



LAPPEENRANNAN  
TEKNILLINEN YLIOPISTO

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
**SÄHKÖTEKNIIKAN OSASTO**

---

Sa2710800 Sähkömarkkinoiden seminaari

KANDIDAATINTYÖ

21.12.2008

Anna Väistö

0239472

Säte N

**Suurhäiriöiden haittakustannusten  
mallintaminen ja haittojen  
pienentämismahdollisuudet**

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Suurhäiriöt</b> .....	<b>2</b>
2.1	Luonnonvoimat Suomessa .....	3
2.2	Gudrun-myrsky .....	5
<b>3</b>	<b>Suurhäiriön kustannusten laskentamalli</b> .....	<b>7</b>
3.1	Viankorjauskustannukset .....	7
3.2	Keskeytyskustannukset .....	8
3.3	Vakiokorvauskustannukset .....	12
<b>4</b>	<b>Suurhäiriöihin varautuminen</b> .....	<b>16</b>
4.1	Verkostostrategia .....	18
4.2	Organisaatio .....	20
4.3	Kunnossapito.....	21
<b>5</b>	<b>Esimerkki suurhäiriön vaikutuksesta sähköverkon kehittämissstrategioihin</b> .....	<b>24</b>
5.1	Kehittämismvaihtoehdot .....	24
5.1.1	Nykyverkko .....	24
5.1.2	Optimoitu keskijänniteverkko .....	24
5.1.3	Optimaalinen verkko .....	25
5.2	Suurhäiriökustannukset .....	25
5.3	Kustannuslaskelmat .....	27
5.4	Johtopäätökset.....	29
<b>6</b>	<b>Yhteenveto</b> .....	<b>31</b>
	<b>LÄHDELUETTELO</b> .....	<b>32</b>

## Käytetyt lyhenteet ja merkinnät

CAIDI	keskeytysten keskipituus [h/keskeytys]
EMV	Energiamarkkinavirasto
JHA	Jälleenhankinta-arvo eli omaisuuden arvo samanlaista omaisuutta nykykustannuksilla hankittaessa
KAH	Keskeytyksestä aiheutuva haitta
Kj	Keskijännite
KTJ	Käytöntukijärjestelmä
Luokka I	Suurhäiriö, joka aiheuttaa maksimissaan noin 48 tunnin mittaisen keskeytyksen ja jonka esiintymistiheys on kerran viidessä vuodessa
Luokka II	Suurhäiriö, joka aiheuttaa maksimissaan noin 120 tunnin mittaisen keskeytyksen ja jonka esiintymistaajuus on kerran 20 vuodessa
Luokka III	Suurhäiriö, joka aiheuttaa maksimissaan vähintään 2 viikon mittaisen keskeytyksen ja jonka esiintymistaajuudeksi on päätelty noin kerran sadassa vuodessa
OPEX	Operatiiviset kulut eli häviö- ja kunnossapitokustannukset
SAIDI	keskeytysten keskimääräinen yhteenlaskettu kestoaika [h/asiakas] tietyllä aikavälillä
SAIFI	keskeytysten keskimääräistä lukumäärä [kpl/asiakas] tietyllä aikavälillä
Sener	Sähköenergialiitto ry
SSS Oy	Suur-Savon Sähkö Oy

## 1 Johdanto

Suomessa suurin osa keskijänniteverkosta on ilmajohtoja, joista noin 60 % sijaitsee metsissä, mikä tekee niistä haavoittuvaisia ja alttiita luonnonvoimille. Luonnonvoimista esimerkiksi tykkylumi ja jääkuormat voivat aiheuttaa laajojakin katkoksia sähkönjakeluun. Suurhäiriötä ei ole selkeästi määritelty missään yleisessä ohjeistossa. Suurhäiriö voidaan määritellä esimerkiksi tilanteeksi, jossa yli 20 % yhtiön asiakkaista on ilman sähköä, tai jossa 110 kilovoltin johto tai 110/20 kV sähköasema tai päämuuntaja on vikaantunut pitkäaikaisesti (Järventausta 05). Suurhäiriöt voidaan jakaa eri häiriötyyppeihin esimerkiksi häiriön esiintymistiheyden, aiheuttajan tai keskeytysajan perusteella.

Tässä työssä keskitytään pääasiassa suurhäiriöiden aiheuttamien haittakustannusten mallintamiseen eli kustannusten laskennalliseen esittämiseen sekä haittojen pienentämismahdollisuuksiin. Suurhäiriöstä aiheutuvat kustannukset voidaan jaotella viankorjaus-, keskeytys- ja vakiokorvauskustannuksiin. Suurhäiriöiden haittoja voidaan pienentää verkkoteknisin ratkaisuin tai korjaushenkilöstöä lisäämällä.

## 2 Suurhäiriöt

Suurhäiriötä ei ole selkeästi määritelty missään yleisessä ohjeistossa. Raportissa (Järventausta 05) suurhäiriötä on käsitelty tilanteena, jossa yli 20 % verkkoyhtiön asiakkaista on ilman sähköä tai jossa 110 kV johto tai 110/20 kV tai 110/10 kV sähköasema tai päämuuntaja vikaantuu pitkäaikaisesti eli useiksi tunneiksi.

Suurhäiriöt voidaan lajitella eri häiriötyyppeihin esiintymistiheyden, aiheuttajan, tuhojen laajuuden ja keskeytysajan mukaan. Suurhäiriön aiheuttaa yleensä esimerkiksi luonnonvoimat kuten myrsky, salama, tykkylumi tai pakkanen, sähköinen häiriöpulssi, onnettomuus tai vahingonteko.

Suomessa keskimääräinen sähkönkäyttäjän vuotuinen keskeytysaika on maaseudulla noin neljä tuntia ja kaupungissa noin kaksi tuntia. Vuosikymmenten ajan keskeytysaika on keskimäärin ollut laskussa, mutta vuosivaihtelut ovat suuret johtuen sääilmiöistä kuten ukkosista, myrskyistä ja lumesta. Maaseudun ja kaupunkien välinen ero johtuu siitä, että kaupungeissa ja taajamissa verkot ovat kokonaan tai osin kaapeloituja, ja maakaapeli on käyttövarmempi kuin maaseudulla käytettävät ilmajohdot. (Sener)

Tilaustutkimusraportissa (Partanen 06) suurhäiriöiden tarkastelu on jaettu häiriön selvityksajan ja sähköttömän asiakasmäärän mukaan kolmeen luokkaan. Luokan I suurhäiriö aiheuttaa maksimissaan noin 48 tunnin mittaisen keskeytyksen, jonka aikana viat on saatu korjattua ja kaikki asiakkaat kytkettyä verkkoon. Luokan I suurhäiriön esiintymistiheys on kerran viidessä vuodessa. Sähköttömien asiakkaiden määrä saattaa vaihdella paikallisesti hyvinkin paljon. Pienellä alueella lähes kaikki asiakkaat voivat olla sähköttä kun taas saman jakeluverkon toisessa osassa tuhoja ei välttämättä ole ollenkaan. Yksi selkeä viankorjausaikaan vaikuttava tekijä on kaatuneiden puiden raivaus, joka on suoritettava ennen varsinaisen vian korjaamista.

Luokan II suurhäiriö aiheuttaa maksimissaan noin 120 tunnin mittaisen keskeytyksen ja sen esiintymistaajuus on kerran 20 vuodessa. Luokan II suurhäiriö koskee laajuudeltaan koko verkkoyhtiön verkkoa, eikä jakelualueen sisällä juurikaan ole paikallista vaihtelua.

Ainoastaan taajamien ja kaupunkien maakaapeliverkkoon liittyvät asiakkaat selviävät pääsääntöisesti keskeytyksittä. (Partanen 06)

Luokan III suurhäiriö tarkoittaa tuhoiltaan neljä kertaa luokan II tasoista suurhäiriötä, jonka aiheuttamien tuhojen korjaamisen on arvioitu kestävän maksimissaan 2 viikkoa ja jonka esiintymistäajuudeksi on päätelty noin kerran sadassa vuodessa. (Partanen 06)

## **2.1 Luonnonvoimat Suomessa**

Tällä vuosituhannella laajoja sähkökatkoksia Suomessa aiheuttaneita myrskyjä ovat olleet mm. Pyry ja Janika vuonna 2001, Unto vuonna 2002 ja Rafael vuonna 2004. Myrsky syntyy tavallisesti matalapaineen yhteydessä. Myrskyn rajaksi on Suomessa määriteltä 21 m/s 10 minuutin keskituulennopeutena merialueilla ja tuntureiden huipulla. Maanpinnan muodot jarruttavat tuulta, jolloin keskituulennopeus pienenee, mutta rannikolla tuulen pyörteisyys kasvaa nopeasti. Suurimmat sisämaassa mitatut 10 minuutin keskituulennopeudet ovat olleet kovaa tuulta, 14...20 m/s. (Ilmatieteenlaitos) Myrskyjen aiheuttamien tuhojen laajuus riippuu yleensä siitä, onko maa jäässä. Maan ollessa sula puut kaatuvat paljon herkemmin kuin juurien ollessa jäätyneen maan alla. (Loviisan Sanomat) Vuonna 2006 laajan sähkökatkon Kainuussa aiheutti jääkuormat.

