



**SÄHKÖNSIIRTOVERKON  
HÄIRIÖKESKEYTYSTEN AIHEUTTAMAN HAITAN  
ARVIOINNISSA KÄYTETTÄVIEN PARAMETRIEN  
PÄIVITTÄMINEN**

Antti Mäkinen, Juhani Bastman, Pertti Järventausta, Pekka Verho, Sami Repo  
Tampereen teknillinen yliopisto

Samuli Honkapuro, Jarmo Partanen  
Lappeenrannan teknillinen yliopisto

## **Alkulause**

Tässä raportissa esitetään 'Siirtoverkon keskeytysten aiheuttaman haitan arviointiparametrien päivittäminen' selvitystyön keskeiset julkiset tulokset. Tutkimus on toteutettu Tampereen teknillisen yliopiston Sähköenergiatekniikan laitoksella ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston Sähkötekniikan osastolla Sähkömarkkinalaboratoriossa. Tutkimus alkoi vuoden 2008 keväällä ja valmistui keväällä 2009.

Tampereen teknillisessä yliopistossa tutkimusryhmään ovat kuuluneet professori, TkT Pertti Järventausta, professori, TkT Pekka Verho, TkL Antti Mäkinen, TkL Juhani Bastman sekä TkT Sami Repo. Tutkimuksen vastuutahona on toiminut Tampereen teknillinen yliopisto ja vastuullisena johtajana professori Pertti Järventausta sekä projektipäällikkönä TkL Antti Mäkinen. Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa työn toteuttamiseen on osallistunut tutkimusryhmä, johon ovat kuuluneet professori, TkT Jarmo Partanen ja dipl.ins. Samuli Honkapuro.

Tutkimuksen tilaajina ja rahoittajina ovat olleet Energiamarkkinavirasto (EMV) ja Fingrid Oyj (Fingrid). Johtoryhmätyöhön rahoittajien puolelta ovat osallistuneet Ritva Hirvonen ja Markku Kinnunen EMV:stä sekä Jussi Jyrinsalo, Matti Lahtinen ja Matti Tähtinen Fingridistä. Haastattelujen yhteydessä tutkijat tapasivat lisäksi useita kymmeniä muita eri yritysten edustajia.

Kiitämme kaikkia selvitystyön tekemistä edesauttaneita henkilöitä ja yrityksiä.

Huhtikuussa 2009

Tekijät

## Tiivistelmä

Sähkön toimituksen keskeytyksen aiheuttamaa haittaa (KAH) voidaan arvostaa rahamääräisenä arvona, jonka suuruus vaihtelee riippuen keskeytyksen kokoneesta sähkökäyttäjistä sekä keskeytyksen ajankohdasta ja pituudesta.

Energiamarkkinavirasto (EMV) soveltaa taloudellisessa valvonnassa liittymispistekohtaisesti laskettuja KAH-arvoja ja tällöin keskeytysten lukumäärien sekä kestoajkojen lisäksi olennainen tieto on liittyjille erityyppisistä ja eri ajankohtina sattuvista keskeytyksistä koituva haitta. Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj käyttää KAH-arvoja myös omassa toiminnassaan Koska käytössä olleet kantaverkon KAH -arvojen laskennassa käytetyt parametrit ovat yli 20 vuotta vanhoja ja sähkön käyttö sekä kuluttajien riippuvuus sähköstä ovat muuttuneet vuosikymmenien kuluessa, oli tarpeen käynnistää tutkimus, jonka tavoitteena on ollut tuottaa ajantasainen tieto keskeytysten aiheuttamasta haitasta eripituisille katkoksille ja erilaisille siirtoverkon kulutuksille.

Tässä raportissa esitetään ”Siirtoverkon keskeytysten aiheuttaman haitan arviointiparametrien päivittäminen” –selvitystyön keskeiset julkiset tulokset. Tutkimus toteutettiin Tampereen teknillisen yliopiston Sähköenergiatekniikan laitoksen ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston Sähkömarkkinalaboratorion yhteistyönä.

Tässä raportissa esitettävän tutkimuksen tavoitteita ovat olleet:

- Tuottaa päivitetty ja ajantasaiset KAH-arvot erityyppisille kantaverkon kulutuksille.
- Luoda menetelmät, joilla yksittäisen liittyjän KAH-arvo voidaan tarvittaessa luotettavasti ja puolueettomasti arvioida.
- Kehittää menetelmä, jolla keskimääräisiä KAH-arvoja voidaan tulevina vuosina päivittää kevyemmällä kyselyllä.

Raportissa esiteltäviä tutkimuksen osatehtäviä ovat olleet:

- Kirjallisuustutkimus, jossa käytiin läpi vuonna 2005 valmistunut sähkönjakelun keskeytyksestä aiheutuvaa haittaa koskeva tutkimuksen sisältö ja sen jälkeen ilmestynyt materiaali käytettyjen arviointimenetelmien näkökulmasta.
- Erityyppisten kantaverkkoon liittyvien asiakkaiden haastattelut, jotka perustuivat osana tutkimuksen toteutusta määriteltyyn haastattelulomakkeeseen. Haastateltavat kohteet edustivat erilaista teollisuuskulutusta ja jakeluverkkoyhtiöitä.
- Tulosten analysointi, jonka perusteella määritettiin KAH-arvojen laskentaan soveltuvat parametrit erityyppisille kantaverkon kulutuksille.
- Menetelmät, joiden avulla KAH-arvojen parametreja voidaan päivittää vuosittain (esim. jonkin yleisesti tunnetun indeksin perusteella).

Raportissa on esitelty menetelmä, jolla voidaan tuottaa päivitetty KAH-arvo yksittäiselle sähkökäyttäjälle perustuen osana tutkimuksen toteutusta määriteltyyn haastattelulomakkeeseen sekä erityyppisten kantaverkkoon liittyvien asiakkaiden haastatteluihin. Menetelmän avulla raportissa on määritetty KAH-arvot erityyppisille kantaverkon kulutuksille. Raportissa on lisäksi tarkastelu menetelmiä, joiden avulla KAH-arvojen parametreja voidaan päivittää vuosittain esimerkiksi jonkin yleisesti tunnetun indeksin perusteella. Lisäksi haastattelulomakkeesta

voitaisiin tehdä KAH-arvojen päivittämisen näkökulmasta olennaiset asiat sisältävä tiivistetympi ja pelkistetympi versio, joka voitaisiin kohdistaa merkittävästi suuremmalle sähkökäyttäjien joukolle kuin mitä nyt oli kohteena yksityiskohtaisemmissa haastatteluissa. Tällainen laajempi kysely rajattiin tällä kertaa kuitenkin hankkeesta pois.

Jakeluverkkojen osalta hyödynnettiin keskeytyksistä sähkökäyttäjille aiheutuvasta haitasta vuonna 2005 julkaistun selvityksen tuloksia.

Siirtoverkon häiriökeskeytysten aiheuttaman haitan laskentamallin osalta tutkimuksessa:

- Päivitettiin kulutuksen laadusta riippuvat teho- ja energiakertoimien arvot (€/kW ja €/kWh) kulutusryhmittäin.
- Määriteltiin arviointitapa häiriökeskeytyksen keston ja keskeytyvän tehon määrittämiselle siten, että se huomioi erityyppiset asiakkaat.
- Määriteltiin vuodenaika- ja vuorokaudenaikakertoimia kulutusryhmittäin.

## Sisällysluettelo

ALKULAUSE.....	2
TIIVISTELMÄ .....	3
SISÄLLYSLUETTELO .....	5
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>6</b>
1.1 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA OSATEHTÄVÄT.....	7
<b>2 KESKEYTYSHAITAN ARVIOINTIMENETELMÄT.....</b>	<b>8</b>
2.1 YLEISTÄ SÄHKÖKATKOJEN HAITTOJEN ARVIOINTIMENETELMISTÄ .....	8
2.2 KESKEYTYKSISTÄ AIHEUTUVIEN HAITTOJEN LAATU.....	9
2.3 KESKEYTYSHAITAN ARVIOINNIN MENETELMÄT.....	10
<b>3 KAH - ARVON LASKENTA FINGRIDISSÄ .....</b>	<b>12</b>
3.1 LASKENTAPERIAATTEET .....	12
3.2 KESKEYTYSKUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN.....	13
<b>4 SUORITETUT KYSELYT JA HAASTATTELUT .....</b>	<b>14</b>
4.1 TEOLLISUUS.....	14
4.1.1 Tehdasalueen sähkön syötön rakennemallien ja keskeytyshaittojen arviointi.....	15
4.2 SÄHKÖVERKKOYHTIÖT .....	18
4.2.1 Verkkoyhtiön alueen sähkön syötön rakennemallien ja keskeytyshaittojen arviointi.....	18
<b>5 TEOLLISUUDEN KAH-ARVOJA KOSKEVIEN TULOSTEN ANALYSOINTI.....</b>	<b>20</b>
5.1 MASSA- JA PAPERITEOLLISUUS .....	20
5.1.1 Tehdasalue P1.....	20
5.1.2 Tehdasalue P2.....	24
5.1.3 Tehdasalue P3.....	27
5.1.4 Yhteenveto massa- ja paperitehtaista.....	28
5.2 KEMIAN TEOLLISUUS .....	30
5.3 METALLITEOLLISUUS .....	33
5.3.1 Tehdasalue M1 .....	33
5.3.2 Tehdasalue M2.....	34
5.3.3 Tehdasalue M3.....	36
5.3.4 Yhteenveto metalliteollisuudesta.....	37
5.4 LIIKENNE .....	37
5.4.1 Henkilöiden ja rahdin kokemaan viivästymishaittaan perustuvat arvot .....	38
5.4.2 VR:n ja Ratahallintokeskuksen väliseen sanktiosopimukseen perustuvat haitat .....	40
5.5 PIENTEOLLISUUS.....	41
<b>6 SÄHKÖVERKKOYHTIÖITÄ KOSKEVAT TULOKSET .....</b>	<b>42</b>
<b>7 PARAMETRIEN PÄIVITTÄMINEN JATKOSSA.....</b>	<b>44</b>
<b>8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....</b>	<b>46</b>
8.1 KESKEYTYSKUSTANNUSTEN LASKENTAMALLI .....	46
8.2 KAH-PARAMETRIT .....	47
<b>LÄHDELUETTELO .....</b>	<b>50</b>
<b>LIITE 1 KAH-arvostusten lähtötietoja vuonna 2005 valmistuneen selvityksen pohjalta .....</b>	<b>52</b>

# 1 JOHDANTO

Sähkön toimituksen **keskeytyksen aiheuttamaa haittaa (KAH)** voidaan arvostaa rahamääräisenä arvona, jonka suuruus vaihtelee riippuen keskeytyksen kokoneesta sähkönkäyttäjistä sekä keskeytyksen ajankohdasta ja pituudesta.

Vuodesta 2008 alkavalla toisella valvontajaksolla keskeytysten aiheuttama haitta on mukana kantaverkkoyhtiön taloudellisessa valvonnassa. Energiamarkkinavirasto (EMV) soveltaa kantaverkon taloudellisessa valvonnassa liittymispistekohtaisesti laskettuja KAH-arvoja ja tällöin keskeytysten lukumäärien ja kestojen lisäksi olennainen tieto on erityyppisille liittyjille erityyppisistä ja eri ajankohtina sattuvista keskeytyksistä koituva haitta. Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj käyttää KAH-arvoja myös omassa toiminnassaan laatumittarina.

Käytössä olleet kantaverkon KAH-arvojen laskennassa käytetyt parametrit perustuivat pääosin Sähköntuottajien yhteistyövaltuuskunnan (STYV) vuonna 1979 julkaisemaan raporttiin [1]. Vuosikymmenten kuluessa sähkön käyttö sekä kuluttajien riippuvuus sähköstä ovat kuitenkin muuttuneet eivätkä käytössä olleet KAH-parametrit todennäköisesti enää vastaa riittävän hyvin todellisuutta. Edellä mainittujen seikkojen takia oli tarpeen käynnistää uusi selvitys, jonka tavoitteena on ollut tuottaa ajantasainen tieto keskeytysten aiheuttamasta haitasta erimittaisille katkoksille ja erilaisille siirtoverkon kulutuksille.

Keskeytysten aiheuttamasta haitasta tehtiin 90-luvun alussa laaja yhteispohjoismainen selvitys 'Kostnader för elavbrott', joka keskittyi sähkönjakeluverkkoon liittyneille asiakkaille aiheutuvan haitan arviointiin [2]. Selvityksessä analysoitiin sähkönkäyttäjiä, jotka jakautuivat kotitalouksiin, maatalouksiin, teollisuuteen, palveluun ja julkiseen kulutukseen. Tutkimuksen tuloksia on sen jälkeen käytetty laajasti lähtökohtana kehitettäessä jakeluverkkojen käyttövarmuutta.

Teknillinen korkeakoulu (TKK) ja Tampereen teknillinen yliopisto (TTY) tekivät viimeisimmän sähkönjakelun keskeytyksistä aiheutuvaa haittaa koskevan selvityksen vuosina 2004-2005 [3]. Tämä tutkimus keskittyi jakeluverkon kulutukseen ja on vain osittain käyttökelpoinen siirtoverkon keskeytyksien haittoja arvioitaessa.

Avojohtoverkostossa esiintyy ohimeneviä häiriöitä, jotka selvitetään automaattisilla jälleenkytkennöillä. Niistä voi aiheutua lyhyt minimissään alle sekunnin mittainen jännitekatko tai ainakin jännitekuoppa eli hetkellinen jännitteenalenema. Näiden haittavaikutuksia ei edellä mainituissa tutkimuksissa ole kartoitettu kattavasti.

Tässä raportissa esitetään 'Siirtoverkon keskeytysten aiheuttaman haitan arviointiparametrien päivittäminen' selvitystyön keskeiset julkiset tulokset. Työn luottamuksellisia ja yksityiskohtaisempia tuloksia on raportoitu rahoittajille lisäksi muussa erillisessä tulosaineistossa.

## 1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja osatehtävät

Tässä raportissa esitettävän tutkimuksen tavoitteita ovat olleet:

- Tuottaa päivitetty ja ajantasaiset KAH-arvot erityyppisille kantaverkon kulutuksille.
- Luoda menetelmät, joilla yksittäisen liittymän KAH-arvo voidaan tarvittaessa luotettavasti ja puolueettomasti arvioida.
- Kehittää menetelmä, jolla keskimääräisiä KAH-arvoja voidaan tulevana vuosina päivittää kevyemmällä kyselyllä.

