko, Kimmo, Mäkinen Antti, Järventausta Pertti (2005) "Sähkönjakelun keskeytyksestä aiheutuva haitta" Teknillinen korkeakoulu, Tampereen teknillinen yliopisto.
- [18] Energiavirasto (2018) "Valvontamenetelmät neljännellä 1.1.2016 – 31.12.2019 ja viidennellä 1.1.2020 – 31.12.2023 valvontajaksolla" Luettu 29.3.2020. Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/Valvontamenetelmät-sähkönjakelu-2016-2023.pdf/72eac45f-4fe0-6b0a-d5f7-e89ee97b89fc/Valvontamenetelmät-sähkönjakelu-2016-2023.pdf>
- [19] Verho, Pekka (2020), Sähköverkko-omaisuuden hallinta -kurssin luentokalvot, Tampereen Yliopisto
- [20] Energiateollisuus (2019) "Aapeli katkaisi sähköt lähes 200 000:lta – keskeytykset olivat kuitenkin aiempaa lyhyempiä, ilman jo tehtyjä investointeja myrsky olisi katkonut sähköjä pahemmin" 21.1.2019. Luettu 29.3.2020. Saatavilla: [https://energia.fi/julkaisut/materiaalipankki/aapeli\\_katkaisi\\_sahkot\\_lahes\\_200\\_000\\_lta\\_-\\_keskeytykset\\_olivat\\_kuitenkin\\_aiempaa\\_lyhyempia\\_ilman\\_jo\\_tehtyja\\_investointeja\\_myrsky\\_olisi\\_katkonut\\_sahkoja\\_pahemmin.html](https://energia.fi/julkaisut/materiaalipankki/aapeli_katkaisi_sahkot_lahes_200_000_lta_-_keskeytykset_olivat_kuitenkin_aiempaa_lyhyempia_ilman_jo_tehtyja_investointeja_myrsky_olisi_katkonut_sahkoja_pahemmin.html)
- [21] Elenia (n.d.) "Elenia Säävarman tarina" Luettu: 30.4.2020. Saatavilla: [https://www.elenia.fi/sahko/saavarma\\_tarina](https://www.elenia.fi/sahko/saavarma_tarina)
- [22] Elenia (2020) "Vuosikatsaus 2019", 5.3.2020. Luettu 29.4.2020. Saatavilla: [https://www.elenia.com/sites/lnicom/files/attachments/Elenia-konsernin%20vuosikatsaus%202019\\_0.pdf](https://www.elenia.com/sites/lnicom/files/attachments/Elenia-konsernin%20vuosikatsaus%202019_0.pdf)
- [23] Caruna (2019) "Säävarman sähköverkon rakentaminen etenee aikataulussa ja parantaa asiakkaiden sähköjakelun luotettavuutta" 06.09.2019. Luettu: 29.4.2020. Saatavilla: <https://www.caruna.fi/ajankohtaista/saavarmen-sahkoverkon-rakentaminen-etenee-aikataulussa-ja-parantaa-asiakkaiden>
- [24] Vaasan sähköverkko (n.d.) "Sähköverkon kehittäminen" Luettu: 29.4.2020. Saatavilla: <https://www.vaasansahkoverkko.fi/sahkoverkko/sahkoverkon-kehittaminen/>

- [25] Järvi-Suomen Energia (n.d.)” Rakennamme toimitusvarmaa jakeluverkkoa” Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: <https://www.jseoy.fi/sahkoverkko/toimitusvarmuus/toimitusvarma-jakeluverkko/#b27bcdf4>
- [26] Salomäenpää, Minna (2019)” Vaasan Sähköverkko: ”Pahin myrsky koskaan”” Yle Uutiset 2.1.2019. Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-10578885>
- [27] Ålands Elandelslag (n.d.) ”Arbetet med att återställa elnätet omfattande” Luettu:28.4.2020. Saatavilla: <https://www.el.ax/arbetet-med-att-aterstalla-elnetet-omfattande/>
- [28] Ålands Elandelslag (n.d.) ”Arbetet med lågspänningsnätet har startat”. Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: <https://www.el.ax/arbetet-med-lagspanningsnaget-har-startat/>
- [29] Pölkki, Minna (2019) ”Aapeli vei sähköt uli 100 000 taloudelta – Eniten katkoja oli vielä Ahvenanmaalla ja Vaasan seudulla”. 3.1.2020 hs.fi. Luettu 29.3.2020. Saatavilla: <https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000005953911.html>
- [30] Muhonen, Teemu (2019) ”Miksi Suomessa pitää yhä kärsiä laajoista myrskyjen aiheuttamista sähkökatkoista? Maakaapelointia on vaadittu jo vuosia” 3.1.2020 hs.fi. Luettu 29.3.2020. Saatavilla: <https://www.hs.fi/talous/art-2000005953331.html>