Marraskuussa 2001 kaksi voimakasta ja syvää matalapainetta liikkui Suomen yli. Pyryn päivän myrskyssä sisämaassa 10 minuutin keskituulennopeudet olivat kovimmillaan 14...18 m/s. Tämän myrskyn aiheuttamat vahingot painottuivat pääosin Pirkanmaalle, Hämeeseen, Itä-Hämeeseen sekä Uudellemaalle. Tuhot aiheutuivat tuulen ja puihin kertyneen lumen yhteisvaikutuksesta. Raskas räntälumi jäättyi puihin kiinni ja puuskittainen myrskytuuli kaatoi puita. (Ilmatieteenlaitos)

Janikan päivänä marraskuussa 2001 alkanut matalapaineen aiheuttama myrskytilanne aiheutti mm. puiden kaatumisia laaja-alaisesti erityisesti maan keskiosissa, Päijänteen lähikunnissa ja Uudellamaalla. Sisämaan 10 minuutin keskituulennopeudet olivat voimakkaimmillaan 14...20 m/s, mutta suurimmat vahingot aiheuttaneet lyhytaikaiset pohjoistuulenpuuskat olivat jopa 30...50 m/s suuruusluokkaa. Janikan yhteydessä esiintynyt puuskaisuus oli luonteeltaan ainutlaatuinen. (Ilmatieteenlaitos)

Pyryn ja Janikan päivien myrskyissä sähkölinjoille kaatui yli 100 000 puuta ja lähes miljoonassa sähkökäyttöpaikassa sähkönjakelu katkesi. Sähkökäyttäjistä kaksi kolmesta sai sähköt takaisin muutamassa tunnissa, mutta lähes 200 000 sähkökäyttöpaikkaa oli sähköttä yli 12 tuntia. Ilman sähköä jopa viisi vuorokautta oli 10 000 käyttöpaikkaa. (Sener)

Unton päivänä heinäkuussa vuonna 2002 poikkeuksellisen voimakkaat ukkospuuskat aiheuttivat suuria aineellisia vahinkoja Suomen itäosassa sekä Oulun lähistöllä. Unton päivän myrskyssä suurimman osan vahingoista aiheuttivat Suomen oloissa poikkeuksellisen voimakkaat ja laajalla alueella esiintyneet syöksyvirtaukset. Tuhot keskittyivät Savossa enimmäkseen pienille ja erillisille muutaman aarin kokoisille alueille. Laajimmat yksittäiset kaatuneiden puiden polut olivat kuitenkin jopa satoja metrejä pitkiä. Lisäksi metsissä makasi lukemattomia yksittäisiä kaatuneita puita. Tuhojälkiin perustuvien arvioiden mukaan myrskypuuskat ylsivät laajalti 20 m/s:iin ja pahimmin kärsineillä alueilla jopa 50 m/s:iin., Ukkospilvien yhteydessä esiintyvät ukkospuuskat ovat hetkellisiä, niin myös Unton päivän myrskyssä. Koko tuulitilanteen kesto yhdellä paikalla oli 10...20 minuuttia. Sade kuitenkin jatkui pidempään. (Ilmatieteenlaitos)

Säätilanteen kehitys Unton päivän myrskyssä oli hyvin nopea. Kesäaikaan vastaavan kaltaisia ukkospilvien synnyttämien myrskypuuskien aiheuttamia vahinkoja esiintyy Suomessa harvemmin kuin kerran kymmenessä vuodessa. Laajuudeltaan tuhoisia metsäkaatoja on esiintynyt viimeksi Kymenlaaksosta Ouluun ulottuvalla vyöhykkeellä kesällä 1985 Sannan päivänä sekä Etelä-Saimaan alueella, Salpausselällä ja mm. Puumalan tienoilla 8.7.1972. (Ilmatieteenlaitos)

Vuoden 2004 joulukuussa riehui Suomessa Rafael-myrsky, joka johtui rajusta matalapaineesta. Kaikilla merialueilla myrskysi ja maa-alueilla etelätuuli oli vaarallisen voimakasta. Lounaisilla merialueilla keskituuli oli jopa yli 27 m/s. Rafael oli vuoden 2004 voimakkain myrsky. Se aiheutti merkittäviä vahinkoja sähkönjakelulle etenkin Uudellamaalla ja Varsinais-Suomessa. (Ilmatieteenlaitos)

Marraskuussa 2006 Kainuun Energian sähköverkkoa koetteli harvinainen sääilmiö. Alijäähdyneen veden sataminen kerrytti puihin runsaasti jääkuormaa, joka taivutti ja

katkaisi puita sähköjohdoille ja rikkoi verkoston rakenteita. Sähkökatkokset koskivat noin 4 000 asiakasta. (Kainuun Energia)

## 2.2 Gudrun-myrsky

Vuoden 2005 tammikuussa riehui myöhemmin nimen Gudrun saanut myrsky. Kyseinen myrsky riepotteli pohjoismaita ja Baltiaa toden teolla kahden vuorokauden ajan. Ilmanpaine oli matala ja Tanskassa tuulen voimakkuudeksi mitattiin puuskissa yli 45 m/s. Veden pinta nousi yli kaksi metriä. Saavuttaessaan Suomen ja Baltian rajuilma oli jo ohittanut huippunsa mutta oli edelleen voimakas. (If)

Myrskyn vaikutukset olivat katastrofaaliset. Se vaati 17 ihmisen hengen, minkä lisäksi raivaustöissä kuoli 10 henkeä. Tanskassa 60 000 ihmistä jäi ilman sähköä, myrsky kaatoi metsää 2 000...3 000 hehtaaria ja lentokentät jouduttiin sulkemaan. Liettuassa, jota myrsky koetteli Baltian maista pahiten, oli ilman sähköä pahimmillaan 60 % maasta. (If)

Ruotsin Energimyndigheten-energiaviranomaisen teettämä konsulttiselvityksen mukaan myrsky aiheutti Ruotsissa vahinkoja 3,2...4 miljardia kruunua. Summassa ei ole mukana metsävahinkoja. Todennäköisesti Gudrun oli Ruotsin pahin luonnonkatastrofi. Se kaatoi Etelä- ja Keski-Ruotsissa arviolta 250 miljoonaa puuta, mikä on saman verran kuin Ruotsissa kaadetaan puita vuodessa. (Energiateollisuus)

Metsän lisäksi myrskyssä lakoontuivat sähköjohdot. Gudrun katkaisi sähköt Ruotsissa yhteensä 730 000 sähkökäyttäjältä. Korjaustöissä oli mukana runsaasti naapurimaiden sähköasentajia. Useimpiin sähkönkäyttöpaikkoihin saatiin sähkö takaisin noin vuorokaudessa, mutta osa katkoista kesti jopa 45 vuorokautta. Keskimääräinen sähkökatko kesti noin neljä vuorokautta. Tilapäissähkön saamiseksi käyttöön otettiin sähköaggregaatteja yli 3 000 MW verran. Aggregaatteja kerättiin Ruotsiin ympäri Pohjois-Eurooppaa. (Energiateollisuus)

Ruotsissa jouduttiin myös ajamaan alas viisi ydinreaktoria. Maan eteläosien koko rautatieliikenne oli poikki ja matka- sekä lankapuhelimet lakkasivat toimimasta myrskyn pahimmin koettelemilla alueilla. (If)



Verkkoyhtiöiltä vaurioitui lähes 30 000 johtokilometriä verkkoa, minkä korjaus vaati valtavia panostuksia. Vaurioituneista johdoista 2 700 km oli rakennettava kokonaan uudestaan. (Energiateollisuus)

Pro gradu -tutkielmassa (Silvast 06) on tarkasteltu sähkön katkeamista sähkönkäyttäjien ja sähköverkon asiantuntijoiden kannalta. Tutkielmassa kysyttiin kahden suomalaisen sähköverkkoyhtiön asiakkailta mielipiteitä sähkökatkoista. Huolimatta Ruotsin vuoden 2005 Gudrun-myrskyn tuhoista 60 % vastaajista (N=115) uskoi, etteivät useamman viikon mittaiset suurhäiriöt ole mahdollisia Suomessa. Tutkielmassa arveltiin, että joko vastaajat eivät olleet seuranneet Ruotsin tapahtumia tai sitten he uskoivat, että sellaista ei Gudrun-myrskystä huolimatta voisi tapahtua omassa kotimaassa. Joka tapauksessa tutkielman mukaan vaikuttaa siltä, että sähkökatkoista haavoittuvaisen yhteiskunnan mahdollisuutta ei ole tunnustettu yleisesti ainakaan loppuun asti.

### **3 Suurhäiriön kustannusten laskentamalli**

Asiakkaiden kannalta merkittävin sähkön laatutekijä on usein verkon käyttövarmuus, jota arvioidaan keskeytysten perusteella. Energiamarkkinavirasto (EMV) kerää verkkoyhtiöiltä tilastoja keskeytyksistä.

Sähkömarkkina-alueilla on määritelty vuonna 2003 voimaan tulleet vakiokorvaukset, joita verkkoyhtiö on velvoitettu maksamaan asiakkaalle yli 12 tuntia kestäneistä keskeytyksistä. Tätä lyhyemmistä keskeytyksistä ei käytännössä aiheutunut yhtiölle muuta haittaa kuin korjauskustannukset ja toimittamatta jääneen energian arvo, mikä on pieni verrattuna asiakkaalle keskeytyksestä aiheutuneeseen haittaan. (Sähkömarkkinat)

Vuodesta 2008 lähtien EMV kannustaa kaikkia sähköverkonhaltijoita sähkön laadun parantamiseen. Sähköntoimituksessa tapahtuvat keskeytykset ja niistä sähkönkäyttäjille aiheutuva haitta otetaan huomioon arvioitaessa verkkoyhtiöiden verkkotoiminnan tuoton kohtuullisuutta. Sähkön laadun paranemisesta eli keskeytysten vähenemisestä syntyvä hyöty jaetaan asiakkaiden ja verkkoyhtiön kesken. Keskeytyskustannusten pienentyttyä verkkoyhtiö saa kasvattaa liikevaihtoaan. Jos keskeytykset taas ovat kasvaneet referenssitason verrattuna, tulee yhtiön liikevaihtoa pienentää. Poikkeuksellisten tilanteiden varalta sähkön laadun maksimivaikutus verkonhaltijan verkkoliiketoiminnan tuottoon on rajattu. Jakeluverkonhaltijoille on myös asetettu vuodesta 2008 lähtien yrityskohtaiset tehostamistavoitteet. (EMV 07)

Suurhäiriöistä aiheutuu sähköverkkoyhtiöille erilaisia kustannuksia, joista tässä luvussa käsitellään viankorjaus-, keskeytys- ja vakiokorvauskustannuksia.

#### **3.1 Viankorjauskustannukset**

Viankorjauskustannukset koostuvat pääasiassa viankorjauksessa käytettävistä materiaaleista kuten varaosista ja muista korjaustarvikkeista, työkoneista ja polttoainekuluista, työvoiman palkoista tai muista korvauksista ja käyttöhenkilöstön muonituksesta. Suurhäiriötilanteessa viankorjauskustannukset ovat poikkeuksellisen tilanteen vuoksi korkeammat kuin normaalin tilan viankorjauskustannukset. Tilaustutkimusraportissa (Partanen 06) on suurhäiriöiden viankorjauskustannuksiksi

arvioitu 2 000 €/ vika. Suurhäiriötilanteen selvittämisessä normaalikorjausmiehistön lisäksi tarvittavien vararesurssien käytölle on arvioitu viankorjauskustannus 2 500 €/ vika. Vararesursseilla tarkoitetaan yleensä lomilta kutsuttua miehistöä, ulkopuolista ostotyövoimaa sekä apuvoimaa, jolla ei ole sähköteknistä koulutusta.