Raportissa esiteltäviä tutkimuksen osatehtäviä ovat olleet:

- Kirjallisuustutkimus käytettyjen arviointimenetelmien näkökulmasta.
- Haastattelulomakkeiden suunnittelu. Haastatteluilla pyrittiin selvittämään yksittäisen liittymän sähkönsyöttöjen rakenne sellaisella tarkkuudella, että sähkökatkon vaikutukset voidaan analysoida lähtien häiriökeskeytyksen kestosta. Haastatteluissa selvitettiin myös häiriöajanhetken (tunti, viikonpäivä ja kuukausi) vaikutuksia haitan arvoon.
- Erityyppisten kantaverkkokuluttajien haastattelut. Haastattelujen kohteet edustivat erilaisia teollisuuslaitoksia, alueverkkoja ja jakeluverkkoyhtiöitä.
- Jakeluverkkokulutuksen KAH-arvojen määrittäminen, jossa hyödynnettiin aiempaa vuoden 2005 tutkimusta [3].
- Tulosten analysointi, jonka perusteella määritettiin KAH-arvojen laskentaan soveltuvat parametrit erityyppisille kantaverkon kulutuksille.
- Menetelmät, joiden avulla KAH-arvojen parametreja voidaan päivittää vuosittain (esim. jonkin yleisesti tunnetun indeksin perusteella).

## 2 KESKEYTYSHAITAN ARVIOINTIMENETELMÄT

### 2.1 Yleistä sähkökatkojen haittojen arviointimenetelmistä

Ajatus sähköjakelun keskeytysten rahallisesta arvottamisesta voi joistakin kuulostaa vieraalta. Ihmisten, joilla on vähän kokemuksia sähköjakelun keskeytyksistä, voi olla vaikea hahmottaa kyselyssä kuvailtua tilannetta, jossa sähköjakelu on keskeytynyt tietyksi ajaksi. Tämän takia kyselytutkimuksessa olisi tärkeää pystyä havainnollisesti kuvailemaan keskeytystilannetta ja siitä aiheutuvia haittoja. Itse asiassa sellaisilla alueilla, joissa on melko paljon sähköjakelun keskeytyksiä, tehdyt kyselyt tuottavat merkityksellisempää tietoa sähköjakelun keskeytyksistä kuin erittäin korkean sähkötoimitusvarmuuden alueilla tehdyt tutkimukset [4].

Sähköjakelun keskeytysten rahallisen arvon määrittelemineen on vaikeaa johtuen mm. erityyppisten asiakkaiden sähkökäytön erilaisuudesta. Taloustieteilijälle jonkin tuotteen arvo merkitsee tuotteen markkinahintaa. Sähköjakelun tapauksessa tulkinta ei voi olla näin yksioikoinen, koska sähkön yhteiskunnallisen merkityksen kasvaessa siitä on tullut välttämättömyshyödyke, melkeinpa kansalaisoikeus. Jos keskeytyskustannuksia kartoitettaessa vastaajilta kysytään suoraan sähköjakelun keskeytyksistä aiheutuvia haittoja tai heidän haluaan maksaa siitä, että keskeytyksiä olisi vähemmän, niin vastaajia saattaa ohjata enemmän heidän tietoisuutensa tulosten käyttötarkoituksesta kuin halu kertoa todellisista keskeytysten aiheuttamista haitoista. Siksi monissa maissa on sovellettu myös erilaisia epäsuoria kyselymenetelmiä keskeytyshaittojen arvojen selvittämiseen.

Yleensä kuitenkin sähköjakelun keskeytyksistä aiheutuvia haittoja arvioidaan melko suoraviivaisilla kysymyksillä. Silti erityisesti kotitalousasiakkaiden kohdalla on syytä käyttää vähemmän myös suoria menetelmiä ja liittää kysymykset vastaajien haluun maksaa paremmasta sähkötoimitusvarmuudesta (Willingness To Pay, WTP) tai heidän haluamiinsa korvauksiin nykyistä useammista sähköjakelun keskeytyksistä (Willingness To Accept, WTA). Tutkimusten tarkoituksena on selvittää rahallinen arvo tietyssä sähköverkon pisteessä tapahtuvalle tietyn pituiselle sähköjakelun keskeytykselle [4].

Sähköjakelun luotettavuuden arvon selvittämiseen liittyy myös muita näkökohtia. Ensinnäkin, on tehtävä selvä ero palvelun (ts. sähköjakelun) arvon ja palvelun luotettavuuden arvon välillä. Toisaalta, palvelun luotettavuuden arvo riippuu palvelun luotettavuuden tasosta. Toisin sanoen, ei voida olettaa, että keskeytyshaitat ovat samanlaisia maaseudulla ja taajamassa, vaikka sähkökäyttö olisikin samantyyppistä. Ehkä kaikkein tärkeimpänä asiana täytyy määritellä, mistä tekijöistä luotettava sähkötoimitus muodostuu [5].

## 2.2 Keskeytyksistä aiheutuvien haittojen laatu

Sähkönjakelun keskeytyksistä asiakkaille aiheutuviin haittoihin ja kustannuksiin vaikuttavat mm. keskeytyksen luonne, keskeytysajankohta ja asiakkaan sähkön käytön luonne.

Keskeytyksen luonne: Aiheutuviin haittoihin vaikuttavat keskeytyksen kesto, onko keskeytyksestä ilmoitettu etukäteen ja onko keskeytyksen kestosta saatavilla tietoa heti keskeytyksen alkamisen jälkeen. Toisaalta esimerkiksi suurille teollisuusasiakkaille keskeytyksen kestolla (jännitekuoppa – 1 h keskeytys) ei ole välttämättä merkitystä, jos kustannukset aiheutuvat pilaantuneista materiaaleista ja prosessin ylösajosta. Etukäteisilmoituksen on todettu pienentävän keskeytyksestä aiheutuvia kustannuksia jopa 34 %. Jos taas keskeytyksen kestosta on tietoa saatavilla heti keskeytyksen alkamisen jälkeen, voivat keskeytyskustannukset pienentyä 6 – 16 % [6]. Jotkut tutkimukset (esim. [6]) myös esittävät, että epätietoisuus keskeytyksen kestosta kasvattaa asiakkaiden keskeytyshaittoja. Tämän perusteella todellisessa keskeytystilanteessa keskeytyskustannukset olisivat siis korkeammat, koska keskeytyksen kesto ei yleensä tiedetä etukäteen.

Keskeytysajankohta: Asiakkaiden tarpeet ja toimet sekä niiden sähköntarve vaihtelevat vuoden-, viikon- ja vuorokaudenajasta riippuen. Myös juhlapäivät, kuten joulukuukausi, vaikuttavat sähköntarpeeseen ja keskeytysten kriittisyyteen. Siksi keskeytyskustannuksetkin riippuvat keskeytysajankohdasta.

Asiakkaan sähkön käytön luonne: Tutkimuksissa sähkökäyttäjät on jaettu samankaltaisia asiakkaita sisältäviin asiakasryhmiin. Kyselytutkimukset on tehty ja keskeytyskustannukset laskettu kullekin ryhmälle erikseen. Yleisesti Suomessa käytetty asiakasryhmäjako on ollut kotitalous, maatalous, julkinen, palvelu ja teollisuus. Ryhmien sisälläkin asiakkaiden sähkönkäyttö voi poiketa toisistaan hyvinkin paljon. Esimerkiksi maataloudessa kotieläin- ja kasvihuonetilat vastaavat sähkönkäytöltään tänä päivänä lähinnä teollisuutta, kun taas kasvinviljelytilojen sähkönkäyttö on suhteellisen lyhyitä aikoja lukuun ottamatta melkein päkotitaloustyyppistä. Lisäksi erilaiset sivuelinkeinot voivat muuttaa maatalojen sähkön käytön luonnetta. Teollisuudessa taas esimerkiksi vuorotöiden tekeminen vaikuttaa myös keskeytysajankohdan merkitykseen.

Sähkönjakelun keskeytyksistä aiheutuvat haitat voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin haittoihin, taloudellisiin ja sosiaalisiin haittoihin sekä lyhyen aikavälin ja pitkän aikavälin haittoihin. Suorat haitat aiheutuvat suoraan sähkönjakelun keskeytymisen seurauksena, kun taas epäsuorat haitat aiheutuvat tapahtumista, jotka saavat alkunsa keskeytyksen seurauksena. Suoriin taloudellisiin haittoihin kuuluvat esimerkiksi menetetty tuotanto, pilaantuneet materiaalit, maksetut palkat, prosessin ylösajokustannukset ja rikkoutuneet laitteet. Suoria sosiaalisia haittoja ovat esimerkiksi vapaa-ajan menetys, epämiellyttävä lämpötila rakennuksessa tai sähkönjakelun keskeytyksestä aiheutuva pelko. Epäsuoria haittoja voi olla vaikea luokitella taloudellisiin ja sosiaalisiin haittoihin. [5]

### 2.3 Keskeytyshaitan arvioinnin menetelmät

Keskeytysten aiheuttamien asiakashaittojen arviointiin on olemassa lukuisia menetelmiä. Nämä voidaan jakaa kolmeen yleisempään luokkaan [8, s. 4-6]:

- Epäsuorat analyttiset menetelmät; nämä arvioivat keskeytyskustannuksia päättelemällä muista tunnusluvuista tai muuttujista, kuten siirtohinnoista, menetetyt tuotannon arvosta ja menetetyistä vapaa-ajasta.
- Tapaustutkimukset (case-study); tämän tyyppin tutkimuksia voidaan suorittaa todellisen keskeytystilanteen, lähinnä laajemman suurhäiriön, jälkeen todellisilla keskeytyksistä aiheutuneilla haitoilla.
- Asiakaskyselyt; näissä asiakkaita pyydetään arvioimaan sähkönjakelun keskeytyksestä aiheutuneita kustannuksia eripituisten keskeytysten tapahtuessa eri vuoden- ja vuorokaudenaikoina.

Epäsuorien analyttisten menetelmien vahvuutena on se, että ne ovat helppoja toteuttaa, koska niihin tarvittavat tiedot ovat yleensä valmiiksi saatavilla. Näiden menetelmien tulokset ovat tavallisesti melko yleisiä ja kovin tarkkoihin tuloksiin niillä ei päästä.

Tapaustutkimukset taas arvioivat keskeytyshaittoja todelliseen aineistoon perustuen, mutta niitä pystytään tekemään hyvin harvoin, koska ne soveltuvat lähinnä suurempien häiriöiden vaikutusten tarkasteluun. Asiakaskyselyiden hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että asiakkaat todennäköisesti parhaiten tuntevat keskeytyksistä heille aiheutuvat haitat. Asiakaskyselyt ovat kuitenkin melko työläitä ja asiakkaiden vastaukset voivat olla keskeytyskustannusten käyttötarkoituksesta riippuen tarkoitushakuisia [4].

Asiakaskyselyissä käytetyt tutkimusmenetelmät voidaan pääsääntöisesti jakaa kolmeen ryhmään; sähkökatkoon varautuvat toimet (preparatory action method, PAM), hintaan verrannolliset (rate-related methods, RRM) ja suora kustannusten arviointi (direct costing). Varautuvissa toimissa vastaajia pyydetään yleensä valitsemaan listalta toimenpiteitä, jotka he tekisivät lieventääkseen tietyn pituisesta sähkökatkosta aiheutuvia haittoja annetuissa olosuhteissa. Hintaan verrannollisiin menetelmiin kuuluvat mm. willingness to pay (WTP)- ja willingness to accept (WTA)-menetelmät. WTP:ssä vastaajien pitää arvioida, kuinka paljon he olisivat halukkaita maksamaan luotettavammasta sähkönjakelusta tai välttääkseen tietynlaisen sähkökatkon. Vastaavasti WTA:ssa vastaajat arvioivat, kuinka suuren korvauksen he haluaisivat, jos sähkönjakelun luotettavuus olisi heikompi [6].

Monissa tutkimuksissa suuri osa vastaajista on ilmoittanut keskeytyshaittojen WTP-arvoksi nollan. Tämä vuorostaan tekee WTP-arvojen jakaumasta vääristyneen. Tällöin mediaani on huomattavasti keskiarvoa pienempi ja monille keskeytysten kestoille WTP-arvon mediaani on nolla. Voidaan myös väittää, että nolla-arvojen osuus on liian suuri. Nolla-arvojen suurelle osuudelle on kaksi mahdollista selitystä. Vastaajat joko protestoivat koko skenaariota itseään vastaan tai kuviteltua periaatetta, että heidän pitäisi maksaa jostakin, johon he kokevat olevansa oikeutettuja, vastaan [6].

Idealisessa tilanteessa suoran kustannusten arvioinnin sekä WTP- ja WTA-menetelmien pitäisi antaa samanlaiset arvot keskeytyksistä aiheutuville haitoille. Tyypillisesti kuitenkin suurimmat arvot saadaan suoralla kustannusten arvioinnilla, toiseksi suurimmat WTA- ja pienimmät WTP-menetelmällä. Toisin sanoen sähköjakelun keskeytyksistä katsotaan aiheutuvan suuret haitat, mutta paremmasta sähköjakelun luotettavuudesta ei olla valmiita maksamaan kovin paljon. Varsinkin kotitalous-asiakkaiden kohdalla keskeytyksestä aiheutuvat haitat ovat monesti epämukavuutta tai tiettyjen kotitalouden toimien siirtymistä toiseen ajankohtaan, joiden rahallinen arvostaminen on vaikeaa [5].

Kyselytutkimusten kehityksessä vaikeutena on pitää kysely riittävän yksinkertaisena, jotta siihen saadaan riittävästi vastauksia, mutta kuitenkin sen tulisi olla tutkimusmielessä riittävän kattava. Kyselyn pituus, teknisyys ja siihen arviolta kuluva vaikuttavat myös vastaamisaktiivisuuteen.

Toisaalta liian yksityiskohtaisten ja henkilökohtaisten tietojen kysymistä tulee välttää, koska tämä saattaa alentaa vastaamisaktiivisuutta. Toinen vaikeus on suurten organisaatioiden tapauksessa siinä, että kysely kulkeutuu oikealle henkilölle organisaatiossa. Toisaalta vastaajalle saattaa olla epäselvää, koskeeko kysely koko organisaation sähkökäyttöä vai vain tietyn toimipisteen sähkökäyttöä varsinkin, jos tätä ei riittävästi ohjeisteta.

Jokaisella asiakasryhmällä on omat erityispiirteensä, jotka estävät saman kyselyn käyttämisen kaikilla asiakasryhmillä. Oleelliset kerättävät tiedot ovat kuitenkin samoja kaikille ryhmille. Näihin kuuluvat mm. [4]:

- Sähköjakelun keskeytysten esiintymistiheys
- Vastaajan sähkön käytön luonne
- Eripituisten keskeytysten aiheuttamat kustannukset
- Keskeytysajankohdan vaikutus aiheutuneisiin haittoihin
- Etukäteisilmoituksen vaikutus keskeytyshaittoihin
- Keskeytyksen keston tietämisen vaikutus aiheutuneisiin haittoihin.