- [31] Elenia (2019) ”Aapeli-talvimyrskyn sähkökatkojen korjaus jatkuu torstaille”2.1.2019. Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: <https://www.elenia.fi/uutiset/aapeli-talvimyrskyn-sahkokatkojen-korjaus-jatkuu-torstaille>
- [32] Pölkki, Minna (2019) ”Tuhansia talouksia on myrskyn jäljiltä yhä ilman sähköä – asentajat Ville Peltola ja Juhani Taavitsainen huhkivat yötä päivää Hankasalmien hankien keskellä” Helsingin Sanomat 2.1.2019. Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: <https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000005952926.html>
- [33] Elenia (2019) ”Aapeli-myrskyn sähkökatkojen korjaus loppusuoralla” 3.1.2019. Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: <https://www.elenia.fi/uutiset/aapeli-myrskyn-sahkokatkojen-korjaus-loppusuoralla>
- [34] Ovaskainen, Teppo (2019) ”Sähköyhtiö siirtyi suurhäiriötilaan: 100 asentajaa, 15 metsätyökonetta ja sään salliessa helikopterit töihin” Kauppalehti 2.1.2019. Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: <https://www-kauppalehti-fi.libproxy.tuni.fi/uutiset/sahkoyhtio-siirtyi-suurhairiotilaan-100-asentajaa-15-metsatyokonetta-ja-saan-salliessa-helikopterit-toihin/fcd309f2-e644-435e-8324-a65b7124be93>
- [35] Caruna (2019) ”Aapeli-myrskyn viankorjaus loppusuoralla Carunan sähköverkossa - sähkökatkot vielä mahdollisia” 4.1.2019. Luettu: 29.3.2020. Saatavilla: <https://www.caruna.fi/ajankohtaista/aapeli-myrskyn-viankorjaus-loppusuoralla-carunan-sahkoverkossa-sahkokatkot-viela>
- [36] Caruna (n.d.) ”Puolivuotisraportti 1.1.-30.6.2019” Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: [https://images.caruna.fi/caruna\\_h1\\_raportti\\_2019.pdf?rBIO-euJ21XQfmjOM4P41R.43.HaUyUEe](https://images.caruna.fi/caruna_h1_raportti_2019.pdf?rBIO-euJ21XQfmjOM4P41R.43.HaUyUEe)



- [37] Vaasan sähkö (n.d.) "Aapeli-myrsky kehitti yhteistyöverkostoa" Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: <https://www.vaasansahko.fi/tietoa-vaasan-sahkosta/aapeli-myrsky-kehitti-yhteistyoverkostoa/>
- [38] Ålands Elandelslag (n.d.) "Arbetet med återuppbyggnaden fortsätter" Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: <https://www.el.ax/arbetet-med-ateruppbyggnaden-fortsatter/>
- [39] Elenia (2019) "Talvimyrsky Aapeli on katkonut sähköjä laajalti" 2.1.2019. Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: <https://www.elenia.fi/uutiset/talvimyrsky-aapeli-katkonut-sahkoja-laajalti>
- [40] Elenia (n.d.) "Elenian säävarma sähköverkko vähentää asiakkaiden sähkökatkoja ja myrskykustannuksia jo reippaasti" Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: <https://www.elenia.com/fi/uutinen/elenian-saavarma-sahkoverkko-vaehentaa-asiakkaiden-sahkokatkoja-ja-myrskykustannuksia-jo>
- [41] Ruokoski, Vilma (2019) "Noin 15 000 Järvi-Suomen Energian asiakasta saa korvausta Aapeli-myrskyn sähkökatkoista – kokonaissumma lähes 1,5 miljoonaa euroa" Yle Uutiset 17.1.2019. Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-10598469>
- [42] Rimaila, Elisa (2019) "Aapeli-myrsky aiheuttanut merkittäviä häiriöitä matkapuhelinverkkoihin – edes 112 ei paikoin toimi" Helsingin Sanomat 2.1.2019. Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: <https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000005952478.html>
- [43] Paakkanen, Mikko, Tuohinen Petteri, Rimaila Elisa, Helstelä, Mira & Laine, Linda (2019) "Suomen historian suurin tuulennopeus mitattiin Ahvenanmaan Kökarissa, puhuri katkoo sähköjä ja haittaa junaliikennettä koko maassa – Kuvat näyttävät tuhot eri puolella Suomea" Helsingin Sanomat 2.1.2019. Luettu: 28.4.2020. Saatavilla: <https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000005951683.html>