Esimerkiksi Kainuun Energian sähköverkkoa Tenhon päivänä marraskuussa 2006 koetelleet jääkuormat aiheuttivat yhtiölle noin 150 000 euron korjauskustannukset, joiden lisäksi yhtiö maksoi asiakkailleen vakiokorvauksia. Kainuun Sähköverkko Oy:n verkkoalueella on 54 100 sähkönkäyttöpaikkaa, joihin siirrettiin vuonna 2005 sähköä noin 718 GWh. (Kainuun Energia)

Sähköenergialiitto ry Senerin ja Energia-alan keskusliitto ry Finergyn tekemien kyselyiden mukaan Pyn ja Janikan päivien myrskyjen aiheuttamat sähkökatkokset marraskuussa 2001 koskivat yli 800 000 asiakasta Suomen keski- ja eteläosissa. Yli viisi vuorokautta kestäneitä sähkökatkoksia oli 1 600 taloudella. Myrskyjen aiheuttamien tuhojen korjauskustannukset jakeluverkonhaltijoille ylittivät 10 miljoonaa euroa. (Forstén 02)

### **3.2 Keskeytyskustannukset**

Asiakkaiden kannalta merkittävintä sähkön laatutekijää, verkon käyttövarmuutta arvioidaan keskeytystunnusluvulla SAIFI, SAIDI ja CAIDI. SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) kuvaa keskeytysten keskimääräistä lukumäärää (kpl/asiakas) tietyllä aikavälillä, SAIDI (System Average Interruption Duration Index) kuvaa keskeytysten keskimääräistä yhteenlaskettua kestoaikaa (h/asiakas) tietyllä aikavälillä ja CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) kuvaa keskeytysten keskipituutta (h/keskeytys). (Sähkömarkkinat) Taulukossa 1 on esitetty EMV:n keräämistä tunnusluvuista asiakkaan vuotuisia keskeytysaikoja ja keskeytysten keskimääräisiä lukumääriä vuosilta 1998...2006. Taulukon 1 luvut ovat keskiarvoja sähköverkkoyhtiöiden ilmoittamista keskiarvoista.

Taulukko 1. Asiakkaiden keskimääräisiä vuotuisia keskeytysaikoja ja lukumääriä Suomessa vuosina 1998...2006.

vuosi	asiakkaan vuotuinen keskeytysaika [h/a]	kaikkien keskeytysten vuotuinen keskimääräinen lukumäärä asiakkaalla [kpl/a]
1998	1,95	3,9
1999	2,79	5,3
2000	1,91	4,6
2001	4,28	6,1
2002	2,26	4,3
2003	2,04	4,5
2004	1,72	4,0
2005	3,01	5,5
2006	2,41	6,3

Keskeytystunnuslukuja (SAIFI, SAIDI ja CAIDI) voidaan jalostaa eteenpäin keskeytyskustannuksiksi, jolloin verkkoyhtiöt voivat käyttää niitä mm. verkostosuunnittelun tehtävissä ja viranomaistahot taas voivat käyttää niitä sääntelyssä. EMV:n valvontamallissa on luotu tehokkuusmittaukseen sähkön laatua kuvaava tunnusluku ja taloudelliseen valvontaan erillinen laatukannustin. Laatukannustimella yhtiön toteutuneita keskeytyskustannuksia verrataan verkkoyhtiölle ominaiseen keskeytyskustannusten tasoon, ja yhtiön sallittua liikevaihtoa korjataan niiden erotuksella. Referenssitaso voidaan määrittää joko verkkoyhtiön pitkän aikavälin keskeytystunnuslukujen tai verkkoyhtiön toimintaympäristön perusteella. Mikäli yhtiö on saanut keskeytyskustannuksiaan pienenemään, saa se kasvattaa liikevaihtoaan ja vastaavasti liikevaihtoa tulee pienentää keskeytyskustannusten kasvaessa. EMV on kohtuullistanut laatukannustimen vaikutusta siten, että ainoastaan puolet referenssitason ja toteutuneiden keskeytyskustannusten erotuksesta vaikuttaa sallittuun tuottoon. Lisäksi laatukannustimen maksimisuuruus on 10 % yhtiön kohtuullisesta tuotosta. (Sähkömarkkinat)

Keskeytyksestä aiheutuvan haitan arvostusta on viime vuosina tutkittu paljon. Vuonna 2005 tehdyssä tutkimuksessa (Silvast 05) selvitettiin erilaisia menetelmiä sähkönjakelun keskeytyksestä aiheutuvan haitan (KAH) rahallisen arvostuksen arvioimiseksi, referoitiin aiempia aihepiirin tutkimuksia sekä tehtiin KAH-arvoja koskeva

kyselytutkimus, jossa tulokset pohjautuivat sähkönkäyttäjien omiin näkemyksiin keskeytyksistä aiheutuvien haittojen arvosta.

Vuonna 2006 julkaistussa Lappeenrannan teknillisen yliopiston ja Tampereen teknillisen yliopiston raportissa (Honkapuro 06) on tarkistettu vuoden 2005 KAH-arvoja. Vuoden 2006 tutkimuksessa otettiin huomioon keskeytyksen ajankohdan vaikutus sekä muutettiin KAH-arvot vastaamaan keskitehoja. Taulukossa 2 on esitetty vuoden 2006 tutkimuksessa määritetyt KAH-parametrit odottamattomassa keskeytyksessä eri asiakasryhmille. KAH-kustannus tietylle asiakasryhmälle määräytyy taulukon 2 ensimmäisen sarakkeen arvon ja käytetyn tehon tulon sekä toisen sarakkeen arvon, käytetyn tehon ja keskeytyksen kestoajan tulon summasta. Taulukon 2 arvot perustuvat 1 s...1 h mittaisiin keskeytyksiin.

Taulukko 2. Odottamattoman keskeytyksen KAH-parametrit tarkennetussa keskeytyskustannusten laskennassa. (Honkapuro 06)

<b>Asiakasryhmä</b>	<b>€/ kW</b>	<b>€/ kWh</b>
<b>Kotitalous (ka)</b>	0,36	4,29
<b>Maatalous (ka)</b>	0,45	9,38
<b>Teollisuus</b>	3,52	24,45
<b>Julkinen</b>	1,89	15,08
<b>Palvelu</b>	2,65	29,89

Kotitaloudelle, jonka vuosienergia on 21 900 kWh, keskiteho on 2,5 kW. Kyseiselle kotitaloudelle tunnin mittainen keskeytys aiheuttaa taulukon 2 perusteella 10,73 euron haittakustannuksen.

EMV käyttää asiakasryhmäkohtaisten KAH-arvojen sijasta yhdistettyä KAH-arvoa, sillä EMV:n keräämistä energiapainotetuista tunnusluvuista ei käy ilmi, mille asiakasryhmälle keskeytykset kohdistuvat. Vuonna 2006 julkaistuista asiakasryhmäkohtaisista KAH-arvoista on saatu yhdistetty KAH-arvo kullekin keskeytystyypille painottamalla niitä kuluttajaryhmien KAH-arvoja kuluttajien energiaosuuksilla. Taulukossa 3 on esitetty EMV:n sääntelyssä käyttämät valtakunnallisella energijakaumalla painotetut KAH-arvot odottamattomassa keskeytyksessä. (Sähkömarkkinat)

Taulukko 3. EMV:n valvontamallin odottamattoman keskeytyksen KAH-parametrit. (Sähkömarkkinat)

€/ kW	€/ kWh
1,1	11,0

Sähköverkonhaltijan verkkotoiminnan tuoton arvioinnissa toteutunut sähköntoimituksen odottamattomasta keskeytyksestä asiakkaille aiheutunut haitta vuonna  $t$  vuoden  $k$  rahanarvossa lasketaan yhtälöllä 1 (Sähkömarkkinat)

$$KAH_{t,k} = (KA_t \cdot h_E + KM_t \cdot h_P) \cdot \left( \frac{W_t}{T} \right), \quad (1)$$

jossa

$KA_t$  = asiakkaan keskimääräinen vuotuinen odottamattomista keskeytyksistä aiheutunut vuosienenergia painotettu keskeytysaika vuonna  $t$  [h]

$h_E$  = taulukon 2 odottamattomista keskeytyksistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta [€/kWh]

$KM_t$  = asiakkaan keskimääräinen vuotuinen odottamattomista keskeytyksistä aiheutunut vuosienenergia painotettu keskeytysmäärä vuonna  $t$  [kpl]

$h_P$  = taulukon 2 odottamattomista keskeytyksistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta [€/kW]

$W_t$  = verkonhaltijan verkosta käyttäjille luovutettu energiamäärä vuonna  $t$  [kWh] ja

$T$  = vuoden  $t$  tuntien lukumäärä.

Erään kotitalouden vuosienenergia on 21 900 kWh. Kyseiselle kotitaloudelle yksi tunnin mittainen odottamaton keskeytys aiheuttaa taulukon 3 perusteella 30,25 € haittakustannuksen. Verrattuna taulukon 2 KAH-arvoilla saatuun haittakustannukseen on tämä lähestulkoon kolminkertainen. Koti- ja maatalouksilla haitan arvostus onkin EMV:n taulukon 3 arvoilla suurempi kuin taulukon 2 arvoilla, kun taas teollisuudessa, julkisella puolella ja palvelualalla arvostus on pienempi.