### 3 KAH - ARVON LASKENTA FINGRIDISSÄ

#### 3.1 Laskentaperiaatteet

Nykyisin kantaverkkoyhtiö Fingridissä häiriökeskeytysten aiheuttaman haitan (KAH) arviointi perustuu liittymispisteittäin seuraavaan kaavaan:

$$KAH = (Kkl + Kai \times T) \times P \times Kva \times Kvp \times rahanarvokerroin \quad (3.1)$$

missä

$Kkl$  = kulutuksen laadusta riippuva (teho)kerroin

$Kai$  = kulutuksen laadusta riippuva energiakerroin

$T$  = häiriökeskeytyksen kesto

$P$  = liittymispisteessä mitattu pätöteho häiriökeskeytyksen alkaessa [kW]

$Kva$  = vuodenaikakerroin

$Kvp$  = vuorokaudenaikakerroin

$rahanarvokerroin$  = kerroin verrattuna vuoden 1979 selvityksen tasoon [1]. (Vuoden 2007 taso on ollut 2,9.)

Vuodenaikakerroin voi vaihdella kuukausittain. Vuorokaudenaikakerroin voi vaihdella tunneittain. Arki- ja viikonloppupäiville voidaan tällöin käyttää myös erilaisia kertoimia.

Laskentakaavan soveltaminen edellyttää ajantasaista tietoa laskentaparametreista sekä keskeytyksen kohteena olevasta tehosta ja keskeytysajasta.

Nykyisin käytettäviä liittymispistekohtaisia sähkön käytön tyyppistä riippuvia parametreja on esitetty taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1. Fingridin nykyisin käyttämät keskeytyskustannusparametrit vuonna 2007.

KULUTUKSEN LAATU		Parametrien nykyarvot	
		Kkl [€/kW]	Kai [€/kWh]
1	Kaivannaistoiminta	0,49	0,30
2	Paperi/massateollisuus	0,93	2,96
3	Kemian teollisuus	1,10	1,46
4	Raudan/metallin valm.	1,86	1,17
5	Pienteollisuus/liikenne	2,84	8,35
6	Kaupunki yleensä	2,15	6,96
7	Maaseutu	1,86	5,92

Em. parametrit perustuvat, ainakin pääosin, STYV:in vuonna 1979 julkaisemaan raporttiin [1]. Paperi- ja massateollisuuden energialle käytettävä hinta suhteessa tehon hintaan on kuitenkin merkittävästi suurempi kuin em. raportissa massa-/paperiteollisuudella. STYV:in selvitystä vastaavat nykyarvot olisivat 0.93 €/kW ja 0.34 €/kWh. Kulutustyyppin pienteollisuus/liikenne hinnoittelu vastaa em. selvityksen pienteollisuuden parametreja, joista liikenteen parametrit poikkeavat merkittävästi ollen nykyarvoina 0 €/kW ja 18 €/kWh.

Pienteollisuuden liityntäpisteitä Fingridillä on kaikkiaan 79, joista 44 on Ratahallintokeskuksen liittyviä, 3 teollisuuslaitosten liittyviä ja 32 jakeluverkkoyhtiöiden liityntäpisteitä.

Vuodenaikakertoimet on esitetty esimerkinomaisesti taulukossa 3.2.

Taulukko 3.2. Erään kulutustyyppin vuodenaikakertoimet.

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kva	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,85	0,85	0,85	0,93	0,93	0,93	1,0

Vuorokaudenaikakertoimet eli ns. tuntikertoimet vastaavasti esimerkinomaisesti on esitetty taulukossa 3.3.

Taulukko 3.3. Esimerkki arkipäivän tuntikertoimista.

tunti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kvp	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1	1	1	1	1	1
tunti	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Kvp	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7

### 3.2 Keskeytyskustannusten muodostuminen

Seuraavassa taulukossa 3.4 on esitetty Fingridin laskema yhteenveto kantaverkon häiriöiden jakaumasta keskeytyskustannusten osalta. Alle yhden minuutin keskeytyksiä ei ole tässä huomioitu.

Taulukko 3.4. Vuosien 2004 – 2007 keskeytysten perusteella lasketut jakaumat kantaverkon häiriöistä.

Kulutuslaji	Tapahtumia 4v		Liittymispisteitä, joissa tapahtumia		Tapahtumia / piste / vuosi	KAH / %
Kaivannaistoiminta	30	1,58 %	7	1,38 %	1,07	0,34 %
Paperi/massa/puunjäl. teollisuus	35	1,85 %	48	9,45 %	0,18	3,70 %
Kemian teollisuus	39	2,06 %	16	3,15 %	0,61	1,17 %
Raudan/Metallin valmistus	18	0,95 %	17	3,35 %	0,26	4,09 %
Pienteollisuus/liikenne	399	21,04 %	79	15,55 %	1,26	15,63 %
Kaupunki yleensä	465	24,53 %	169	33,27 %	0,69	37,76 %
Maaseutu	910	48,00 %	172	33,86 %	1,32	37,31 %
Summa	1896		508			

Huomionarvoista taulukossa 3.4 on, että kulutuslajien 'Kaupunki yleensä' ja 'Maaseutu' yhteenlaskettu osuus on noin 3/4 koko KAH-arvosta. Siksi kokonaishaittojen arvioinnin osalta niillä tulisikin olla erityisen keskeinen merkitys. Toisaalta muidenkin kulutuslajien riittävän tarkka oikea arvostaminen on niitä koskevien toimenpiteiden osalta oleellista.

## 4 SUORITETUT KYSELYT JA HAASTATTELUT

Pääpaino kyselyissä ja haastatteluissa oli muualla kuin jakeluverkkoyhtiöiden asiakkaissa. Jakeluverkkoihin liittyvien sähkökäyttäjien haastatteluja ei katsottu juurikaan tässä tutkimuksessa tarpeelliseksi, koska niiden osalta oli käytettävissä suhteellisen tuoreen sähkönjakelun keskeytyksistä aiheutuvaa haittaa koskevan selvityksen tuloksia vuosilta 2004–2005 [3]. Siltä osin arvioitiin olevan jo tarpeeksi aineistoa jalostettavaksi edelleen siirtoverkkotason tarkasteluja varten.

Kohteiksi pyrittiin valitsemaan kattavasti suuria eri kulutustyyppisiin kuuluvia siirtoverkkotasolle liitetyjä kohteita. Nämä edustivat pääosin suuria prosessiteollisuuslaitoksia. Myös kahden jakeluverkkoyhtiön edustajia käytiin haastattelemassa.

Haastatteluissa oli läsnä tutkijatahon tutkijoiden lisäksi aina myös Fingridin edustaja.

### 4.1 Teollisuus

Teollisuuden osalta tutkimusmenetelmäksi valittiin asiakaskyselynä tehtävät haastattelut, joissa asiakkaita pyydettiin arvioimaan sähkötoimituksen keskeytyksestä aiheutuvia menetyksiä ja kustannuksia eripituisten keskeytysten tapahtuessa erilaisina vuoden- ja vuorokauden aikoina.

Haastatteluun valmistautumista varten haastateltaville lähetettiin etukäteen haastattelulomake, joka sisälsi esille otettavia asioita. Koska haastattelujen tavoitteena on selvittää sähkökatkojen vaikutuksia prosessiin sekä aiheutuvia kustannuksia ja tuotantotappioita, haastattelun ajaksi paikalle pyrittiin saamaan riittävästi sekä sähköverkon että tuotantoprosessin tuntevia henkilöitä. Yrityksillä oli myös mahdollisuus täydentää ja tarkentaa vastauksiaan haastattelujen jälkeenkin.

Haastattelussa pyrittiin selvittämään lähinnä seuraavankaltaisia asioita:

- Toimiala, erilaiset tuotantolinjat, tuotantomäärät, sähkön käyttö, tehdasalueen oma sähköntuotanto, oma varavoima sekä liittynyt ulkopuoliseen sähköverkkoon
- Taloudelliset luvut, joita olivat ensisijaisesti liikevaihto, jalostusarvo ja palkkakustannukset
- Sähkön syötön rakennemalliin liittyvät asiat sisältäen ulkopuolisen syöttävän verkon häiriöiden seurannaisvaikutukset, tehtaiden alasajot, uudelleenkäynnistykset kestoajakoineen sekä häiriöistä aiheutuvat tuotantotappiot, muut kustannukset ja mahdolliset vaurio- ja korjauskustannukset sekä haittojen arvostusperiaatteet
- Eripituisista sähkön toimituksen keskeytyksistä aiheutuvat tuotannon arvon menetykset ja muut kustannusvaikutukset eripituisten keskeytysten tapahtuessa erilaisina vuoden- ja vuorokauden aikoina

#### 4.1.1 Tehdasalueen sähkön syötön rakennemallien ja keskeytyshaittojen arviointi

Keskeisiä lähtötietoja tehtaan tai tehdasalueen keskeytyshaittojen arvioinnille olivat:

- Kuinka pitkän tuotantokeskeytyksen eripituiset sähkökatkot aiheuttavat erilaisille osaprosesseille?
- Kuinka pitkäaikaisia ekvivalenteja tuotannon katteen ja jalostusarvon menetyksiä em. keskeytykset aiheuttavat erityyppisille prosesseille?
- Kuinka suuria ovat jalostusarvot tai käyttökatteet tuntia kohden toteutuneen tuotannon perusteella? Tässä voitiin hyödyntää mahdollisesti myös vuosikertomusten ja tilinpäätösten yms. sisältämiä tietoja.
- Miten kokonaistappiot muodostuvat eri osatekijöistä: jalostusarvon tai käyttökateen menetys, pilaantuneet materiaalit, vauriokustannukset, ylimääräiset palkat ja ylimääräiset muut kustannukset?
- Kuinka suuri on keskeytyvä teho ottaen huomioon myös voimalaitosten tuotannot?

Haastatteluja suoritettiin kokonaiskustannusten osalta seuraavan taulukon 4.1 mukaisen aikajajottelun pohjalta. Sähkökatkon oletettiin esiintyvän joko haitallisimpaan aikaan tai talvella arkena työaikana.

Taulukko 4.1. Sähkökatkon aiheuttamat kustannukset ja tappiot yhteensä.

Katkon kesto	Odottamaton katko, [k€]	Etukäteen tiedossa oleva katko, [k€]
Alle 1 s		
1...2 min.		
15 min.		
1 tunti		
4 tuntia		
12 tuntia		

Em. taulukon lukuja pyrittiin kartoittamaan myös seuraavan yksityiskohtaisemman taulukon 4.2 pohjalta.

Taulukko 4.2. Sähkökatkon aiheuttamat kustannukset ja tappiot yhteensä.

Osuus kokonaiskustannuksista €(tai %)							
Sähkökatkon kesto	tuotanto-tappiot	uudelleen-käynnistys	pilaantuneet materiaalit	vauriot	kolmannen osap. kust.	muut kust.	tuotannon palkkakust.
alle 1 s							
1... 2 min.							
15 min							
1 tunti							
4 tuntia							
12 tuntia							

**Tuotantotappio on katetuoton pieneneminen.** Mikäli syntyvää tuotantovajetta voidaan pienentää myöhemmin tapahtuvalla lisätuotannolla, on tämä käsiteltävä tappiota pienentävänä tekijänä. Tällöin myös lisäkustannukset otetaan huomioon. Tuotantotappio määritetään sähkökatkon pituudesta lähtien siten, että otetaan huomioon myös ne kustannukset, jotka syntyvät sähkökatkon päätyttyä ja tuotannon ollessa vielä rajoitettuna (käynnistysvaihe). Vakuutuskorvauksia ei oteta huomioon.

Lisäksi lomakkeella kysyttiin eri kuukausien, viikonpäivien (arki, lauantai, pyhä) sekä vuorokauden aikojen vaikutuksia keskeytyshaittoihin.

Viimeisimmissä haastatteluissa etenemistä pyrittiin vielä osin yksinkertaistamaan ja selkiyttämään kyselemällä ensin seuraavan taulukon 4.3 kaltaisen mallin muotoilun pohjalta tuotantohäiriön haitan suhteuttamista jalostusarvoon. Tavoitteena oli selkiyttää, kuinka pitkän ajan jalostusarvon menetystä eripituisten sähkökatkojen aiheuttamat tuotantohäiriöt vastaavat. Taulukon ekvivalenteissa tunneissa pyrittiin ottamaan huomioon, että osaprosesseja voi olla jo käynnissä ennenkuin koko tuotanto on normaalia.

Taulukko 4.3. Sähkökatkon aiheuttama jalostusarvon menetys.

Tehdas	Osaprosessi	Kuinka pitkän ajan jalostusarvon menetystä sähkökatkon aiheuttama tuotantohäiriö vastaa (h) ?				
		Sähkökatkon 1 pituus: Alle 1 s	Sähkökatkon 2 pituus: <u>2 min.</u>	Sähkökatkon 3 pituus: ...	Sähkökatkon 4 pituus: ...	
						tuntia
						tuntia
						tuntia
						tuntia

Tämän jälkeen kysyttiin samalla lomakkeella em. taulukkoon ilmoitettuja tuotantohäiriöiden pituuksia vastaavia kustannuksia seuraavalla jaottelulla:

- Pilaantuneista materiaaleista aiheutuvat tappiot
- Vaurioista ja korjauskustannuksista aiheutuvat tappiot
- Ylimääräiset palkat
- Muut tappiot ja menetykset.

Kun lisäksi saatiin tietoa siitä, kuinka pitkän ajan jalostusarvon menetystä kukin tuotantohäiriö vastaa, jalostusarvot tuntia kohden (€/h) sekä tuotannon sähkön käyttöä koskevat tiedot, voitiin laskea summatuista kustannuksista erilaisille sähkökatkojen pituuksille keskeytys Haitat tehoyksikköä kohden (€/kW). Erityisesti oli merkille pantavaa se, että tuotantotappioita syntyy tyypillisesti merkittävästi sähkökatkon kestoa pidemmältä ajalta.

Tuotantotappio tai jalostusarvo voi olla periaatteessa arvioitavissa jossain määrin myös jopa pelkästään vuosikertomusten ja julkisten tilinpäätöstietojen yms. aineiston perusteella. Usein näin ei välttämättä kuitenkaan ole erityisesti konsernien osalta, joilla on lukuisia eri tuotantolaitoksia. Käyttökateetta voisi arvioida karkeasti myös tyypillisten käyttökateprosenttien ja liikevaihtojen perusteella. Myöskään teollisuuslaitoksen sähkön käytön määrä ei ole yleisesti julkista tietoa. Samoin sähkökatkon vaikutusten vaikutus menetetyt tuotannon arvona ja muina kustannuksina on vaikeaa arvioida kysymättä laitoksen edustajalta. Käytännössä em. riittävän kattavat tarvittavat tiedot ovat siten kohtuullisella tarkkuudella vain yritykseltä itseltään hankittavissa. Toisaalta kuitenkin, jos on saatu tietoja riittävästi joiltain tietyn tyyppisiltä laitoksilta, voidaan niiden perusteella tehtyjä arvioita soveltaa toki myös muihin vastaavan tapaisiin laitoksiin.

Eräänä tavoitteena oli selvittää, että voisiko jollakin vieläkin enemmän kevennetyllä kyselyllä tai tilastoaineistolla päivittää KAH-arvoja jatkossa. Lienee varsin kyseenalaista, voiko käytännössä kuitenkaan pohjana käyttää suoraan esim. vuosikertomuksesta johdettuja jalostusarvoja tms., joissa näkyvät mm. teollisuuden suhdannevaihtelut. Suhdannetilanne vaikuttaa absoluuttisesti haittaan, mutta pitkällä aikavälillä suhdannevaihtelut keskimääräistävät tuloksia, mihin kaikei on syytä pyrkiäkin. Em. haastattelulomakkeiden pohjalta voitaisiin tehdä myös KAH-arvojen päivittämisen näkökulmasta olennaiset asiat sisältävä tiivistetty ja pelkistetty versio, joka voitaisiin kohdistaa merkittävästi suuremmalle sähkönkäyttäjien joukolle kuin mitä nyt oli kohteena yksityiskohtaisemmissa haastatteluissa. Tällainen laajempi kysely rajattiin tällä kertaa kuitenkin hankkeesta pois.

Verkon pitkän aikavälin kehittäminen ja investointien kohdentaminen ei pidä pohjautua myöskään jonkun tietyn suhdannetilanteen mukaisiin arvoihin. Olisivatko näin ollen kyselyn tuloksetkaan luotettavia, jos arviot on tehty tietyn hintatason / suhdannetilanteen mukaan?

Myös vuoden 2005 jakeluverkkoasiakkaita koskevassa selvityksessä todettiin, että mikään taloudellinen tunnusluku (esim. bkt) ei suoraan kovinkaan hyvin korreloi haitan kehittymisen kanssa [3].

Teollisuuden osalta keskeiset tulokset esitetään myöhemmin luvussa 5.

## 4.2 Sähköverkkoyhtiöt

Selvityksessä haastateltiin kahta jakeluverkkoyhtiötä:

- Suuri kaupunkiverkkoyhtiö, jolla on kuitenkin myös huomattavasti haja-asutusalueen jakelua
- Suuri maaseutuverkkoyhtiö.

Haastattelujen perusteella verkkoyhtiöille aiheutuvat suorat kustannukset ovat marginaalisia verrattuna sähkökäyttäjille aiheutuviin haittoihin. Tyypillisesti tämä on ollut enintään joitakin prosentteja. Imagohaitta julkisuuden kautta voi olla myös merkittävä, koska keskeytykset mainitaan tiedotusvälineissä usein mainiten paikallinen verkkoyhtiö, vaikka syy olisikin siirtoverkon puolella. Suuressa maaseutuverkkoyhtiössä toivottiin jatkossa kannustetta mahdollisimman tarkkaan todellisten tehojen, keskeytysaikojen ja laskentaparametrien käyttöön haittakustannusten arvioinnissa. Kantaverkon osalta toivottiin panostusta erityisesti myös lyhyisiin sähkökatkoihin.

### 4.2.1 Verkkoyhtiön alueen sähkön syötön rakennemallien ja keskeytyshaittojen arviointi

Verkkoyhtiön alueella oleelliset keskeytyshaitat kohdistuvat käytännössä sähkökäyttäjille. Periaatteessa kantaverkon häiriökeskeytysten aiheuttaman haitan arvostus voi siten hyvinkin perustua kaavan 3.1 mukaisen laskentatavan käyttöön. Vuonna 2005 valmistuneen selvityksen KAH-tietoja voidaan käyttää keskeisinä lähtötietoina [3]. Em. KAH-arvostuksia ei kuitenkaan voida sellaisenaan käyttää suoraan em. kaltaisessa laskennassa, vaan käytännössä ne vaativat jatkojalostusta.

Keskeytyshaittojen arvioinnissa kantaverkkoyhtiön kannalta haasteellisiksi voivat muodostua myös mm. seuraavat näkökohdat:

- Voimalaitosten ottaminen huomioon: Voimalaitokset putoavat tuotannosta katkon seurauksena ja tällöin verkkoyhtiön asiakkaiden menettämä keskeytysteho voi olla merkittävästi suurempi kuin kantaverkon liittymispisteessä mitattu tehon muutos. Esim. kaupunkisähköyhtiö saattaa olla sähkön tarpeen suhteen alueellaan jopa likimain omavarainen. Omavaraisuusaste voi vaihdella merkittävästi myös kausiluonteisesti.
- Verkkoyhtiön verkon kautta voi tapahtua verkon läpi muille yhtiöille tapahtuvaa sähkön siirtoa. Tämä vaikeuttaa osaltaan toimittamattoman tehon ja – energian määrien arviointia kantaverkon häiriökeskeytysten kannalta. Tätä vaikeuttaa edelleen myös varasyöttöyhteyksien portaittainen kytkentä.
- Em. ongelmien osalta voisi saada tarkennusta kehittämällä yhteistyötä Fingridin ja sen asiakasyhtiöiden välillä. Verkkoyhtiöt ja suuret esim. yli 20 kV sähköverkosta sähkönsä siirtävät yritykset voisivat haluttaessa raportoida keskeytyshetken sähkön käytön tehon (mukana myös voimalaitosten putoamisen sisältämät tehot) sekä läpisiirretyt tehot syötön suunnassa edeltävälle osapuolelle. Tällöin kantaverkkoyhtiölle kertyisi summattuna katkon kohteena oleva teho ja toimittamatta jäänyt energia käytännön kannalta riittävästi 'mahdollisimman' oikein.

- Haastatelluissa verkkoyhtiöissä on valmiuksia määrittää keskeytyksiin liittyviä tehoja ja toimittamatta jääneitä energioita tietojärjestelmiensä avulla. Erityisesti suuremmissa häiriöissä em. raportointi voisi olla järkevää. Lyhyissäkin keskeytyksissä tulisi kuitenkin pystyä ottamaan huomioon ainakin suurehkojen paikallisten voimalaitosten vaikutus keskeytyksen kohteena olevaan tehoon.

Analyysit ja keskeiset tulokset jakeluverkkoyhtiöitä koskevien KAH-arvojen osalta esitetään myöhemmin luvussa 6.

## 5 TEOLLISUUDEN KAH-ARVOJA KOSKEVIEN TULOSTEN ANALYSOINTI

Tutkimushankkeen aikana on haastateltu seitsemän teollisuuskohteen edustajia, sisältäen kolme massa- ja paperitehdasta, yksi kemian alan tehdas sekä kolme metalliteollisuuden tehdasta. Haastattelut toteutettiin vuoden 2008 kevään, kesän ja syksyn aikana. Vuoden 2008 loppupuolella alkanut maailmantalouden voimakas taantuma ei liene vielä ollut vaikuttanut merkittävästi ainakaan pidempiaikaisesti haastateltujen yritysten toimintaan haastatteluja edeltävänä aikana. Yrityksiltä toivottiin saatavan mahdollisimman realistisia 'normaalitilanteeseen' perustuvia arvioita pohjautuen kuitenkin pidemmälle ajalle kuin vain esimerkiksi yhden kvartaalin toteumat ovat olleet. Tulokset vastaavat lähinnä vuoden 2007 kustannustasoa.

### 5.1 Massa- ja paperiteollisuus

Massa- ja paperiteollisuuden piiristä haastateltavia kohteita oli kolme: P1, P2 ja P3. Kohteesta P3 ei kuitenkaan saatu KAH-parametrien määrittämiseksi tarvittavia taloudellisia lukuja. Siksi sitä ei tässä raportissa voida käsitellä perusteellisesti.

#### 5.1.1 Tehdasalue P1

Tehdasalueen P1 toimiala on massan sekä paperin valmistus. Tehtaaseen kuuluu kartonki- ja paperikoneita, sellun valmistusta sekä näitä palvelevaa kuorimotoimintaa. Lisäksi tehdasalueella on sähköntuotantoa. Tuotanto toimii yleensä jatkuvasti 24 tuntia vuorokaudessa ja 7 päivänä viikossa.

Lyhyenkin sähkökatkon seurauksena koko tehdas pysähtyy, jonka jälkeiseen ylösajoon arvioitiin kuluvan 12 – 24 tuntia. Tämän vuoksi on ilmeistä, että arvioitavan KAH-arvon tehokomponentti (€/kW) muodostuu korkeaksi verrattuna energiakomponenttiin (€/kWh). Eripituisten odottamattomien ja etukäteen tiedossa olevien katkojen haitta-arvot on esitetty taulukossa 5.1. Tässä yhteydessä on oletettu, että ilmoitusaika etukäteen tiedossa olevasta katkosta on 12 – 24 h. Tällä ilmoitusajalla voidaan tehdä tehtaan hallittu alasajo, mikä pienentää oleellisesti katkon kustannuksia. Mikäli tieto katkosta saadaan noin kuukausi etukäteen, pystytään tuotanto suunnittelemaan siten, että katkon haitat pienentyvät vieläkin selvästi enemmän.

Taulukko 5.1. Keskeytyksestä aiheutunut haitta tehtaalla P1 skaalattuna tehtaan keskiteholla.

Katkon kesto	Odottamaton katko, €/kW	Etukäteen tiedossa oleva katko, €/kW
alle 1 s	0,63 – 4,1	
1... 2 min.	4,4	
15 min	4,7	1,6
1 tunti	5,0	1,9
4 tuntia	6,3	3,1
12 tuntia	8,8	5,6

Edellä esitetyt odottamattoman katkon aiheuttamat häiätakustannukset on eritelty kustannuskomponentteihin taulukossa 5.2.

Taulukko 5.2. Keskeytyksestä aiheutunut häiä tehtaalla P1 kustannuskomponentteittain tehtaan keskiteholla skaalattuna.

Sähkökatkon kesto	Osuus kokonaiskustannuksista (€/kW)					muut kustannukset
	tuotantotappiot	uudelleenkäynnistys	pilaantuneet materiaalit	vauriot	kolmannen osapuolen kustannukset	
alle 1 s.	0,31 – 3,8	0,19		0,13		
1... 2 min.	3,8	0,31		0,31		
15 min.	4,1	0,31		0,31		
1 tunti	4,4	0,31		0,31		
4 tuntia	5,5	0,44		0,31		
12 tuntia	7,2	0,63	0,63	0,31		

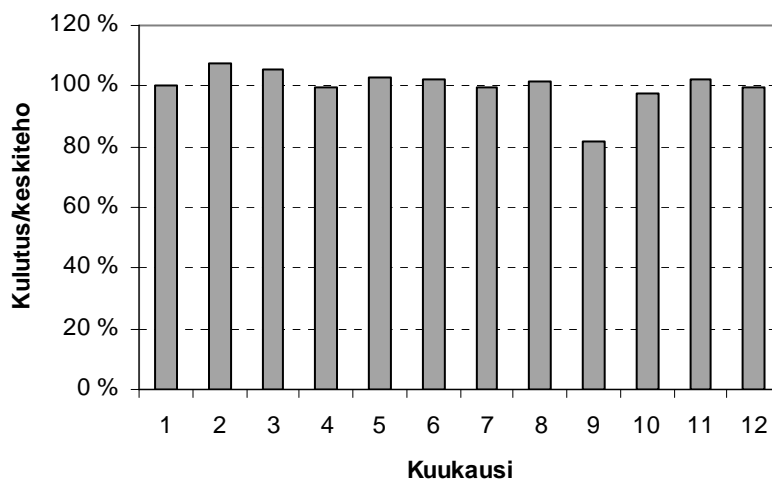
Hankalin aika odottamattomalle sähkökatkolle on viikonloppuyö, erityisesti kesällä, jolloin tarvittavaa huoltohenkilökuntaa ei ole paikalla ja henkilöitä on vaikea tavoittaa. Toisaalta pitkän katkon kohdalla ongelmia syntyy talvella jäätyamisen vuoksi, mutta tämän seikan euromääräistä vaikutusta ei ole pohdittu. Edellä esitetyt luvut on arvioitu olevan 0,63 €/kW pienemmät, mikäli katko sattuu arkena, ja sen lisäksi edelleen 0,63 €/kW pienemmät, mikäli katko sattuu päivällä (klo 7-16). Keskeytysajankohdan vaikutus häiä-arvoon on esitetty taulukossa 5.3.

Taulukko 5.3. Ajanhetken vaikutus 15 minuutin keskeytyksen häiä-arvoon tehtaalla P1 skaalattuna keskiteholla.

Kuukausi	Häiä-arvon muutos suhteessa taulukon 5.1 arvoon (€/kW)	Tunti	Häiä-arvon muutos suhteessa taulukon 5.1 arvoon (€/kW)
1	0	0-4	0
2	0	4-5	0
3	0	5-6	0
4	0	6-7	0
5	0	7-8	- 0,63 €/kW
6	0	8-9	- 0,63 €/kW
7	0	9-15	- 0,63 €/kW
8	0	15-16	- 0,63 €/kW
9	0	16-17	0
10	0	17-18	0
11	0	18-20	0
12	0	20-24	0
<b>Viikonpäivä</b>	<b>Häiä-arvon muutos suhteessa taulukon 5.1 arvoon (€/kW)</b>		
Arki	- 0,63 €/kW		
Lauantai	0		
Pyhä	0		

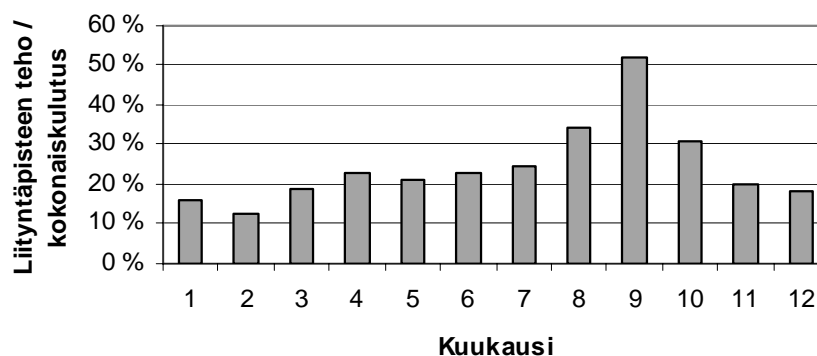
Kriittiseksi ajaksi lyhyelle katkolle on arvioitu 0,2 – 0,5 s, jonka jälkeen kontaktorit aukeavat sekä taajuusmuuttajat irtoavat verkosta. Pitkän katkon kohdalla puolestaan n. 1 – 4 tunnin jälkeen voi alkaa muodostua suurempia ongelmia putkistojen tukkeutuessa ja jäätyessä.

Tehtaan sähkönkulutus pysyy melko tasaisena ympäri vuoden, kuten nähdään kuvasta 5.1, jossa tehtaan kuukausittainen keskiteho on suhteutettu koko vuoden keskitehoon.