Nykyiset KAH-arvot on tarkoitettu verkon normaalin käyttötilanteen keskeytysten eli korkeintaan muutamien tuntien keskeytysten hinnoitteluun, joten pidemmistä keskeytyksistä voidaan katsoa aiheutuvan asiakkaalle suurempaa haittaa. Kuitenkin jo nykyparametreilla KAH-kustannus on hallitseva osa suurhäiriökustannusta. (Partanen 06)

### 3.3 Vakiokorvauskustannukset

1.9.2003 voimaan tulleessa Sähkömarkkinalain 6 a -luvun 27 f §:ssä määritellään vakiokorvaukset, joihin sähkökäyttäjällä on oikeus verkkopalvelun yhtäjaksoisen keskeytymisen perusteella. Vakiokorvaus määräytyy keskeytysajan mukaan ja on määrätty prosenttiosuus asiakkaan vuotuisesta verkkopalvelumaksusta eli siirtomaksusta veroineen. Vakiokorvauksen määrä sähkökäyttäjän vuotuisesta verkkopalvelumaksusta on 10 %, kun keskeytysaika on ollut 12...24 tuntia, 25 %, kun keskeytysaika on ollut 24...72 tuntia, 50 %, kun keskeytysaika on ollut 72...120 tuntia sekä 100 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 120 tuntia. Vakiokorvauksia verkkopalvelun keskeytymisestä ei kuitenkaan voi saada enempää kuin 700 euroa sähkökäyttäjää kohti. Jos sähkökäyttäjälle maksetaan verkkopalvelun keskeytymisestä vakiokorvaus, ei hänellä ole oikeutta saman keskeytyksen Sähkömarkkinalain 27 d §:ssä säädettyyn hinnanalennukseen. (Sähkömarkkinalaki)

Energiamarkkinaviraston 91 suomalaiselta sähköverkkoyhtiöltä keräämistä tunnusluvuista vuodelta 2005 käy ensimmäisen kerran ilmi verkkoyhtiöiden maksamat vakiokorvaukset euroittain ja kappalemäärittäin kyseisenä vuonna. Vuonna 2005 vakiokorvauksia joutui maksamaan 29 yhtiötä yhteensä 48 160 asiakkaalle yhteensä 2,62 M€ Näistä suurin yksittäisen yhtiön (Fortum Sähkön siirto) maksama vakiokorvaussumma oli 1,65 M€ Tämän summan suuruutta selittää osaltaan se, että Fortum Sähkön siirron vastuualue on laaja, siihen kuuluu Keski- ja Länsi-Uusimaa, Lounais-Suomi, Satakunta, Etelä-Pohjanmaa ja Koillismaa. Taulukossa 4 on esitetty verkkoyhtiöiden vuonna 2005 maksamat vakiokorvaukset yhteensä ja keskimäärin jaettuna korvauksia maksaneiden yhtiöiden kesken sekä vakiokorvauksia saaneiden asiakkaiden lukumäärät yhteensä ja keskimäärin eripituisten keskeytysten perusteella. (EMV 05)

Taulukko 4. Verkkoyhtiöiden maksamat vakiokorvaukset [€] ja vakiokorvauksia saaneiden asiakkaiden lukumäärät yhteensä ja keskimäärin vuonna 2005. (EMV 05)

<b>vian kesto</b>	<b>12...24 h</b>	<b>24...72 h</b>	<b>72...120 h</b>	<b>yli 120 h</b>
<b>vakiokorvausten keskiarvo [k€]</b>	41,3	79,2	7,3	20,2
<b>vakiokorvaukset yhteensä [k€]</b>	1 198,2	1 267,9	36,7	121,3
<b>vakiokorvauksia keskimäärin [kpl]</b>	1 181	847	47	24
<b>vakiokorvauksia yhteensä [kpl]</b>	34 236	13 549	233	144

Vuonna 2006 Energiamarkkinaviraston 89 suomalaiselta sähköverkkoyhtiöltä keräämien tunnuslukujen mukaan vakiokorvauksia joutui maksamaan 22 yhtiötä 42 900 asiakkaalle yhteensä 2,75 M€ Näistä suurin oli Fortum Sähkönsiirron maksama vakiokorvaussumma 1,7 M€ Taulukossa 5 on esitetty verkkoyhtiöiden vuonna 2006 maksamat vakiokorvaukset yhteensä ja keskimäärin jaettuna korvauksia maksaneiden yhtiöiden kesken sekä vakiokorvauksia saaneiden asiakkaiden lukumäärät yhteensä ja keskimäärin eripituisten keskeytysten perusteella. (EMV 06)

Taulukko 5. Verkkoyhtiöiden maksamat vakiokorvaukset [€] ja vakiokorvauksia saaneiden asiakkaiden lukumäärät yhteensä ja keskimäärin vuonna 2006. (EMV 06)

<b>vian kesto</b>	<b>12...24 h</b>	<b>24...72 h</b>	<b>72...120 h</b>	<b>yli 120 h</b>
<b>vakiokorvausten keskiarvo [k€]</b>	54,9	119,2	12,8	2,0
<b>vakiokorvaukset yhteensä [k€]</b>	1 153,5	1 549,6	38,4	11,7
<b>vakiokorvauksia keskimäärin [kpl]</b>	1 414	996	73	14
<b>vakiokorvauksia yhteensä [kpl]</b>	29 691	12 949	220	83

Vuosina 2005 ja 2006 vakiokorvauksia maksettiin suunnilleen yhtä paljon, vuonna 2006 vakiokorvauksia maksettiin 130,5 k€ enemmän kuin vuonna 2005. Vertaamalla taulukoiden 4 ja 5 arvoja toisiinsa huomataan, että vuonna 2006 yhtiöiden keskimäärin 12...120 h kestäneistä katkoista maksamat vakiokorvaukset olivat suuremmat kuin vuonna 2005. Vuonna 2005 taas maksettiin yli 120 h kestäneistä katkoista enemmän kuin vuonna 2006.



Kainuun Energialla Tenhon päivänä marraskuussa 2006 jääkuormien aiheuttamien sähkökatkosten keskimääräinen katkosaika oli kuutisen tuntia ja pisin sähkökatkos kesti runsaat 22 tuntia. Kaikki sähkökatkokset saatiin korjattua alle vuorokaudessa, jolloin 12 tuntia ylittäneistä sähkökatkoista vakiokorvaukseksi muodostui 10 % vuotuisesta siirtomaksusta veroineen. Muulla kuin sähköllä lämpiävälle omakotitalolle korvaus oli tällöin runsaat 30 euroa, sähkölämmitteiselle omakotitalolle noin 80 euroa ja 35 000 kWh käyttävälle maatilalle noin 150 euroa. Sähkökatkokset koskivat noin 4 000 asiakasta. Yhtiö maksoi 621 asiakkaalleen vakiokorvauksia yhteensä lähes 23 000 euroa. Vakiokorvaukset maksettiin asiakkaille joulukuun 2006 sähkölaskun yhteydessä. (Kainuun Energia)

Koska vakiokorvausten maksu astui voimaan vuonna 2003, ei vuonna 2001 riehuneista Pyryn ja Janikan päivien myrskyistä ole saatavilla samanlaista keskeytystilastoa kuin vuodelta 2006. Asiakkaiden kokemat keskimääräiset vuotuiset keskeytysajat vuonna 2001 on tilastoitu. Keskimääräinen keskeytysaika vuonna 2001 oli 4,3 h, pisin asiakkaiden kokema vuotuinen keskeytysaika oli 45,15 h. Vuonna 2006 keskimääräinen keskeytysaika oli 2,4 h. Pisin asiakkaan kokema keskeytysaika oli 12,05 h. (EMV 01; EMV 06)

Etelä- ja Länsi-Suomessa joulun 2004 alla Rafael-myrsky aiheutti EMV:n tekemän kyselyn mukaan kaksinkertaisen määrän vakiokorvauksia kuin mitä syyskuusta 2003 kesään 2004 mennessä oli aiheutunut. Tammikuussa 2005 tehdyn tutkimuksen mukaan kahdeksalla verkkoyhtiöllä oli ollut yli 12 tunnin keskeytyksiä. Nämä yhtiöt arvioivat maksavansa vakiokorvauksia asiakkailleen yhteensä noin 1,5 M€ Eniten vuoden 2004 Rafael-myrskystä kärsinyt verkkoyhtiö arvioi maksettaviksi tulevien vakiokorvausten vastaavan noin 1 %:a yhtiön vuoden liikevaihdosta. (EMV 05)

Vakiokorvauksia suurempia kustannuksia verkkoyhtiöille aiheuttaa kuitenkin vikojen korjaaminen. Rafael-myrskystä aiheutui verkkoyhtiöille yhteensä 2,4 M€kustannukset, mikä on 0,9 M€ enemmän kuin vakiokorvaukset ja vastaa noin 2 %:a toimialan yhteenlasketusta liikevaihdosta. (EMV 05)

EMV:n teettämään kyselyyn vastanneista verkonhaltijoista 57 % ilmoitti vakiokorvauksia koskeneiden säädösten vaikuttaneen jonkin verran tai melko paljon

verkonhaltijan toimintaan, mutta vain 24 % oli maksanut asiakkailleen vakiokorvauksia.  
(EMV 05)

## 4 Suurhäiriöihin varautuminen

Loka-marraskuussa 2001 Suomea koetelleet myrskyt toivat esille tarpeen kehittää verkkoyhtiöiden valmiuksia myrskyjen ja muiden luonnonilmiöiden aiheuttamien keskeytysten hoitamisessa. Kauppa- ja teollisuusministeriön 21.11.2001 asettama selvitysmies Jarl Forstén katsoi raportissaan (Forstén 02), että jakeluverkonhaltijoiden tulisi tehdä keskeytysten vähentämiseen tähtäävät toimet sisältävä toimenpidesuunnitelma sekä varautumissuunnitelma, jotta keskeytysajat saataisiin pidettyä lyhyinä laajoissakin häiriötilanteissa.

Sähköenergialiitto ry laati vuonna 2002 verkostosuosituksen (Sener 02), jonka ohjeita jokaisen verkkoyhtiön on tarkoitus soveltaa suurhäiriötilanteessa omaan toimintamalliinsa parhaaksi katsomallaan tavalla. Suositus antaa ohjeet suurhäiriötilanteessa avainasemassa oleviin tehtäviin, joita ovat vikailmoitusten vastaanotto, valvomotyöskentely, vikojen etsintä ja korjaus, maastotöiden johto sekä tiedottaminen. Näiden lisäksi suosituksessa on ohjeet valvomon ja työryhmien välisestä yhteydenpidosta, erillistehtävien hoitovastuista, ruokahuollosta, työturvallisuudesta, kalustosta sekä ulkopuolisesta työvoimasta.

EMV:n kesällä 2004 teettämään kyselyyn vastanneista verkonhaltijoista 57 % ilmoitti vakiokorvauksia koskeneiden säädösten vaikuttaneen jonkin verran tai melko paljon verkonhaltijan toimintaan. Vakiokorvauslainsäädännön johdosta verkonhaltijat olivat mm. päivittäneet varautumissuunnitelmiaan, tehneet toimitusvarmuutta parantavia verkkoinvestointeja, kehittäneet viankorjaustoimintaansa sekä päivittäneet verkko- ja asiakastietojärjestelmiään. (EMV 05)

EMV:n toimeksiannosta tehdyssä raportissa (Järventausta 05) on ehdotettu sähkömarkkinalain sähköverkon kehittämisveloitteen täyttymisen yhdeksi kehitysperaatteeksi jokaiselta verkkoyhtiöltä edellytettävää hyväksytyä varautumissuunnitelmaa suurhäiriön varalle. Varautumissuunnitelmassa tulisi esittää verkkoon, henkilöstöön ja organisaatioon liittyvät toimenpideohjelmat, jotka toteutetaan suurhäiriötilanteessa. Tavoitteet voisivat erilaisissa olosuhteissa toimivilla yhtiöillä olla erilaiset. Suuremmissa taajamissa ja kaupungeissa tavoitteena on yksittäisissä

pahoissakin vioissa 100 % korvattavuus huippukuormasta kun taas haja-asutusalueilla tavoitetasona voi olla esimerkiksi 70 % korvattavuus. Suurhäiriön toteutuessa yhtiön tulisi tehdä toiminnastaan raportti, jonka perusteella EMV voi arvioida kehittämisvelvoitteen täyttymisen.