Kuva 5.1. Tehtaan P1 kuukausittainen keskiteho suhteutettuna koko vuoden keskitehoon.

Liityntäpisteen teho vaihtelee kuitenkin voimakkaasti, riippuen tehtaan oman tuotannon määrästä. Kuvassa 5.2 on esitetty liityntäpisteen teho suhteutettuna kokonaiskulutukseen.

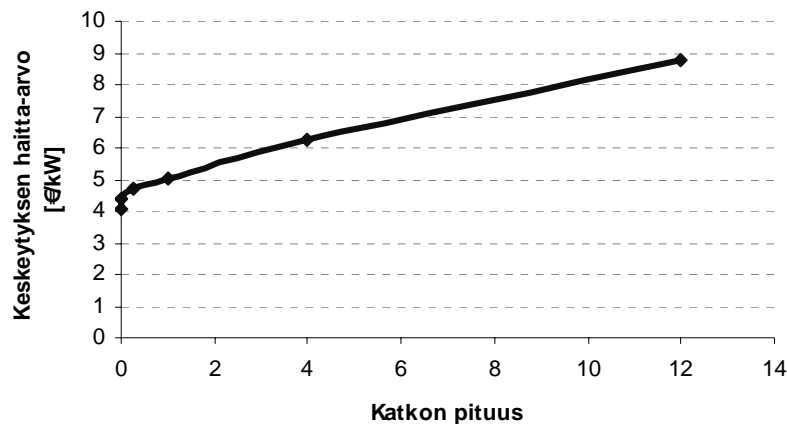


Kuva 5.2. Tehtaan P1 liityntäpisteen teho suhteutettuna tehtaan kokonaistehonkulutukseen.

Tehtaan omalla tuotannolla on siis suuri vaikutus liityntäpisteen tehoon. Seuraavissa laskelmissa KAH-arvot normeerataan kulutuksen tehon suhteen.

Taulukossa 5.1 esitettyjen kustannusten sekä huipputehon tai vuosienergian perusteella voidaan määrittää keskeytyksestä aiheutuvan haitan parametrit. Taulukoissa lyhimmän katkon (< 1 s) aiheuttamalle haitalle on esitetty suuri vaihteluväli (0,63 – 4,1 €/kW). Seuraavassa laskelmassa on käytetty vaihteluvälin ylärajaa, mutta lopputuloksissa on esitetty myös alarajan mukainen arvo.

Keskiteholla normeerattu odottamattoman keskeytyksen haitta-arvo käyttäytyy ajanfunktiona kuvan 5.3 mukaisesti.



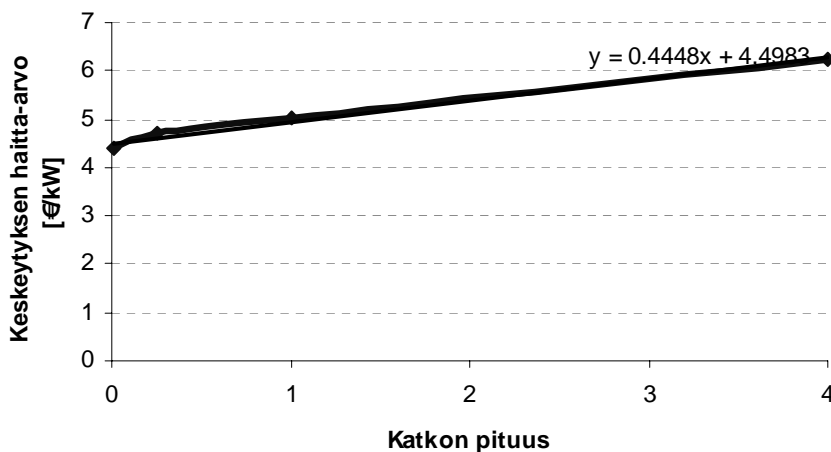
Kuva 5.3. KAH-arvo (€/kW) ajan funktiona keskiteholla normeerattuna tehtaalla P1.

Lineaarisella regressiolla yllä olevassa kuvassa esitetyle kuvaajalle saadaan yhtälö:

$$\text{Keskeytyksen aiheuttama haitta} = 4,5 + 0,37 \times \text{katkonpituus}$$

Siten KAH-arvon A parametriksi muodostuu 4,5 €/kW ja B parametriksi 0,37 €/kWh.

Koska kantaverkon häiriöiden aiheuttamien sähkökatkot ovat tyypillisesti selvästi alle tunnin pituisia, voidaan KAH-arvot määrittää perustellusti ottaen huomioon vain 1..2 minuutin, 15 minuutin, 1 tunnin ja 4 tunnin arvot. Tulokset on esitetty kuvassa 5.4 ja taulukossa 5.4. Taulukko sisältää myös alle 1 sekunnin katkoa vastaavan vaihteluvälin.



Kuva 5.4. KAH-arvo (€/kW) ajan funktiona keskiteholla normeerattuna tehtaalla P1.

Taulukko 5.4. Tehtaan P1 odottamattoman keskeytyksen KAH-arvot.

KAH-parametri	Keskiteholla normeeratut arvot	
	yli 1 s katko	alle 1 s katko
A [€/kW]	4.5	0.6 – 4.1
B [€/kWh]	0,44	

Vastaavalla tavalla määritetyt keskeytyksen haitta-arvot etukäteen tiedossa olevalle keskeytykselle (ilmoitusaika 12-24 h, kestoajat 15 minuuttia – 4 tuntia) tehtaalla P1, on esitetty taulukossa 5.5.

Taulukko 5.5. Tehtaan P1 etukäteen tiedossa olevan keskeytyksen KAH-arvot.

KAH-parametri	Keskiteholla normeeratut arvot
A [€/kW]	1,5
B [€/kWh]	0,42

Haastattelussa tuli ilmi, että lyhytkin sähkönsyötön keskeytys aiheuttaa koko tehtaan pysähtymisen, jonka jälkeinen ylösajo kestää tilanteesta riippuen 12–24 h. Keskeytyksestä aiheutuneiden kustannusten lisäksi haastattelussa kysyttiin tehtaan vuotuista jalostusarvoa, josta saatiin määritettyä jalostusarvo tuntia kohden. Pelkkä jalostusarvon muutos ei vastaa välttämättä täysin tuotantotappion muutosta, koska osa muuttuvista kustannuksista jää edelleen rasitukseksi tuotannon seisoessakin. Tämän vaikutuksen voi olettaa kuitenkin vähäiseksi. Toisaalta voi olla mahdollista, että tappiota pystytään osin myös kompensoimaan katkon jälkeisillä toimenpiteillä. Jalostusarvoon suhteutettuna lyhyen, 1-2 minuuttia kestävän, odottamattoman sähkökatkon tuotantotappioiden kustannuksiksi arvioitu summa vastaa n. 16 tunnin jalostusarvon menetystä. Tämän perusteella voidaan arvioida, että haastattelussa arvioidut sähkönsyötön keskeytyksestä aiheutuvat tuotantotappiot ovat linjassaan jalostusarvon kautta määritettyjen keskeytyshaittojen suuruusluokkien kanssa.

### 5.1.2 Tehdasalue P2

Tehdasalueella toimii sellutehdas, (hieno)paperin tuotantoa sekä voimalaitos. Näiden tukena toimii lisäksi kuorimotoimintaa. Tehdas toimii yleensä jatkuvasti (24 h/vrk, 7 vrk/vko). Sähköenergian kulutuksesta tuotetaan itse 58 %, oman tuotannon osuus huipputehosta on puolestaan 50 %.

Taulukossa 5.6 on esitetty keskeytyksestä aiheutuneet kustannukset eripituisille katkoille sekä odottamattoman että etukäteen tiedossa olevan keskeytyksen kohdalla. Koska tuotanto seisahtuu jo hetkellisen odottamattoman katkon vuoksi, on kustannus melko lailla vakio alle tunnin mittaisilla keskeytyksillä.

Taulukko 5.6. Keskeytyksestä aiheutunut haitta tehtaalla P2 keskiteholla skaalattuna.

Katkon kesto	Odottamaton katko, €/kW	Etukäteen tiedossa oleva katko, €/kW
alle 1 s	6,4	
1... 2 min.	6,4	
15 min	6,4	1,3
1 tunti	6,4	1,4
4 tuntia	6,9	2,2
12 tuntia	9,2	5,9

Etukäteen tiedossa olevan katkon kohdalla ilmoitus tarvitaan mieluiten kuukausi etukäteen. Haittoja pystytään kuitenkin vähentämään prosessin hallitun alasajon kautta, mikäli tieto keskeytyksestä saadaan 12...24 tuntia etukäteen. Tällöin vältetään vaurioilta ja lisäksi tehtaan käynnistäminen on nopeampaa hallitun alasajon jälkeen.

Edellä esitetyt odottamattoman katkon aiheuttamat haittakustannukset on eritelty kustannuskomponentteihin taulukossa 5.7.

Taulukko 5.7. Keskeytyksestä aiheutunut haitta tehtaalla P2 jaoteltuna kustannuskomponentteihin ja suhteutettuna keskitehoon.

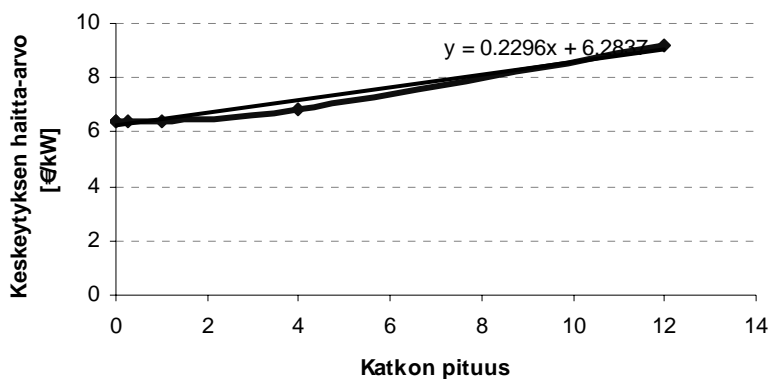
Sähkökatkon kesto	Osuus kokonaiskustannuksista (€/kW)					
	tuotantotappiot	uudelleenkäynnistys	pilaantuneet materiaalit	vauriot	kolmannen osapuolen kustannukset	muut kustannukset
alle 1 s.	4,1			2,3		
1... 2 min.	4,1			2,3		
15 min.	4,1			2,3		
1 tunti	4,1			2,3		
4 tuntia	4,6			2,3		
12 tuntia	6,9			2,3		

Pitkän katkon kohdalla kriittinen aika on 12 tuntia, jonka jälkeen keskeytyksen haitat kasvavat merkittävästi. Haitallisin aika katkolle on kesäviikonloppu ja yöaika, erityisesti juhannus, jolloin huoltohenkilökuntaa on vaikea saada paikalle.

Jännitekuoppien kohdalla jäännösjännitteen laskeminen alle 90...95 %:in voi aiheuttaa prosessien keskeytymisiä. Jännitekuoppien aiheuttamat keskeytyshaitat voivat olla samaa suuruusluokkaa kuin 1 sekunnin vikakeskeytyksen kohdalla.

Taulukossa 5.6 esitettyjen kustannusten sekä huipputehon tai vuosienergian perusteella voidaan määrittää keskeytyksestä aiheutuvan haitat parametrit samalla tavoin kuin edellisissäkin kohdissa.

Keskiteholla normeerattu odottamattoman keskeytyksen haitta-arvo käyttäytyy ajan funktiona kuvan 5.5 mukaisesti.



Kuva 5.5. Tehtaan P2 KAH-arvo ajan funktiona odottamattomassa keskeytyksessä keskiteholla normeerattuna.

Lineaarisella regressiolla yllä olevassa kuvassa esitetylle kuvaajalle saadaan yhtälö:

$$\text{Keskeytyksen aiheuttama haitta} = 6,3 + 0,23 \times \text{keskeytysaika}$$

Siten KAH-arvon A parametriksi muodostuu 6,3 €/kW ja B parametriksi 0,23 €/kWh.

Jos KAH-arvot määritetään ottaen huomioon vain 1..2 minuutin, 15 minuutin, 1 tunnin ja 4 tunnin arvot, saadaan taulukossa 5.8 esitetyt tulokset.

Taulukko 5.8. KAH-arvot tehtaan P2 haastattelun perusteella.

KAH-parametri	Keskiteholla normeeratut arvot	
	yli 1 s katko	alle 1 s katko
A [€/kW]	6,4	6,4
B [€/kWh]	0,12	

Samoin kuin tehtaan P1 kohdallakin, muodostuu tässäkin tapauksessa A parametrin merkitys huomattavasti suuremmaksi kuin B parametrin. Tämä korostuu erityisesti, koska haastattelussa haittakustannukset oli ilmoitettu samoiksi aikavälillä 1 s ... 1 tunti. Jos huomioitaisiin ainoastaan nämä keskeytyksen kestoajat, saadaan B parametrin arvoksi 0 €/kWh.

Lyhytkin sähkönsyötön keskeytys aiheuttaa koko tehtaan pysähtymisen, jonka jälkeisen käynnistyksen arvioitiin vievän parhaassa tapauksessa n. 3 tuntia, mikäli vain yksi paperikone pysähtyy. Pahimmillaan käynnistys vie vuorokauden. Lyhyen, alle yhden sekunnin mittaisen, keskeytyksen aiheuttamiseksi tuotantomenetyksiksi arvioitiin haastattelussa 4,1 €/kW, kuten

taulukossa 5.7 on esitetty. Tehtaan jalostusarvoon suhteutettuna tämä vastaisi n. 21 tunnin jalostusarvon menetystä. Lisäksi katkosta arvioitiin seuraavan vaurioita (huovat, telat, viirat yms. voivat särkyä), joiden keskitehoon suhteutettu kustannus on keskimäärin 2,26 €/kW. Tästä voidaan päätellä, että esitetyt arviot keskeytyksen aiheuttamista tuotannon menetyksistä ovat keskimääräistä pahemman tapauksen mukaisia, mutta sellaisessa tapauksessa linjassaan jalostusarvoon verrattuna.

### 5.1.3 Tehdasalue P3

Tehdasalueella P3 on paperin ja massan (hierteen) tuotantoa. Tuotanto toimii yleensä jatkuvasti (24 h/vrk, 7 vrk/vko). Sähköenergian kulutuksesta tuotetaan itse 10 %.

Kuumahierrettä tai muualta tuotua sellua käytettäessä todettiin sähkökatkojen aiheuttamat tuotantotappioiden kestot merkittävästi lyhyemmiksi verrattuna siihen, että mukana olisi sellun valmistusta. Koko tuotannon pudottua pois sähkökatkon seurauksena saataneen ensimmäinen paperikone käyntiin hyvässä tapauksessa 2...3 tunnissa ja seuraavat linjat noin 1,5 tunnin välein. Pahassa tapauksessa jonkin linjan käyntiin saannin arvioitiin voivan kestää jopa 24 tuntia.

Ongelmaksi haastattelussa muodostui se, että taloudellisia lukuja ei saatu, joten KAH-parametreja ei voitu määrittää suoraan haastattelussa saatujen tietojen pohjalta. Seuraavassa haarukoidaan kuitenkin joidenkin saatujen muiden tietojen ja muiden haastattelukohteiden tietojen pohjalta suuntaa antavasti KAH-arvoja. Aluksi tehdään tyyppilliselle häiriölle seuraavat karkeahkot oletukset:

- Oletetaan, että se aika, jota vastaavan tuotannon jalostusarvon menetystä tuotantohäiriö vastaa, on 1 minuutin - 1 tunnin sähkökatkokuksessa noin 40 % suhteessa vastaaviin aikoihin tehdasalueilla P1 ja P2
- Muiden kustannusten oletetaan vastaavan tehdasalueiden P1 ja P2 arvoja tuotannon määriin suhteuttaen
- Tuotannon arvo €/tonni on sama kuin tehdasalueella P2
- Käytettävä sähkön tarve tuotantomäärään suhteutettuna on 2,3-kertainen verrattuna P2:seen ja 2-kertainen verrattuna P1:seen
- Koska tehdas P3 ilmoitti koko tuotannon tulevan alas jo alle 1 s katkossakin, käytetään P2: tietojen soveltamisessa P3:seen P1:sen osalta alle 1 s katkon haitan maksimiarvoa
- P3:lle lasketaan KAH-arvo P1:n ja P2:n arvojen perusteella saatujen arvojen keskiarvona.

Tulokseksi saatiin seuraavassa luvussa 5.1.4 P3:lle taulukossa 5.9 esitetyt KAH-arvot. Taulukossa näkyy myös kohteiden P1 ja P2 arvot sekä kaikista kolmesta lasketut keskiarvot.

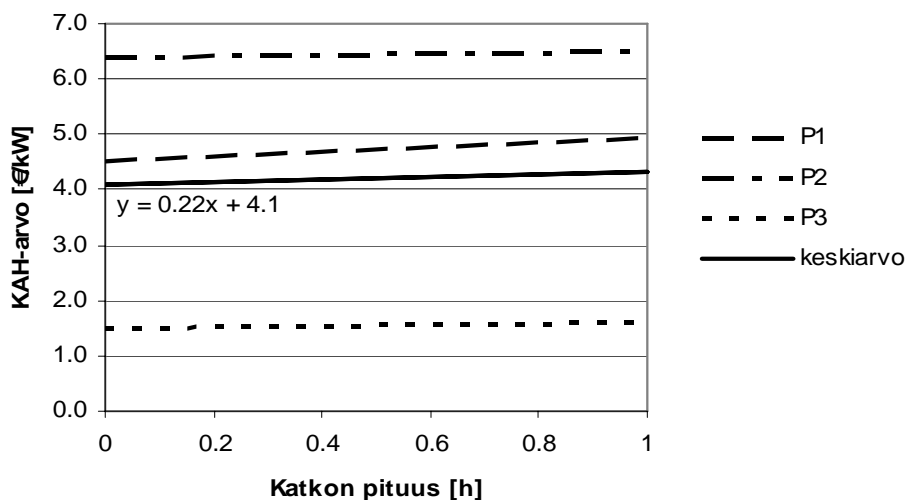
### 5.1.4 Yhteenveto massa- ja paperitehtaista

Yhteenveto tehdasalueille P1, P2 ja P3 määritetyistä KAH-arvoista on esitetty taulukossa 5.9.

Taulukko 5.9. Massa- ja paperitehtaiden KAH-arvot.

	A [€/kW]	B [€/kW]	Alle 1 s katko [€/kW]
P1	4,5	0,44	0,6 – 4,1
P2	6,4	0,12	6,4
P3	1,5	0,10	1,5
keskiarvo	4,1	0,22	3,4

Vastaavat graafiset esitykset on esitetty kuvassa 5.6.



Kuva 5.6. Tehtaiden P1, P2 ja P3 KAH-arvot ajan funktiona.

Tehtaat P1 ja P2, joilta on euromääräiset arviot keskeytyksen haitoista, ovat prosesseiltaan melko samanlaiset. Molemmilla tehdasalueilla on sekä massan että paperin valmistusta, ja siten myös katkoksen jälkeiset ylösajoajat arvioitiin samansuuntaisiksi. Molempien tehtaiden kohdalla arvioitiin myös, että jo lyhytkin katkos sähkönsyötössä aiheuttaa prosessin seisahtumisen. Siten A parametri (€/kW) muodostuu molemmilla tehtailla B parametria merkittävämmäksi.

Tarkasteltaessa em. tehtaiden KAH-arvoja, merkittävin ero muodostuu tehtaalla P2 arvioiduista vauriokustannuksista. Tehtaalla P1 vaurioiden osuus KAH-kustannuksesta on 3...20 %, riippuen katkon kestosta. Useimmissa tapauksissa vaurioiden osuus jäi alle 10 % kokonaiskustannuksista. Tehtaalla P2 puolestaan vaurioiden osuuden kokonaiskustannuksesta arvioitiin olevan 25...35 %. Tuotantotappioiden kustannus on samaa suuruusluokkaa, erityisesti mikäli käytetään P1 tehtaalla lyhyen keskeytyksen ylärajan arvoa.



## 5.2 Kemian teollisuus

Kemianteollisuudesta haastateltiin vain yhtä tuotantolaitosta, jolla tosin on tässä tarkastellun tehtaan lisäksi 10 muuta tuotantopaikkaa. Fingridin ja tehtaan tietojen mukaan kyseinen tehdas edustaa kuitenkin hyvin kemian teollisuutta.

Huomattavaa on, että tuotteen läpimenoaika raaka-aineesta valmiiksi tuotteeksi kestää tehtaalla kaksi viikkoa. Tehdas käy yleensä jatkuvasti; 24 tuntia vuorokaudessa, 7 päivää viikossa. Tehtaan vuotuisesta sähkön kokonaiskulutuksesta omalla tuotannolla katetaan 33 %.

Taulukossa 5.12 on esitetty tehtaan edustajien arviot tehtaan keskeytyksestä aiheutuneista haitoista. Ainoastaan odottamattomalle keskeytykselle osattiin arvioida haittakustannukset. Etukäteen tiedossa olevan katkon kohdalla ilmoitus tarvittaisiin 4...5 päivää ennen katkoa, jotta prosessi voitaisiin ajaa hallitusti alas. Tällaisen keskeytyksen haitta-arvoa ei kuitenkaan osattu arvioida.

Taulukko 5.12. Keskeytyksestä aiheutunut haitta kemian tehtaalla keskitehoon suhteutettuna.

Katkon kesto	Odottamaton katko, €/kW
1... 2 min.	2,4
15 min	4,7
1 tunti	9,4

Edellä esitetyt odottamattoman katkon aiheuttamat haittakustannukset aiheutuvat kokonaisuudessaan tuotantotappioista. Tämän lisäksi uudelleenkäynnistyksestä ja pilaantuneista materiaaleista sekä satunnaisesti myös vaurioista aiheutuu haittakustannuksia, mutta näiden suuruutta ei osattu arvioida. Alle sekunnin mittaisen katkon vaikutuksia ei osattu arvioida, etenkin koska PJK ei ole käytössä syöttävän johdon suojauksessa.

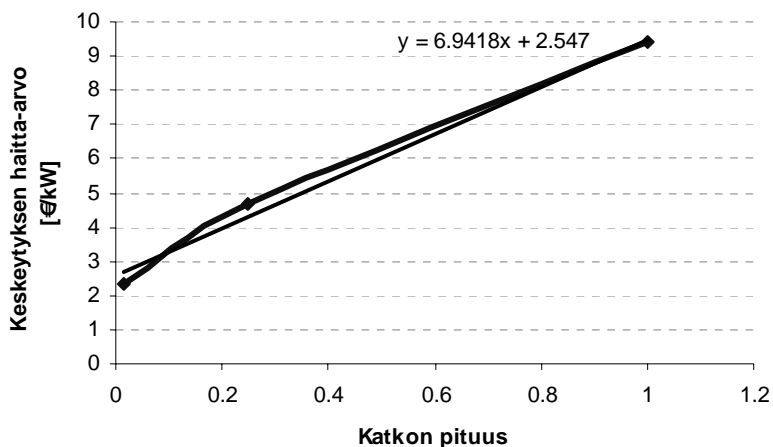
Kriittiseksi ajaksi pitkälle katkolle arvioitiin neljä tuntia. Tämän jälkeen vauriot ovat niin mittavat, että tuotannon uudelleen käynnistäminen vaatii noin neljä viikkoa kestävät korjaukset.

Prosessin kannalta keskeytysajankohdalla ei ole merkitystä, mutta päivätyöajan (arki klo 7-16) ulkopuolella tuleva keskeytys on hankalampi, koska tarvittavaa henkilökuntaa ei ole silloin paikalla. Lisäksi talviaika on kesää hankalampi, koska tällöin vaarana on jäätyminen. Haitta-arvojen arvioitiin olevan jouluhelmikuussa 1,5-kertaisia edellä esitetyn taulukon arvioihin verrattuna. Lisäksi haitta-arvon arvioitiin olevan 10 % suurempi päivätyöajan ulkopuolella (klo 16-7). Häiriön ajanhetken vaikutus haitta-arvoihin on esitetty taulukossa 5.13.

Taulukko 5.13. Ajanhetken vaikutus keskeytyksen haitta-arvoon.

Kuukausi	Haitta-arvo suhteessa taulukon 6 arvoon (%)	Tunti	Haitta-arvo suhteessa taulukon 6 arvoon (%)
1	150 %	0-4	110 %
2	150 %	4-5	110 %
3	100 %	5-6	110 %
4	100 %	6-7	100 %
5	100 %	7-8	100 %
6	100 %	8-9	100 %
7	100 %	9-15	100 %
8	100 %	15-16	100 %
9	100 %	16-17	110 %
10	100 %	17-18	110 %
11	100 %	18-20	110 %
12	150 %	20-24	110 %

KAH-parametrit voidaan määrittää aiemmin esitettyjä periaatteita käyttäen. Tässä tapauksessa keski- ja huipputeho on kuitenkin sama, joten KAH-arvo on sama sekä keski- että huipputeholla normeerattuna. Tässä tapauksessa on huomattava, että haastattelussa saatuja haitta-arvoja on vain kolmelle keskeytyspituudelle (1...2 min, 15 min ja 1 tunti). Kemian tehtaan keskeytyshaitat ajanfunktiona, keskiteholla normeerattuna on esitetty kuvassa 5.7.



Kuva 5.7. Odottamattoman keskeytyksen haitta ajan funktiona kemian tehtaalla.

Suunnitellun keskeytyksen KAH-arvoa ei haastattelussa osattu arvioida. Massa- ja paperiteollisuuden haastatteluissa 15 minuutin suunnitellun keskeytyksen haitaksi arvioitiin 20...34 % vastaavan pituisen odottamattoman keskeytyksen haitasta. Vuoden 2005 KAH-tutkimuksessa pk-teollisuudelle työajalla tapahtuvan 15 minuutin suunnitellun keskeytyksen keskeytyshaitta verrattuna yllättävään keskeytykseen oli 31 % [3]. Siten, koska tarkempaa tietoa ei ole käytettävissä, voidaan olettaa että suunnitellun keskeytyksen haitta on n. 30 %

odottamattoman keskeytyksen haitasta. PJK:n osalta haittakustannukset verrattuna AJK:n kustannuksiin vaihtelevat voimakkaasti, riippuen mm. prosessin ominaisuuksista. Massa- ja paperiteollisuuden kohdalla PJK:n haittakustannukseksi määritettiin 96 % AJK:n haitoista. Vuoden 2005 tutkimuksessa pk-teollisuudessa 1 sekunnin keskeytyksen haitta oli 58 % 2 minuutin keskeytyksen haittakustannuksista. Haastatellun kemian tehtaan tapauksessa haittakustannus muodostuu kuitenkin lineaarisemmin ja parametrin B (€/kWh) osuus muodostuu merkittävämmäksi kuin massa- ja paperiteollisuudessa. Siten voidaan päätellä, että PJK:n keskeytysparametri suhteessa AJK:n parametriin on pienempi kuin massa- ja paperiteollisuuden arvioissa. Edellisten perusteella PJK:n keskeytyskustannusparametriksi voidaan määrittää 60 % AJK:n KAH-parametrin. Kemian teollisuudelle määritetyt KAH-parametrit on esitetty taulukossa 5.14.

Taulukko 5.14. Kemian teollisuuden KAH-parametrit.

Odottamaton keskeytys		Suunniteltu keskeytys		Alle 1 s
A [€/kW]	B [€/kWh]	A [€/kW]	B [€/kWh]	A [€/kW]
2,5	6,9	0,76	2,1	1,4

Haitta-arvo vaihtelee tunneittain ja kuukausittain, kuten on esitetty taulukossa 5.13. Tämän perusteella voidaan määrittää tunti- ja kuukausikertoimet KAH-arvolle. Nämä kertoimet on esitetty taulukoissa 5.15 ja 5.16.

Taulukko 5.15. Kemian teollisuuden KAH-arvon kuukausikertoimet.

kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
kerroin	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5

Taulukko 5.16. Kemian teollisuuden KAH-arvon tuntikertoimet.

tunti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
kerroin	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
tunti	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
kerroin	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1

Fingridin käytössä olleet KAH-arvot kemian teollisuudelle puolestaan ovat 1,10 €/kW ja 1,46 €/kWh. Tämän haastattelun perusteella vaikuttaa siltä, että toimittamatta jäänyttä energiaa kuvaava KAH-parametrin osuus [€/kWh] muodostuisi aikaisempaa merkittävämmäksi, mutta myös keskeytystehoa kuvaavaan KAH-parametriin [€/kW] tulisi korotusta, verrattuna Fingridin tällä hetkellä käyttämiin arvoihin.

Tunnin keskeytyksestä arvioitiin seuraavan minimissään 12 tunnin tuotantotappio ja vastaava jalostusarvon menetys. Tunnin odottamattoman keskeytyksen haitaksi arvioitiin kuitenkin summa, joka vastaisi 28 tunnin jalostusarvon menetystä. Tämän perusteella vaikuttaa, että 12

tunnin tuotantotappio on arvioitu alakanttiin tai haastattelussa arvioidut euromääräiset keskeytyksen aiheuttamat tuotantotappiot tunnin keskeytyksellä ovat yläkanttiin. Toisaalta haastattelussa kävi ilmi, että muutaman minuutin keskeytys on käytännössä aiheuttanut 8 tunnin tuotantotappion, minkä euromääräinen arvo puolestaan on linjassaan lyhyille keskeytyksille arvioitujen haittojen kanssa.

### 5.3 Metalliteollisuus

Metallien valmistamista ja jatkojalostusta harjoittavan teollisuuden piiristä haastateltavia kohteita oli kolme: M1, M2 ja M3.