Kauppa- ja teollisuusministeriön 6.2.2006 asettama työryhmä (Turunen 06) teetti verkonhaltijoille kyselyn selvittääkseen, ovatko jakeluverkonhaltijat laatineet selvitysmies Forsténin suosittelemia toimenpidesuunnitelmia sekä varautumissuunnitelmia. Kyselyyn vastanneista verkonhaltijoista noin 90 % on laatinut varautumissuunnitelman laajojen häiriötilanteiden varalle. Sen lisäksi, että varautumissuunnitelmat olivat varsin kattavia ja ne noudattivat Sähköenergialiitto ry:n Verkostosuosituksista 7:02, oli niissä otettu huomioon monia suosituksessa mainitsemattomia asioita. Kolmella neljästä verkonhaltijasta on käytössään myrskyistä tai muista poikkeusoloista ilmoittava järjestelmä. Varautumissuunnitelmissa varallaolosopimukset myös ulkopuolisten kalusto- ja tarvikepalveluntarjoajien kanssa sekä yhteistyösopimukset muiden verkkoyhtiöiden ja sidosryhmien kuten pelastuslaitoksen ja metsänhoitoyhdistysten kanssa olivat avainasemassa. Joka toinen verkonhaltija oli joutunut turvautumaan varautumissuunnitelmassa esitettyihin toimenpiteisiin vähintään kerran vuodessa, ja kaksi kolmesta katsoo, että suunnitelmista oli ollut apua tilanteen selvittämisessä. Valmiutta suurhäiriöiden varalle ylläpidettiin koulutuksella, harjoituksilla, erilaisin sopimuksin ja riittävän korjauskaluston avulla.

Suurhäiriöiden vaikutuksia voidaan vähentää pääasiassa verkkorakenteita muuttamalla ja korjaushenkilökuntaa lisäämällä. Luonnonvoimien aiheuttamia keskeytyksiä voidaan vähentää ja lyhentää erilaisin verkkoteknisin ratkaisuin, joita ovat esimerkiksi päällystämättömien avojohdojen korvaaminen kaapelilla tai päällystetyllä avojohdolla eli PAS-johdolla ja johtokatuja tekeminen mahdollisimman puuvarmoiksi. Päällystämätön avojohdo vaatii 10 metriä leveän johtokadun, kun PAS-johdolle riittää 6 metriä leveä johtokatu. PAS-johdot ovat noin 20 % kalliimpia kuin päällystämättömät avojohdot. Kaapeli taas on kustannuksiltaan noin kaksinkertainen ilmajohtoon verrattuna. Verkkoteknisiksi ratkaisuksi luetaan myös varasyöttöyhteyksien rakentaminen tärkeimpiin kohteisiin, vikojen paikallistaminen ja vikapaikkojen automaattinen erottaminen sekä laitteiston kunnossapito. (Partanen 06; Forstén 02)

#### 4.1 Verkostostrategia

Suurhäiriöiden vaikutuksia voidaan pienentää verkoston rakenneratkaisuilla. Verkkoyhtiö määrittää omassa verkostostrategiassaan, millä tasolla sen on järkevää suojautua suurhäiriötä vastaan. Taulukossa 6 on esitetty erilaisten verkon kehittämistoimenpiteiden vaikutuksia sähköverkon käyttövarmuuteen normaaleissa vikatilanteissa.

Taulukko 6. Eri teknikoiden vaikutuksia vikojen määriin ja kestoihin. ++ tilanne paranee olennaisesti, + tilanne paranee hieman, - vähäinen tai ei vaikutusta. (Lakervi)

	Pysyvien vikojen määrä		Pysyvien	Työ-	Jälleen-
	absoluut-		vikojen	keskey-	kytkentöjen
	tisesti	kpl/as.	kesto/as.	tyk-set/as.	määrä/as.
Uudet sähköasemat	-	++	+	-	++
Kaapelointi	++	++	-	-	++
PAS-johdot	+	+	-	-	+
Tienvarteen rakentaminen	+	+	+	-	+
Pylväskatkaisijat	-	++	-	-	++
Kauko-ohjattavat erottimet	-	-	++	-	-
Varayhteydet	-	-	++	++	-
Valvomoautomaatio	(+)	(+)	++	+	-
Varavoima	-	-	+	++	-
Yhteistyö	+	+	+	-	-

Metsässä sijaitsevat johdot ovat hyvin haavoittuvia kaatuvien puiden takia. Johtoja kannattaa siirtää metsistä pelloille ja tienvarsiin, jolloin kaatuvat puut voivat aiheuttaa haittaa pienemmässä osassa verkkoa. Ilmajohdojen siirtäminen metsästä tien varteen vähentää vikojen määrää lähes puoleen kyseisillä johto-osuuksilla. Myös vikojen paikallistaminen on tällöin helpompaa. (Lakervi)

Mahdollisuuksien mukaan johtokatuja kannattaa leventää, jolloin kaatuvat puut eivät osu johtoihin. Suurjännitejohtokadut (110...400 kV) rakennetaan puuvarmoiksi, jolloin puut eivät voi kaatuessaan koskettaa johtimia. Saman keinon käyttäminen kaikilla

jännitetasoilla tekisi sähkönjakelusta luotettavampaa, mutta se aiheuttaisi leveitä johtoaukeita ja siten metsämaan tuhlausta. (Sener)

Avojohtojen vaihtaminen päällystettyihin PAS-johtoihin vähentää verkon vikoja pienissä vioissa, mutta ei kuitenkaan suurhäiriötilanteessa. (Lakervi)

Jos verkkoyhtiöllä olisi tarkoituksena saada verkko täysin häiriöttömäksi, auttaisi koko verkon maakaapelointi, mutta tällöin investointikustannukset nousevat huimasti. Maakaapelien vikataajuus on 10...50 % avojohtojen vikataajuudesta, eivätkä kaatuvat puut vahingoita maakaapeleita. Kaapeleiden laajamittainen käyttö haja-asutusalueilla nostaisi sähkönjakelun kustannuksia niin paljon, että asiakkaat tuskin olisivat niitä halukkaita maksamaan. (Lakervi; Sener)

Varasyöttöyhteydet vähentävät vian kestoa, jos ne toimivat. Suurhäiriön aikana voi olla mahdollista, että varasyöttöyhteydet eivät ole käyttökunnossa. Tällöin tärkeiden kohteiden, esim. taloudellista toimintaa harjoittavien olisi syytä arvioida sähkökatkoksesta aiheutuvia riskejään ja hankkia tarvittaessa akkuihin tai varavoimakoneeseen perustuvia varajärjestelmiä. (Sener)

Kauko-ohjattu erotin tai pylväskatkaisija sinällään ei vaikuta vikojen korjaamisaikaan, mutta helpottaa vikojen erottamista muusta verkosta. Erotinasemien kaukokäytöllä voidaan lyhentää vikatilanteiden aiheuttamia keskeytyksiä, sillä vikaantuneen verkonosan erottamiseen tarvittavat erottimien kytkennät hoituvat muutamassa minuutissa valvomosta käsin, kun käsikäytöllä aika riippuu erottimen sijainnista ja henkilöstön valmiudesta. (Lakervi)

Käyttötukijärjestelmän (KTJ) toimintoja hyödyntämällä voidaan parantaa verkon käyttövarmuutta monin tavoin. KTJ:n laskentatoimintojen avulla voidaan vaikeidenkin häiriötilanteiden aikana selvittää reaaliaikaisesti varayhteyksien käyttömahdollisuudet niin, että verkon suojaukselle ja jännitteen laadulle asetetut vaatimukset täyttyvät. KTJ:ään sisältyvien vianpaikannustoimintojen avulla voidaan nopeuttaa verkoissa esiintyvien oikosulkujen paikantamista ja erottamista. (Lakervi)

Useissa verkkoyhtiöissä on onnistuttu vähentämään jakeluverkon vikojen asiakkaille aiheuttaman haitan määrää huomattavasti ottamalla käyttöön vianilmaisimia ja vikavirran mittaukseen kykeneviä suojarkeitä, käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmiä sekä kauko-ohjattuja erotinasemia. (Lakervi)

Verkon käyttövarmuutta parantavat verkstorakenteet lisäävät vuotuisia verkkoinvestointeja, mutta vähentävät keskeytysten määrää ja keskeytyskustannuksia. Tämän takia verkkoyhtiöiden tulisi tarkkaan määrittää verkon kehittämisvaihtoehdot kustannuksineen ja vertailla niitä suurhäiriöistä aiheutuviin kustannuksiin parhaan ja taloudellisimman ratkaisun saamiseksi.

## **4.2 Organisaatio**

Järjestämällä verkkoyhtiön organisaatio sellaiseksi, että se toimii suuremmassakin vikatilanteessa, voidaan vähentää haittojen vaikutusta ja vikojen kestoaikaa. Senerin verkostosuosituksessa (Sener 02) on annettu ohjeet sille, kuinka organisaation tulisi suurhäiriötilanteessa olla järjestäytyneenä. Avaintehtäviä vikatilanteessa ovat vikailmoitusten vastaanotto, valvomotyöskentely, vikojen etsintä ja korjaus, maastotöiden johto sekä tiedottaminen.

Verkostosuosituksen (Sener 02) mukaan työaikana vikailmoitukset vastaanottaa puhelinvaihte, joka ohjaa ne valvomoon tai paikalla olevalle tekniselle henkilöstölle. Työajan ulkopuolella vikailmoitusten vastaanottoa hoitaa päivystysryhmä. Suurhäiriötilanteessa päivystäjä tai valvomotoiminnasta vastaava henkilö käynnistää suurhäiriöorganisaation ottamalla ensin yhteyttä käytön johtajaan. Työajan ulkopuolella organisaatio käynnistetään hälyttämällä henkilöstöä puhelimitse töihin. Valvomossa työskentelee verkoston käyttö- ja suunnitteluhenkilöstö, vikojen etsinnässä ja korjauksessa toimii verkonrakennushenkilöstö, maastotöiden johdosta huolehtii valvomohenkilöstö ja tiedottamista hoitaa tiedotusvastaava ja toimitusjohtaja. Tarvittaessa valvomossa työskentelee verkkopalvelun ulkopuolinen teknisen koulutuksen saanut henkilöstö, vikojen etsinnässä ja korjaamisessa toimii muu tekninen henkilöstö ja ulkopuoliset kumppanit, maastotöiden johdosta huolehtii työpäällikkö ja työnjohto ja tiedottamista hoitavat osastovastaavat.