#### 5.3.1 Tehdasalue M1

Tehtaalla M1 on sulatto- ja valssaamotoimintoja. Tehdas käy yleensä jatkuvasti; 24 tuntia vuorokaudessa, 7 päivää viikossa.

Seuraavassa taulukossa on esitetty, kuinka pitkän ajan tuotannon menetyksiä eripituiset sähkökatkot aiheuttavat eri osaprosesseille.

Taulukko 5.17. Sähkökatkojen aiheuttamia jalostusarvon menetyksiaikoja ja tappioita.

		<b>Kuinka pitkän ajan jalostusarvon menetystä sähkökatkon aiheuttama tuotantohäiriö vastaa</b>				
Tehdas	Osa-prosessi	alle 1 s – 15 min.	1 tunti	4 tuntia	12 tuntia	
1	1.1	1	2	4	96	tuntia
2	2.1	3	4	10	24	tuntia
2	2.2	3	5	9	28	tuntia
2	2.3	6	10	14	24	tuntia

Seuraavassa taulukossa 5.18 on esitetty vastaavasti muut kustannuskomponentit.

Taulukko 5.18. Sähkökatkoista aiheutuvia kustannusmenetyksiä.

Tehdas	Osa-prosessi	Sähkökatkon pituus	Kuinka pitkän ajan jalostusarvon menetystä tuotantohäiriö vastaa, [h]	Jalostusarvo, [€/h]/kW	Jalostusarvon menetys, [€/kW]	Pilaantuneet materiaalit, [€/kW]	Korjauskustannukset, [€/kW]	Ylimääräiset palkat, [€/kW]	Muut tappiot, [€/kW]	Tappiot yhteensä, [k€]
1.00	1.1	alle 1 s. - 15 min.	1	0.07	0.07	0.00	0.04	0.00	0.00	0.11
2.00	2.1	alle 1 s. - 15 min.	3	0.06	0.17	0.01	0.04	0.00	0.00	0.22
2.00	2.2	alle 1 s. - 15 min.	3	0.04	0.11	0.01	0.19	0.00	0.00	0.31
2.00	2.3	alle 1 s. - 15 min.	6	0.09	0.56	0.01	0.06	0.04	0.00	0.66
1.00	1.1	1 tunti	2	0.07	0.15	0.00	0.04	0.00	0.00	0.19
2.00	2.1	1 tunti	4	0.06	0.22	0.02	0.04	0.01	0.00	0.29
2.00	2.2	1 tunti	5	0.04	0.19	0.01	0.19	0.00	0.00	0.39
2.00	2.3	1 tunti	10	0.09	0.93	0.01	0.06	0.04	0.00	1.03
1.00	1.1	4 tuntia	4	0.07	0.30	0.00	0.04	0.00	0.00	0.33
2.00	2.1	4 tuntia	10	0.06	0.56	0.06	0.04	0.03	0.00	0.68
2.00	2.2	4 tuntia	9	0.04	0.33	0.30	0.19	0.02	0.00	0.84
2	2.3	4 tuntia	14	0.09	1.30	0.01	0.06	0.04	0.00	1.40

Taulukossa 5.19 on esitetty yhteenvedona alueen kahdelle tehtaalle lasketut KAH-parametrit sekä tehojen suhteen painottamalla saadut keskiarvot.

Taulukko 5.19. Tehdasalueen M1 KAH-arvot keskitehon suhteen normeerattuna.

Alle 1 s ... 4 h keskeytykset	A, €/kW	B, €/kWh	Painotus tehon perusteella
Tehdas 1	0.29	0.14	0.4
Tehdas 2	1.99	0.72	0.6
Yhteensä	1.31	0.49	

Haittakustannusten aikavaihtelun osalta oleellisin arvio oli, että jos tapahtuu muulloin kuin työaikana arkipäivänä (7-16), menetetään noin yhden tunnin enemmän tuotantoa. 15 minuutin sähkökatkolla tämä aiheuttaa kustannuksia lisää n. 20 %. KAH-arvoon tämän vaikutus on 14 %. Muuten arviot aikavaihteluista olivat aika minimaalisia.

### 5.3.2 Tehdasalue M2

Tehtaan toimialana on metalliteollisuus, tarkemmin teräksen valmistus romumetallista. Tehtaan sähkönsyöttö on hoidettu yhdellä 110 kV liityntäjohtolla sekä 10 kV syöttöjohtoilla, jotka tulevat suoraan läheiseltä voimalaitokselta. 110 kV syötön kuorman muodostaa kaksi valokaariuunia. Suuremman uunin teho vaihtelee voimakkaasti, pienempää ajetaan yleensä vakioteholla. Kaikki muut laitteet ovat 10 kV syötön perässä. Tässä yhteydessä käsitellään ainoastaan 110 kV syöttöä ja sen katkeamisen vaikutuksia.

Tehdas käy 6 päivää viikossa, 24 tuntia päivässä siten, että prosessin alasajo aloitetaan lauantaiaamuna ja ylösajo aloitetaan sunnuntaiaamuna. Tehtaalla ei ole omaa sähköntuotantoa.

Valokaariuunin kohdalla lyhyt muutaman minuutin katkos, kuten myöskään jännitekuoppa, ei aiheuta ongelmia. Pidemmän katkon kohdalla seuraa katkon jälkeen 3 tunnin tuotantokatkos.

Pitkien katkojen kohdalla kriittinen aika on noin kuusi tuntia, jonka jälkeen valu jäähtyy ja joudutaan kaatamaan pois. Lisätappioiden suuruutta tällaisessa tilanteessa ei kuitenkaan osattu arvioida. Katkojen haitat on esitetty taulukossa 5.20, ainoastaan odottamattomalle osattiin esittää haitta-arvot.

Taulukko 5.20. Keskeytyksestä aiheutunut haitta tehtaalla M2 suhteutettuna keskitehoon.

<b>Katkon kesto</b>	<b>Odottamaton katko, €/kW</b>
<b>alle 1 s</b>	0
<b>1... 2 min.</b>	0
<b>15 min</b>	1,8
<b>1 tunti</b>	2,5
<b>4 tuntia</b>	4,3
<b>12 tuntia</b>	9,3

Merkittävimmäksi kustannustekijäksi muodostuu tuotantotappio. Muut kustannukset ovat marginaalisia eikä näitä osattu arvioida tarkemmin.

Prosessin alasajo alkaa lauantaiamuna klo 9, ja viimeinen prosessi pysähtyy klo 15. Prosessin ylösajo puolestaan alkaa sunnuntaina klo 9. Tehtaan ollessa pysähdyksissä ei keskeytyksistä ole luonnollisesti oleellista haittaa. Muina aikoina keskeytyksen ajalla ei ole oleellista merkitystä. Tehtaan M2 KAH-parametrit haastattelun pohjalta on esitetty taulukossa 5.21.

Taulukko 5.21. Odottamattoman keskeytyksen KAH-arvot tehtaalla M2.

<b>KAH-parametri</b>	<b>Keskiteholla normeeratut arvot</b>	<b>Alle 2 min.</b>
<b>A [€/kW]</b>	0,93	0
<b>B [€/kWh]</b>	0,71	0

Etukäteen tiedossa olevalle keskeytykselle ei saatu haastattelussa euromääräisiä arvoja. Prosessi pystytään kuitenkin sujuvasti pysäyttämään ja käynnistämään uudelleen, mikä on luonnollisesti edellytys sille, että tehdas on pysähdyksissä yhden vuorokauden viikossa. Tämän perusteella voidaan olettaa, että keskeytyshaitat pienentyvät huomattavasti, mikäli keskeytyksestä saadaan tieto etukäteen.

Haastattelussa kartoitettiin keskeytyshaitan ohella myös tehtaan vuotuinen jalostusarvo. Tämä on muokattu tuntikohtaiseksi jalostusarvoksi (k€/h) huomioimalla, että tehdas ei käy jatkuvasti, vaan on pysähdyksissä lauantait, minkä lisäksi kesäisin on kolmen viikon huoltoseisokki. Näin laskettuna kolmen tunnin jalostusarvo vastaa taulukossa 5.20 esitettyä 15 minuutin keskeytyksen haitta-arvoa. Haastattelussa todettiin, että lyhyestä keskeytyksestä aiheutuu kolmen tunnin tuotantokatkos, joten edellisen perusteella voitiin todeta, että haastattelussa esitetyt keskeytyshaitat ovat hyvin linjassaan jalostusarvon perusteella määritettyjen tuotantotappioiden kanssa.

### 5.3.3 Tehdasalue M3

Tehdasalueella M3 on metallien jatkojalostukseen liittyviä valssaus-, sinkitys- ja maalauslinjoja.

Haastattelun mukaan alle 1 s – 1 tunnin. pituisten sähkökatkojen aiheuttama menetettyä jalostusarvoa kuvaava laskennallinen aika oli 2 tuntia, kun häiriö tapahtuu työaikana arkipäivänä (7-16). Vastaavasti 2 tunnin katkossa aika oli 6 tuntia.

Seuraavassa taulukossa 5.22 on esitetty, kuinka pitkän ajan tuotannon menetyksiä eripituiset sähkökatkot aiheuttavat eri osaprosesseille.

Taulukko 5.22. Sähkökatkojen aiheuttamat haitat tehdasalueella M3.

	Sähkökatkos	Menetetyn tuotannon aika	Tuotantokatkon kustannus, €/kW
Osaprosessi 1	1 s – 1 h	2 h	0,74
	2 h	6 h	2,21
	12 h	> 14 h	5,16
Osaprosessi 2	1 s – 1 h	2 h	3,02
	2 h	6 h	9,06
	12 h	> 14 h	21,13
Osaprosessi 3	1 s – 1 h	2 h	1,21
	2 h	6 h	3,61
	12 h	> 14 h	8,42
Yhteensä	1 s – 1 h	2 h	4,97
	2 h	6 h	14,88
	12 h	> 14 h	34,72
Romukustannus/katko			0,46

Em. tietojen pohjalta arvioiden katkon aiheuttama kustannus käyttäytyy melko epälineaarisesti. Koska valtaosa kantaverkon keskeytyksistä on varsin lyhytaikaisia, voitaneen kuitenkin painotta aikaväliä 1 s – 1 tunti. Tällä välillä saadaan tehtaan kokemaksi tappioksi ajasta riippumatta yhteensä 5,4 €/kW.

### 5.3.4 Yhteenveto metalliteollisuudesta

Metalliteollisuuden KAH-parametrit odottamattomalle keskeytykselle tehtaiden M1, M2 ja M3 osalta on koottu taulukkoon 5.23.

Taulukko 5.23. Metalliteollisuuden KAH-parametrit.

	Odottamaton keskeytys		Alle 1 s	
	A [€/kW]	B [€/kWh]	[€/kW]	
M1	1,31	0,49	1,31	
M2	0,93	0,71	0	
M3	5,4	0,0	5,4	
Ka.	2,55	0,40	2,24	

Aikavaihteluiden vaikutuksesta saatiin perusteltua arviota ainoastaan tehtaalta M1, jossa muulloin kuin työaikana arkipäivänä (7-16) menetetään noin yhden tunnin enemmän tuotantoa 15 minuutin katkon seurauksena. KAH-arvoon tämän vaikutus on 14 %. Muilla tehtailla ei oleellisia aikavaihteluita arvioitu olevan. Keskiarvoksi em. arvolla saadaan tällöin 5 %.

## 5.4 Liikenne

Liikenteen kantaverkkokulutus muodostuu kokonaisuudessaan sähköjunaliikenteestä. Tällä hetkellä Fingridin KAH-laskennassa on yhdistetty parametri liikenteelle ja pienteollisuudelle. Näiden kulutustyyppien erilaisuuden vuoksi on kuitenkin perusteltua jatkossa jakaa em. liityntäpisteet eri kulutusryhmiin.

Junaliikenteen koko vuoden 2007 energiankäytöstä sähkön osuus oli yli 80 %, lopun muodosti diesel-polttoaine [9]. Henkilöliikenteestä valtaosa hoidetaan sähköjunilla, sähkön osuus henkilöliikenteessä on 90 %. Tavaraliikenteessä dieseljunia on vielä hieman enemmän käytössä, sähkön osuus on kuitenkin tässäkin segmentissä n. 75 %. Junaliikenteen käyttämä sähköenergia oli vuonna 2007 yhteensä 658 GWh, diesel-öljyä puolestaan kului 41 milj.l. Sähköenergiasta 64 % kului henkilöliikenteessä, 35 % tavaraliikenteessä ja 1 % pelkkien veturien siirrossa. Diesel-öljystä puolestaan 11 % kului henkilöliikenteessä, 87 % tavaraliikenteessä ja 1,7 % veturien siirrossa [10]. Suomen ratapituus on yhteensä 5 899 km, josta sähköistettyä rataa on 3 047 km [9].

VR:n henkilöliikenteessä tehtiin vuonna 2007 kaikkiaan 66,7 miljoonaa matkaa, joista 53,7 miljoonaa lähiliikenteessä ja 12,5 miljoonaa kotimaan kaukoliikenteessä sekä 0,4 miljoonaa ulkomaan kaukoliikenteessä. Junia kaukoliikenteessä liikkui keskimäärin 310 päivässä ja lähiliikenteessä 890 päivässä. Henkilöjunaliikenteen kokonaismatkasuorite oli vuonna 2007 yhteensä 3,8 mrd. hkm, josta kotimaan kaukoliikennettä oli 2,8 mrd. hkm, kotimaan lähiliikennettä 0,8 mrd. hkm ja kansainvälistä kaukoliikennettä 0,1 mrd. hkm. Henkilöliikenteen liikevaihto oli vuonna 2007 370,2 milj.€ [9].

Tavaraliikenteessä kuljetettiin vuonna 2007 rahtia yhteensä 40,3 miljoonaa tonnia, josta kotimaanliikenteessä 26,2 milj. tn. Liikennesuoritteita oli yhteensä 10,4 miljardia tonnikilometriä, josta kotimaanliikenteessä 7,6 mrd. tnkm. VR Cargon liikevaihto vuonna 2007 oli 340,0 milj. €. Tavarajunia Suomen rautateillä liikkui keskimäärin 500 per päivä [9].