Vuoden 2001 Janika-myrskyssä Etelä-Suomen Energian pienjänniteverkkoon tuli noin 1 500 vikaa ja puita kaatui yli 2 000 kappaletta. Yhtiön oman henkilökunnan lisäksi korjaustehtävissä toimivat emoyhtiö Keravan Energian asentajat, pelastuslaitoksen työntekijöitä, metsänraivaajia sekä sähköurakointiliikkeen työntekijöitä. Jälkikäteen yhtiössä arveltiin, että tuhoja olisi voinut olla korjaamassa suurempikin määrä ihmisiä. Nyt viankorjaus- ja raivaustyöt kestivät suurjännitepuolella kaksi vuorokautta ja kaikkien vakituisten pienjänniteasiakkaiden sähköt saatiin palaamaan muutama vuorokausi tämän jälkeen. (Sener)

Janika-myrsky opetti Etelä-Suomen Energialle, että viestintäyhteyksien ja huollon on pelattava. Reservejäkin pitäisi olla ja jonkun on johdettava operaatiota. Yhtiön kokemuksen mukaan tiedotukseen kannattaa panostaa enemmän, vaikka paikallisradio ja -lehti olivatkin jo mukana kuvassa. Asiakaspalautteiden mukaan pahin ongelma vikatilanteessa oli se, että puhelinlinjat sähköyhtiöön tukkeutuivat. Prosessin aikana yhtiössä opittiin myös se, että vikailmoitukset otetaan järjestelmällisesti vastaan. (Sener)

Etelä-Suomen Energian valmiutta on Janika-myrskyn jälkeen kasvatettu myös lisäämällä kalustoa ja tiivistämällä yhteistyötä pelastuslaitoksen kanssa. Kaikki raivaajat eivät tunne sähköverkkoa, jolloin saattaa syntyä vaaratilanteita. Tärkeää onkin opastaa ulkopuolinen työvoima jo etukäteen työhön, jotta suurhäiriön selvittäminen sujuisi vaaratilanteita. Naapuriyhtiöidenkin kanssa yhtiö on käynyt keskusteluita siitä, kuinka tulevaan voidaan varautua yhteistyössä. (Sener)

Vuoden 2004 Loviisassa Rafael-myrskyn jälkiä korjaamassa oli kaikki Kymenlaakson Sähkö Oy:n saatavilla olevat työntekijät eli melkein 60 henkeä. Talvimyrsky katkaisi sähköt lähes tuhannelta taloudelta Loviisan seudulla. Pääosin sähköt saatiin palautettua vuorokauden sisällä. (Loviisan Sanomat)

### **4.3 Kunnossapito**

Sähköturvallisuussäädökset korostavat sähkölaitteiston haltijan vastuuta siitä, että laitteisto pysyy jatkuvasti turvallisena. Kunnossapito koostuu ennakoivista, korjaavista tai parantavista toimista. Ennakoivaa kunnossapitoa tehdään suunnitelmien mukaisesti, jotta estettäisiin laitteiden rikkoutuminen ja saataisiin laitteet pysymään hyvässä



kunnossa. Korjaavassa kunnossapidossa korjataan tai vaihdetaan rikkoutuneita laitteiston osia ja palautetaan laitteiston toiminta ennalleen. Parantavassa kunnossapidossa parannetaan laitteiston ominaisuuksia ja sitä voidaan tehdä joko ennakoivan tai korjaavan kunnossapidon yhteydessä. (Lakervi)

Kunnossapito-ohjelmassa tulee kiinnittää huomiota mm. laitteiston siisteyteen ja puhtauteen, ylivirtasuojauksen toimivuuteen ja suojalaitteiden asetteluarvoihin, maadoitus- ja suojajohdinpiirien kuntoon, laitteiden koteloinnin ja kosketussuojauksen kuntoon ja riittävyteen, sähkötilojen lukitusten varmistamiseen sekä kaavioihin, merkintöihin ja varoituskilpiin. (Lakervi)

Kaikille luokitelluille sähkölaitteistoille on asuinrakennuksia lukuun ottamatta tehtävä haltijan omien kunnossapitotarkastusten lisäksi määräaikaistarkastuksia. Verkonhaltijalle määräaikaistarkastus tehdään enintään viiden vuoden välein. Määräaikaistarkastuksissa on tarkoitus tarkistaa, että sähkölaitteiston käyttö on turvallista, laitteistolle on tehty huolto- ja kunnossapito-ohjelman mukaiset toimenpiteet, hoitoon ja käyttöön tarvittavat välineet, piirustukset, kaaviot ja ohjeet ovat käytettävissä sekä laajennus- ja muutostöistä on asianmukaiset tarkastuspöytäkirjat. (Lakervi)

Ennakoivalla ja korjaavalla kunnossapidolla varmistetaan laitteistojen toiminta ja estetään laitteistojen ylimääräiset vikaantumiset suurihäiriössä. Suurihäiriössä mm. erottimien ja suojien toiminta on tärkeää, jotta varasyöttöyhteyksiä päästään käyttämään mahdollisuuksien mukaan ja jotta työskentely vika-alueilla on turvallista. Myös johtokatuja pitämisen puuvarmoina on osa verkon kunnossapitoa. Se ehkäisee puiden kaatumista johtojen päälle ja pienentää siten suurihäiriön laajuutta. Pylväiden kunnon valvonta ja huonokuntoisten pylväiden vaihtaminen uusiin pienentää pylväiden kaatumista ja hajoamista puuskaisilla tuulilla.

Kainuun Energialla Tenhon päivän jääkuormien aiheuttamien katkosten keskimääräinen katkosaika oli kuutisen tuntia ja pisin sähkökatkos kesti runsaat 22 tuntia. Vikojen korjauksia vaikeutti pimeys ja teiden liukkaus. Häiriötilanteen laajuutta rajoitti kuitenkin edeltävinä viikkoina tehty ennakoiva työ, jossa johtokaduilta poistettiin runsaasti lumen painamia puita. (Kainuun Energia)



## **5 Esimerkki suurhäiriön vaikutuksesta sähköverkon kehittämisstrategioihin**

Tilaustutkimusraportissa (Partanen 06) on tehty Suur-Savon Sähkö Oy:n (SSS Oy) tarkastelualueen jakeluverkolle erilaisia kehittämissuunnitelmia. Suunnitelmien lähtökohtana oli nykyverkko, jota muutettiin eri kehitysvaihtoehtojen mukaisesti mahdollisimman kustannustehokkaasti. Tässä esimerkissä esitellään tutkimusraportissa käsitellyistä kehittämistarkasteluista nykyverkko, optimoitu keskijänniteverkko, optimaalinen verkko sekä täysin maakaapeloitu verkko. Tarkastelun kohteena olleessa verkossa verkkopituus asiakasmäärää ja siirrettyä energiaa kohti ovat hieman keskimääräistä suurempia, joten koko maata koskevat keskimääräiset lisäkustannukset täysin maakaapeloitujen verkkojen ratkaisuihin ovat hieman esimerkissä esitettyjä lukuarvoja pienemmät.

### **5.1 Kehittämisvaihtoehdot**

Esimerkissä on käsitelty kolmea erilaista verkkoa ja niiden kustannuksia. Käsitellyt verkot ovat nykyverkko, optimoitu keskijänniteverkko sekä optimaalinen verkko.

#### *5.1.1 Nykyverkko*

Nykyverkko pidetään sekä sijaintipaikaltaan että rakenteellisesti ennallaan, mutta pienimpänä keskijännitejohtolajina käytetään Ravenia ja 400 V pienjänniteverkossa vielä olevat avojohdot vaihdetaan AMKA-riippukierrehodoksi. Nykyisistä keskijännitejohdoista 64 % sijaitsee metsässä, 14 % pellolla ja 22 % tienlaidassa. Suurhäiriötilanteen alkuvaiheessa nykyverkon asiakkaista ilman sähköä on 40...95 % myrskyn tasosta riippuen.

#### *5.1.2 Optimoitu keskijänniteverkko*

Optimoitu keskijänniteverkko rakennetaan teknistaloudellisen optimoinnin pohjalta. Soveltuvien keskijännitehaarajohtojen korvaamiseen käytetään 1 000 V pienjänniteverkkoa, joka suunnitellaan osana keskijänniteverkkoa. 0,4 kV pienjänniteverkon rakenteita ja johtoreittejä ei muuteta, vaan ne pysyvät samanlaisina kuin nykyverkossa. Verkon ilmajohtot siirretään metsästä tien varteen, mutta nykyiset pelto-osuudet säilytetään ennallaan. 80 % 1 000 V verkosta rakennetaan auringon avulla

asetettavalla maakaapelilla, johon suurhäiriöllä ei oleteta olevan vaikutusta. Suurhäiriötilanteessa asiakkaista pahimmillaan 38...83 % on sähköttä myrskyn tasosta riippuen.

### *5.1.3 Optimaalinen verkko*

Optimaalisessa verkossa sekä keski- että pienjänniteverkko optimoidaan teknistaloudellisin perustein. Keskijänniteverkon ja 1 000 V verkon osalta ratkaisu vastaa optimoitua keskijänniteverkkoa, mutta nyt on myös 0,4 kV pienjänniteverkon rakennetta muutetaan. Kokonaisuudessaan pienjänniteverkosta 83 % kaapeloidaan auaustekniikalla. Maakaapeliverkkoon suurhäiriöllä ei oleteta olevan vaikutusta. Suurhäiriötilanteessa asiakkaista pahimmillaan 34...70 % on sähköttä myrskyn tasosta riippuen.

## **5.2 Suurhäiriökustannukset**

Taulukossa 2 on esitetty esimerkissä käytetyt vuonna 2006 määritetyt odottamattoman keskeytyksen asiakasryhmäkohtaiset KAH-parametrit. Taulukossa 7 on esitetty suurhäiriön kertakustannukset viankorjaus-, KAH-, vakiokorvaus- sekä kokonaiskustannuksena ja selvitysajat nykyverkolle, optimoidulle keskijänniteverkolle sekä optimaaliselle verkolle kolmessa eri suurhäiriöluokassa.

Taulukko 7. Suurhäiriön kertakustannukset ja selvitysajat eri verkkoratkaisuille.

		<b>Kustannus</b>			
		<b>[k€/ kpl]</b>	<b>Luokka I</b>	<b>Luokka II</b>	<b>Luokka III</b>
<b>Nyky- verkko</b>	Viankorjaus		111	337	1 348
	KAH		1 019	1 829	25 430
	Vakiokorvaus		154	310	3 623
	Yhteensä		1 284	2 477	30 400
	Kesto aika [h]		48	113	410
<b>Optimoitu keski- jännite- verkko</b>	Viankorjaus		89	269	1 078
	KAH		871	1 700	17 985
	Vakiokorvaus		126	287	2 932
	Yhteensä		1 085	2 256	21 994
	Kesto aika [h]		40	90	328
<b>Optimi- verkko</b>	Viankorjaus		60	181	722
	KAH		578	1 555	10 684
	Vakiokorvaus		55	260	2 021
	Yhteensä		693	1 995	13 428
	Kesto aika [h]		27	60	220

Luokan III suurhäiriön laskennallinen kertakustannus optimiverkkoratkaisussa on noin 13,5 miljoonaa euroa, kun se nykyverkossa on noin 30,4 miljoonaa euroa. Optimiverkon vuotuiset investointikustannukset ovat lisäksi taulukon 7 mukaisesti nykyverkon vuotuisia investointikustannuksia pienemmät, jolloin siirtyminen nykyverkosta optimiverkkoon on taloudellisesti kannattavaa. Optimiverkkoa voidaankin pitää tarkastelualan tulevaisuuden verkkoratkaisuna. Jos suurhäiriöiden vaikutuksilta halutaan välttyä täysin, on koko verkko maakaapeloitava, jolloin yksittäisen luokan III suurhäiriön kustannukset ovat optimiverkkoon nähden noin 13,4 miljoonaa euroa pienemmät. Tällöin verkkorakenteen jälleenhankinta-arvo kasvaa kuitenkin noin 41 miljoonaa euroa, eikä yksittäisen suurhäiriön eliminointi siten kata maakaapeloinnin verkkoinvestointeihin tarvittavaa rahamäärää. On kuitenkin korostettava, että suurhäiriön kustannusten laskentaan ja esiintymistäajuuteen liittyy suuria epävarmuuksia.

Taulukossa 8 on esitetty eri verkkoratkaisujen suurhäiriöiden vuosittaiset korjaus-, KAH- ja vakiokorvauskustannukset. Luvussa 5.1.1 mainittujen verkon kehittämismuutosten lisäksi mukaan vertailuun on otettu täysin maakaapeloitu verkko, johon suurhäiriöllä ei oleteta olevan vaikutusta.

Taulukko 8. Verkkoratkaisujen vuosittaiset suurhäiriökustannukset.

<b>Verkkoratkaisu</b>	<b>Korjaus [k€a]</b>	<b>KAH [k€a]</b>	<b>Vakiokorvaus [k€a]</b>
<b>Nykyverkko</b>	52,5	549,6	82,5
<b>Optimoitu kj-verkko</b>	42,0	439,0	68,8
<b>Optimiverkko</b>	28,2	300,2	44,3
<b>Maakaapeliverkko</b>	0	0	0

Suurhäiriökustannuksilla on merkittävä vaikutus eri verkkoratkaisujen keskinäiseen kannattavuusjärjestykseen. Koska suurhäiriöllä ei ole vaikutusta maakaapeloituun jakeluverkkoon, voidaan todeta, että tehokkain keino lyhentää keskeytysaikaa ja siten pienentää vikojen kustannuksia on verkon maakaapelointi.

Suurhäiriöiden hinnoitteluun liittyy paljon epävarmuutta, josta suurin osa syntyy häiriöiden huonosta ennustettavuudesta. Samantasoisilta vaikuttavat myrskyt voivat eri kerroilla ja eri alueilla aiheuttaa aivan erilaisia tuhoja. Eräs virhe suurhäiriön hinnoitteluun syntyy KAH-arvoista, koska ne on tarkoitettu kestoltaan korkeintaan muutamien tuntien luokkaa olevien keskeytysten hinnoitteluun ja pidemmissä keskeytyksissä keskeytyksestä voidaan katsoa aiheutuvan asiakkaalle suurempaa haittaa. Kuitenkin jo nykyisillä KAH-parametreilla, jotka ovat kaksinkertaistuneet viimeisen 10 vuoden aikana, KAH-kustannus on kaikilla suurhäiriöluokilla hallitseva osa suurhäiriökustannusta.

### 5.3 Kustannuslaskelmat

Verkkoratkaisun vuosittainen kustannusvaikutus on verkkoyhtiölle aiheutuvien reaalikulujen summa. Pitkällä aikavälillä reaalikulut muodostuvat vuosi-investoinnin, vuosittaisten operatiivisten kulujen (OPEX) ja vuotuisten rahoituskulujen summasta. Taulukossa 9 on esitetty eri verkkoratkaisujen jälleenhankinta-arvot (JHA), eritellyt reaalikulut, kustannusvaikutukset, keskeytyskustannukset, suurhäiriökustannukset sekä odotettavissa olevat kokonaisvuosikustannukset 40 vuoden pitoajalla.

Taulukko 9. Verkkoratkaisujen jälleenhankinta-arvot, reaalikulut eriteltynä, kustannusvaikutus, keskeytyskustannukset, suurhäiriökustannukset ja odotettavissa olevat kokonaisvuosikustannukset. Yksikkönä k€a ellei toisin mainittu.

Verkko- ratkaisu	JHA [k€]	Vuosi			Rahoitu s 40 a	Kustannus - vaikutus	Keskey - tykset	Suur- häiriö t	Yht.
		- invest.	OPE X						
<b>Nyky- verkko</b>	59 328	1 483	347	1 483	<b>3 314</b>	611	685	<b>4 610</b>	
<b>Optimoitu kj-verkko</b>	57 001	1 426	335	1 425	<b>3 185</b>	323	550	<b>4 058</b>	
<b>Optimi- verkko</b>	46 459	1 161	273	1 161	<b>2 596</b>	323	373	<b>3 292</b>	
<b>Maa- kaapeli- verkko</b>	87 747	2 194	167	2 194	<b>4 555</b>	60	0	<b>4 615</b>	

Verkkoratkaisujen kustannusvaikutus heijastuu suoraan siirtohinnaan. Siirtohinnan muutos määritetään vähentämällä kehitysvaihtoehdon kustannusvaikutuksesta nykyverkon kustannusvaikutus 40 vuoden investointijaksolla. Näin saadut muutosta kuvaavat kustannukset jaetaan alueen vuosienergialla, jolloin saadaan asiakkaan siirtohinnan muutos. Taulukossa 10 on esitetty verkkomuutosten investoinneista asiakkaille 10, 20, 30 ja 40 vuoden investointijaksoilla aiheutuva siirtohinnan muutos [snt / kWh] investointijakson lopussa. Investointijakson lyhentämisen seurauksena mahdolliset puretusta verkko-osasta jääneet tasepoistot lisäävät osaltaan verkon kehittämisen kustannusvaikutuksia.

Taulukko 10. Eri verkkoratkaisuista asiakkaille aiheutuvat siirtohinnan muutokset eri investointijaksoilla.

Verkkoratkaisu	Siirtohinnan muutos [snt / kWh], kun investointijakso on			
	10 a	20 a	30 a	40 a
Nykyverkko	0	0	0	0
<b>Optimoitu kj- verkko</b>	0,05	-0,08	-0,08	-0,08
<b>Optimiverkko</b>	0,6	-0,08	-0,43	-0,44
<b>Maakaapeliverkko</b>	2,52	1,68	1,04	0,75

Kokonaan kaapeloiduissa ja hyvin suunnitelluissa verkoissa vikojen maksimikesto aika rajoittuu sääoloista riippumatta muutamiin tunteihin. Suurhäiriöiden aiheuttamat kustannukset eivät kuitenkaan yksinään riitä perusteeksi koko jakeluverkon maakaapeloinnille. Esimerkkialueella kaikkien johtojen kaapelointi 40 vuoden investointijaksolla johtaisi noin 1 snt / kWh siirtotariffin hinnannousuun. Nykyinen siirtokustannus raportissa esitetyllä laskentatavalla määritettynä on noin 2 snt / kWh.

#### 5.4 Johtopäätökset

Suur-Savon Sähkö Oy:n tarkastelualueella suurhäiriöiden vaikutuksia voidaan vähentää esimerkiksi verkkorakenteita muuttamalla. Verkkorakenteiden muuttaminen kasvattaa vuotuisia verkkoinvestointeja huomattavasti, minkä takia joudutaankin miettimään, minkä tasoiseen suurhäiriöön on järkevä varautua vastaamaan verkkorakentein, ja mikä tällöin saa olla maksimikeskeytysaika.

Suurhäiriöiden aiheuttamia keskeytyskustannuksia ja keskeytysaikaa voidaan pienentää myös viankorjausorganisaation kokoa kasvattamalla. Tilastoitujen suurhäiriötilanteiden perusteella yleiseksi korjauskapasiteetiksi SSS Oy:n alueella on päädytty käyttämään 1 vika / henkilö, d. Tämä vastaa luokan II myrskyn tapauksessa noin 200 hengen korjaushenkilöstöä, kun viat on korjattu alle 5 vuorokaudessa. Samalla periaatteella on luokan I myrskyn tapauksessa viankorjaushenkilöstön määrä noin 150 henkeä ja luokan III myrskyn tapauksessa noin 220 henkeä.



Luokan I ja II suurhäiriötilanteessa korjaushenkilöstön kolminkertaistaminen pienentäisi verkolta vaadittavaa kaapelointiastetta huomattavasti, mutta luokan III suurhäiriöön varautuminen edellyttää verkon laajamittaista kaapelointia, vaikka korjaushenkilöstön kolminkertaistaminen pienentääkin verkolta vaadittavaa kaapelointiastetta jonkin verran. Henkilöstön moninkertaistaminen on todellisuudessa vaikeaa, ja henkilöstön kasvattaminen aiheuttaa kuluja, jotka ovat verrannollisia verkkoinvestointeihin. Haluttaessa tehokkaasti vähentää keskeytysaikaa ja -kustannuksia, tarvitaan organisaation lisäksi verkkoinvestointeja.

Koska verkossa on edelleen paljon avojohtotyypisiä johtorakenteita, voivat suuret myrskyt ja lumikuormat aiheuttaa pitkiä katkoksia. Suurhäiriöihin varauduttaessa ainoa todellinen keino lyhentää keskeytysaikaa ja pienentää vikojen määrää on verkon maakaapelointi.

Kokonaan kaapeloiduissa ja hyvin suunnitelluissa verkoissa vikojen maksimikesto aika rajoittuu pahoissakin sääoloissa muutama tuntiin. Jos suurhäiriökustannuksia ei otettaisi huomioon, olisi maakaapelointi selvästi muita vaihtoehtoja kalliimpi ratkaisu. Siirryttäessä tavoiteverkkoon tasaisella investointitahdilla 40 vuodessa, muuttuu maakaapeliverkko suurhäiriökustannukset huomioitaessa kannattavaksi, kun KAH-arvot ovat 2,5 kertaa nykyisten KAH-arvojen suuruiset ja siirtymäajan kustannuksia ei ole huomioitu.

Suurhäiriöiden aiheuttamat kustannukset eivät kuitenkaan yksinään riitä perusteeksi koko jakeluverkon maakaapeloinnille, sillä tämä johtaa siirtohintojen selvään nousuun. Kaikille suurhäiriön haittavaikutusten pienentämiseksi tarvittaville investoinneille ei nykyisillä eikä kaksinkertaisillakaan KAH-arvoilla löydy taloudellista perustetta, mikä on huomioitava verkkoliiketoiminnan valvontamalleja kehitettäessä. Myös haluttaessa nopeaa alle 20 vuodessa tapahtuvaa verkkomuutosta, on käyttökelpoisten johtojen purkamisen aiheuttamat alaskirjaukset taseissa otettava valvontamalleissa huomioon hyväksyttävänä kustannuseränä.

## 6 Yhteenveto

Suurhäiriöistä aiheutuu verkkoyhtiöille erilaisia kuluja korjaus-, keskeytys- ja vakiokorvauskustannusten muodossa. Suurhäiriöihin ja niiden vaikutuksiin voidaan varautua verkkoa kehittämällä tai miehistöä lisäämällä. Suurhäiriöihin varauduttaessa ainoa todellinen keino lyhentää keskeytysaikaa ja vähentää vikojen määrää ja siten pienentää suurhäiriökustannuksia on verkon maakaapelointi, joka kuitenkin kasvattaa verkon investointikuluja.

Suurhäiriöiden hinnoitteluun liittyy paljon epävarmuutta, josta suurin osa syntyy häiriöiden huonosta ennustettavuudesta. Samantasoisilta vaikuttavat myrskyt voivat eri kerroilla ja eri alueilla aiheuttaa aivan erilaisia tuhoja. Eräs virhe suurhäiriön hinnoitteluun syntyy KAH-arvoista, jotka on tarkoitettu korkeintaan muutamien tuntien keskeytysten hinnoitteluun ja pidemmissä keskeytyksissä keskeytyksestä voidaan katsoa aiheutuvan asiakkaalle suurempaa haittaa.

Koska sähkön laatua valvotaan eri säädöksin ja koska suurhäiriöistä aiheutuu verkkoyhtiöille kustannuksia, tulisi verkkoyhtiöiden tarkkaan määrittää verkon kehittämisvaihtoehdot kustannuksineen ja vertailla niitä suurhäiriöistä aiheutuviin kustannuksiin parhaan ja taloudellisimman ratkaisun saamiseksi.

## LÄHDELUETTELO

- (EMV 01) Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut vuodelta 2001. [Viitattu 30.6.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=239&pgid=196](http://www.muodossa: http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=239&pgid=196)
- (EMV 05) Lausunto KTM:lle vakiokorvauslainsäädännön kehittämistarpeesta (21.4.2005). [Viitattu 28.7.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=956&pgid=203](http://www-muodossa: http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=956&pgid=203)
- (EMV 06) Sähköverkkotoiminnan tunnusluvut vuodelta 2006. [Viitattu 30.6.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=1466&pgid=69](http://www.muodossa: http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=1466&pgid=69)
- (EMV 07) EMV kannustaa sähköverkonhaltijoita parantamaan sähkön laatua ja tehostamaan toimintaansa (17.12.2007). [Viitattu 8.8.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=1470&pgid=229](http://www.muodossa: http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=1470&pgid=229)
- (Energiateollisuus) Selvitys Gudrun-myrskyn vahingoista, Energimyndigheten 19.5.2005. Energiateollisuus. Internetsivusto. [Viitattu 19.8.2008] <http://www.energia.fi/fi/ajankohtaista/energiiauutisia/selvitysgudrun-myrskynvahingoista,energimyndigheten19.5.2005.html>
- (Forstén 02) Forstén, J. Sähkön toimitusvarmuuden parantaminen: selvitysmiehen raportti. Kauppa- ja teollisuusministeriö, 2002, 50 s. 951-739-682-1.

- (Honkapuro 06) Honkapuro, S., Tahvanainen, K., Viljainen, S., Lassila, J., Partanen, J., Kivikko, K., Mäkinen, A., Järventausta, P. DEA-mallilla suoritettavan tehokkuusmittauksen kehittäminen. Raportti 2006. [Viitattu 26.01.2007]. Saatavilla www-muodossa: [http://www.emvi.fi/files/DEA-jatkokehitys\\_LUT\\_20061208.pdf](http://www.emvi.fi/files/DEA-jatkokehitys_LUT_20061208.pdf)
- (If) Gudrun-myrsky ja sen vaikutukset. If. Internetsivusto. [Viitattu 19.8.2008] <http://ifnews.if.fi/fi/tiedote/ajankohtaista/gudrun-myrsky-ja-sen-vaikutukset.html>
- (Ilmatieteenlaitos) Suomen myrskyt. Ilmatieteenlaitos. Internetsivusto. [Viitattu 12.8.2008] [http://www.fmi.fi/saa/tilastot\\_21.html](http://www.fmi.fi/saa/tilastot_21.html)
- (Järventausta 05) Järventausta, P., Mäkinen, A., Kivikko, K., Partanen, J., Lassila, J., Viljainen, S. Sähköverkon kehittämisveloitteen arviointi käyttövarmuuden näkökulmasta. Energiamarkkinaviraston julkaisuja 1/2005. [Viitattu 08.11.2006]. Saatavilla www-muodossa: [http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Kehittamisveloite\\_1-2005.pdf](http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Kehittamisveloite_1-2005.pdf)
- (Kainuun Energia) Kainuun Energia. Internetsivusto. [Viitattu 11.01.2007]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.taustavoimaa.fi/index.htm](http://www.taustavoimaa.fi/index.htm)
- (Lakervi) Lakervi, E., Partanen, J. Sähköjälkelutekniikka. Kurssikirja. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press. 2008. ISBN 978-951-672-357-3

- (Loviisan Sanomat) Loviisan Sanomat. Rafael-myrskyn jälkiä korjattiin pitkälle yöhön. 28.12.2004. Internetsivusto. [Viitattu 11.11.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.loviisansanomat.net/lue.php?id=1041>
- (Partanen 06) Partanen, J., Lassila, J., Kaipia, T., Matikainen, M., Järventausta, P., Verho, P., Mäkinen, A., Kivikko, K., Pylvänäinen, J., Nurmi, V.-P. Sähkönjakeluverkkoon soveltuvat toimitusvarmuuskriteerit ja niiden raja-arvot sekä sähkönjakelun toimitusvarmuudelle asetettavien toiminnallisten tavoitteiden kustannusvaikutukset. Tilaustutkimusraportti 2006. [Viitattu 11.11.2008]. Saatavilla www-muodossa: [http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical\\_engineering/research/electricitymarkets/research/networkbusiness/Sivut/Default.aspx](http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/research/electricitymarkets/research/networkbusiness/Sivut/Default.aspx)
- (Sener) Sähkön vuosi 2001-2002. Sähköenergialiitto ry. Internetsivusto. [Viitattu 12.7.2008] <http://www2.energia.fi/sener/sahkonvuosi2001/index.html>
- (Sener 02) Sähköenergialiitto ry. Verkostosuositus ya 7:02 Sähköverkkoyhtiön toiminta suurhäiriöissä.
- (Silvast 05) Silvast, A., Heine, P., Lehtonen, M., Kivikko, K., Mäkinen, A., Järventausta, P. Sähkönjakelun keskeytyksestä aiheutuva haitta. Raportti 2005. [Viitattu 08.11.2006]. Saatavilla www-muodossa: [http://powersystems.tkk.fi/KAH-loppuraportti\\_951-22-8032-9.pdf](http://powersystems.tkk.fi/KAH-loppuraportti_951-22-8032-9.pdf)
- (Silvast 06) Silvast, A. Keskeytyksestä kritiikkeihin: sähkönjakelun häiriöiden kokemuksia ja kohtaamisia. Pro gradu -tutkielma.

2006. [Viitattu 08.11.2006]. Saatavilla [www-muodossa:ethesis.helsinki.fi/julkaisut/val/sosio/pg/silvast/keskeyty.pdf](http://www-muodossa:ethesis.helsinki.fi/julkaisut/val/sosio/pg/silvast/keskeyty.pdf)

(Sähkömarkkinalaki) Sähkömarkkinalaki 27 f §. Vakiokorvaus verkkopalvelun keskeytymisen vuoksi. [Viitattu 10.01.2007]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/sahkomarkkinalaki\\_386-1995.pdf](http://www-muodossa:http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/sahkomarkkinalaki_386-1995.pdf)

(Sähkömarkkinat) Opintojakson *Sähkömarkkinat* materiaalit. Saatavilla [www-muodossa: http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2710400/](http://www-muodossa:http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2710400/)

(Turunen 06) Turunen, T., Hirvonen, R., Jauhiainen, M., Kinnunen, M., Lehtinen, H., Lehtisalo, T., Rajala, A., Sandholm, P., Seppälä, P., Turkki, J., Öhman, L. Sähkönjakelun toimitusvarmuuden kehittäminen: Sähkön jakeluhäiriöiden ehkäisemistä ja jakelun toiminnallisia tavoitteita selvittäneen työryhmän raportti. 2006. [Viitattu 10.01.2007]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.ktm.fi/files/17096/Sahkokatkostyoryhman\\_raportti.pdf](http://www-muodossa:http://www.ktm.fi/files/17096/Sahkokatkostyoryhman_raportti.pdf)