#### *5.4.1 Henkilöiden ja rahdin kokemaan viivästymishaittaan perustuvat arvot*

Junaliikenteen keskeytyshaittaa pohdittaessa on luontevinta ottaa lähtökohdaksi ihmisille ja rahdille myöhästymisestä aiheutuva keskimääräinen haitta. Tällöin analysoidaan, kuinka monelle henkilölle tai rahtitonnille sähkönsiirron keskeytys aiheuttaa matkan pysähtymisen, ja mikä on pysähtymisestä aiheutuva haitta (€/h,hlö tai €/h,tn). Henkilöliikenteessä myöhästymisestä aiheutuvat haitat riippuvat olennaisesti matkan luonteesta. Suomessa työaikana suoritettavan matka-ajan arvoksi on määritetty 24,08 €/h, kun taas vapaa-ajan matka-ajan arvo on 4,07 €/h. Junamatkoista työajan sisäisiä on keskimäärin 15 % ja muita matkoja 85 %. Tällöin keskimääräiseksi junamatkustajan ajan arvoksi muodostuu 7,1 €/h [11]. Kyseistä arvoa käytetään myös rataverkon investointien kannattavuuslaskelmissa, joka puoltaa sen käyttöä myös sähköverkosta peräisin olevien myöhästymisvaikutusten perusteena. Tällöin sekä sähköverkon että rataverkon investointien hyötyjä arvoidaan samoin perustein, joka on luonteva lähtökohta, kun tavoitteena on kansantaloudellisesti optimaalisten investointien toteuttaminen.

Junien matkustajamäärät luonnollisesti vaihtelevat sekä alueellisesti että ajankohdan, kuten viikonpäivän ja kellonajan, mukaan. Tämän vaihtelun huomioiminen KAH-arvon määrittämisessä ei kuitenkaan ole yksiselitteistä. Ensinnäkin tässä määritetään yksi KAH-arvo, jota käytetään kaikissa VR:n liittymispisteissä. Tämän vuoksi arvot eivät voi perustua alueellisiin liikennemääriin, vaan arvojen tulee olla käytettävissä kaikkialla Suomessa. Toisekseen Fingridin nykyisessä keskeytyskustannusten laskentamodiikassa huomioidaan vain kellonajan ja kuukauden vaikutukset haitta-arvoihin. Junaliikenteessä kuitenkin erityisesti viikonpäivällä on suuri merkitys, sunnuntain ja perjantain ollessa vilkkaimpia päiviä. Siten tässä tutkimuksessa lähtökohdaksi on otettu keskimääräinen junaliikenteen jakautuminen, sekä maantieteellisesti että ajallisesti. Em. syistä johtuen myös kauko- ja lähijunaliikenne on yhdistetty laskelmissa.

Henkilöliikenteessä tehtiin vuonna 2007 66 685 000 matkaa [9]. Mikäli oletetaan matkojen jakaantuvan tasaisesti, tästä saadaan 182 700 matkaa päivittäin. Henkilöjunavuoroja puolestaan oli liikenteessä yhteensä 1200 kpl/pv [9]. Siten jokaisessa junavuorossa oli keskimäärin 152 matkustajaa. Koska eri matkustajien matkojen pituudet vaihtelevat, junassa keskimäärin oleva henkilömäärä on jonkin verran em. lukua pienempi. Toisaalta junan viivästyminen voi aiheuttaa viivästymisiä myös jatkoyhteyksien matkustajille ja myös VR:lle syntyy ylimääräisiä kustannuksia. Koska nämä näkökohdat puolestaan lisäävät aiheutuvaa haittaa kompensoiden henkilömäärissä olevaa epätarkkuutta eikä tarkempia tietoja ole käytettävissä, käytetään seuraavissa suuntaa-antavissa tarkasteluissa em. 152 matkustajan kokemaa haittaa. Junan tunnin mittaisen pysähtymisen kustannukseksi matkustajien kannalta saadaan edellä esitetyn haitta-arvon ja junan matkustajamäärän perusteella keskimäärin 1 080 euroa. Henkilöliikenteen käyttämä sähköenergia on 420,9 GWh/a ja sähköjunien osuus henkilöliikenteestä on n. 90 %. Keskimääräiseksi junan käyttämäksi energiaksi yhdellä matkalla tulee siten 1,07 MWh. Lähteen [13] mukaan henkilöliikenteen junakilometrit olivat 34 601 000 km vuonna 2007. Kun huomioidaan, että junia kulkee päivittäin 1200 kpl, tulee tästä yhden junan keskimääräiseksi

matkaksi 79 km. Junien keskinopeus vaihtelee huomattavasti, riippuen etenkin siitä, onko kyseessä lähi- vai kaukojuna. Tyypillisen lähijunan keskinopeus on n. 50 km/h (esim. Helsinki-Riihimäki 71 km 1h 14 min => 58 km/h, Helsinki-Vantaankoski 15 km, 22 min => 41 km/h, Helsinki-Karjaa 38 km, 45 min => 50 km/h). Tyypillisen kaukojunan keskinopeus puolestaan on n. 100 km/h (esim. Pendolino Helsinki-Joensuu 482 km, 4 h 33 min => 106 km/h, Intercity Helsinki-Kajaani 607 km, 6 h 40 min => 91 km/h). Kun huomioidaan lähi- ja kaukojunien määrät (kaukojuna 310 ja lähijuna 890 per päivä), saadaan näin junien painotetuksi keskinopeudeksi 63 km/h. Siten yhden junan keskimääräisen matkan kesto-aika on 1 h 15 min. Edellä esitetyn mukaisesti tähän matkaan kuluu energiaa 1,07 MWh, joten junan keskitehoksi muodostuu 0,85 MW. Täten tunnin keskeytyksen haitta-arvoksi henkilöjunaliikenteelle muodostuu 1,27 €/kW.

Tavaraliikenteen osalta myöhästymisen haitat vaihtelevat voimakkaasti riippuen mm. rahtityypistä sekä rahtia käyttävän teollisuuden prosessien kriittisyydestä raaka-aineen suhteen. Ruotsissa tavaraliikenteen myöhästymisen kustannusten vaihteluväliksi on määritetty 0,02 – 2 €/tonnitunti [12]. Tavarajunaliikenteen vuotuinen liikennemäärä on 40,3 miljoonaa tonnia ja tavarajunia liikennöi Suomessa keskimäärin 500 per päivä [9]. Siten yhden junan keskimääräinen rahti on 220 tonnia. Edellä esitetyillä haittakustannuksilla tavarajunan tunnin seisahtumisen hinnaksi tulisi 4,4 – 440 euroa. Sähköliikenteen osuus tavaraliikenteessä on n. 75 % ja tavaraliikenteen sähköenergian vuotuinen kulutus 230,3 GWh. Siten yhden tavarajunan keskimääräinen sähköenergian kulutus matkan aikana on 1,68 MWh. Tavaraliikenteen junakilometrit olivat 17 976 000 km vuonna 2007 [13]. Kun huomioidaan, että junia kulkee päivittäin 500 kpl, saadaan tästä yhden tavarajunan kulkemaksi matkaksi 98 km. Tavarajunien tapauksessa keskinopeutta ei voida päätellä aikatauluista, kuten henkilöjunien kohdalla. Tavarajunien suurin sallittu nopeus on kuitenkin pienempi kuin henkilöjunilla, mutta niiden voidaan olettaa pysähtyvän harvemmin, mikä puolestaan kasvattaa keskinopeutta. Siten, koska parempaa tietoa ei ole käytettävissä, oletetaan tavarajunan keskinopeuden olevan sama kuin henkilöjunilla, 63 km/h. Siten 98 km pituiseen matkaan kuluu aikaa 1 h 34 min, jolloin junan keskitehoksi muodostuu 1,07 MW. Yhden tunnin keskeytyksen haitaksi tavarajunaliikenteessä tulee siten 0,0041...0,41 €/kW.

Nykyisin liiketoimintaketjun kaikissa vaiheissa pyritään minimoimaan väliavarastojen määrät, jolloin rahtiliikenteen aikataulut muodostuvat entistä kriittisemmiksi, mikä puoltaa em. haitta-arvon ylärajan käyttöä. Lisäksi, kun verrataan edellä esitettyjä henkilö- ja tavaraliikenteen liikevaihtoja ja liikennesuoritteita, havaitaan että tavaraliikenteessä tonnikilometrin hinta on noin kolmannes henkilöliikenteen henkilökilometrin hinnasta. Mikäli oletetaan haitta-arvojen olevan samassa suhteessa, on edellä esitetyn vaihteluvälin ylärajan arvon käyttö perusteltua jatkoanalyysissä.

Henkilöliikenne käyttää raideliikenteen sähköenergiasta 65 %. Mikäli tavarajunaliikenteen osalta valitaan suurin arvo, ja painotetaan henkilö- ja tavaraliikenteen arvoja energioiden suhteessa, saadaan junaliikenteen tunnin keskeytykselle haitta-arvoksi 0,97 €/kW.

Edellä esitetyt haittakustannukset koskevat vain tunnin mittaista keskeytystä. Jotta tästä voidaan määrittää keskeytyshaittaa kuvaavan arvon parametrit, tulee haitan lineaarisuus määrittää jollain tavoin. Lähteessä [12] on aikaisempiin tutkimuksiin viitaten todettu myöhästymiskustannusten olevan epälineaarisia siten, että myöhästymiskustannukset nousevat nopeasti 10 minuuttiin

saakka, jonka jälkeen kustannusten kasvu on loivempaa. Koska epälineaarisuuden asteesta ei kuitenkaan ole tietoa, oletetaan seuraavassa tekstissä keskeytyshaitan olevan lineaarinen.

Lyhyt virroittimen sähkökatko ei sinällään vaikuta junan kulkuun, mutta turvallisuussyistä juna pysäytetään sähkönsyötön katketessa. Mikäli oletetaan, että pysähdys ja sen jälkeinen kiihdytys lisää matka-aikaa noin viidellä minuutilla, voidaan KAH-parametrin tehokomponentiksi, samoin kuin AJK:n hinnaksi määrittää noin kymmenesosa tunnin keskeytyshaitasta. Lisäksi oletetaan että PJK ei aiheuta junan pysähtymistä. Näin määritetyt KAH-parametrit liikenteelle ovat taulukon 5.24 mukaiset.

Taulukko 5.24. Liikenteen KAH-parametrit

Odottamaton keskeytys, pysyvä vika		Ohimenevä keskeytys	
A [€/kW]	B [€/kWh]	AJK [€/kW]	PJK [€/kW]
0,1	0,9	0,1	0

Vuodenaika- ja tuntikertoimia liikenteen KAH-arvolle ei ole voitu määrittää, koska tarkempaa tietoa haittojen vaihtelusta ajankohdan mukaan ei ole ollut käytettävissä. Käytännössä haitta-arvon suuruus vaihtelee sen mukaan, kuinka suurelle matkustaja- tai rahtimäärälle keskeytys aiheuttaa myöhästymisen, ja mikä on rahdin ja matkustajien myöhästymisen yksikkökustannus (€/h) keskeytyksen ajankohtana. Matkustaja- ja rahtimääriin vaikuttavat rataosuuden junatiheys sekä junien täyttöaste. Junatiheys vaikuttaa kuitenkin myös keskeytyvään tehoon, joten se tulee huomioiduksi keskeytyskustannuslaskennassa joka tapauksessa. Junien täyttöaste vaihtelee puolestaan vuodenajan, viikonpäivän sekä kellonajan mukaan, mutta tästä vaihtelusta ei ole käytettävissä riittävän tarkkaa tietoa, johon perustuen eksaktin kertoimen haitta-arvon suuruudelle voisi määrittää. Kuten aiemmin on todettu, vaihtelee matkustajien myöhästymisen haitta sen mukaan, onko kyse työmatkasta vai vapaa-ajan matkasta. Oletettavaa on, että työmatkoja on enemmän arkipäivisin kuin viikonloppuisin ja iltaisin. Lisäksi vapaa-ajan matkustajien osuuden voidaan olettaa kasvavan kesäisin. Tarkempaa tietoa työ- ja vapaa-ajan matkustajien osuudesta ajankohdittain ei kuitenkaan ole ollut käytettävissä.

Edellä esitettyjen lisäksi keskeytyksen haitta-arvoon vaikuttaa vaunujen lämmitykseen käytettävän sähköenergian osuus, joka luonnollisesti vaihtelee vuodenajoittain. Keskeytyksen haitta-arvo lämmitysenergialle on selvästi pienempi kuin junan liikkumiseen käyttämän energian keskeytyshaitta, etenkin lyhyiden keskeytysten kohdalla. Tähän perustuen liikenteen KAH-arvon tulisi olla talvella pienempi kuin kesällä. Toisaalta edellä todettiin, että kesällä junamatkustajista suurempi osuus on vapaa-ajan matkustajia, joiden keskeytyksen haitta-arvo on pienempi kuin työmatkalaisten. Tämä puolestaan tasoittaa osaltaan lämmityksen osuuden kausivaihtelua.

#### 5.4.2 VR:n ja Ratahallintokeskuksen väliseen sanktiosopimukseen perustuvat haitat

Toinen vaihtoehto on lähteä laskemaan euromääräistä haittaa Ratahallintokeskuksen (RHK) ja VR:n välisen sopimuksen sanktiokustannuksesta. RHK maksaa VR:lle vakiokorvauksen, mikäli henkilöjuna myöhästyy yli 15 minuuttia tai mikäli tavarajuna myöhästyy yli 30 minuuttia. Näistä korvauksista lähtien voidaan määrittää junaliikenteen KAH-arvot. Tässä tapauksessa lähtökohdaksi voidaan ottaa se, että henkilöliikenteessä alle 15 minuutin ja tavaraliikenteessä alle

30 minuutin keskeytyksistä ei muodostu kustannuksia. Tällöin A parametri on siis nolla. B parametria määritettäessä 15 minuutin haitta-arvon oletetaan olevan neljäsosa tunnin keskeytyshaitasta ja 30 minuutin haitta-arvon puolestaan oletetaan olevan puolet tunnin haitta-arvosta. Koska sanktiokustannus on vakio em. aikarajojen jälkeen, antaa tämä oletus tunnin keskeytykselle liian suuren arvon. Siirtoverkon keskeytykset ovat kuitenkin lähes poikkeuksetta tuntia lyhyempiä, jolloin em. ajatusmallia voidaan käyttää. Kun käytetään edellä esitettyjä henkilö- ja tavarajunien keskitehoja ja näiden energiankäytön suhteita, saadaan tunnin keskeytyksen kustannukseksi 6,6 €/kW. Siten näin määritetyt keskeytyskustannusparametrit olisivat taulukon 5.25 mukaiset.

Taulukko 5.25. Liikenteen KAH-parametrit VR:n ja RHK:n väliseen sanktiosopimukseen perustuen.

Odottamaton keskeytyks, pysyvä vika		Ohimenevä keskeytyks	
A [€/kW]	B [€/kWh]	AJK [€/kW]	PJK [€/kW]
0,0	6,6	0,0	0,0

Tällöin keskeytyshaitan määrittäminen perustuu kuitenkin vain kahden toimijan väliseen sopimukseen, eikä niinkään keskeytyksen kansantaloudellisiin haittoihin. Siten aikaisemmin esitetty, henkilömatkustajien ja rahdin haittakustannuksiin perustuva laskentatapa on sopivampi, kun keskeisenä tavoitteena on muodostaa taloudelliset kannusteet siirtoverkon kansantaloudellisesti optimaalisille investoinneille.

## 5.5 Pienteollisuus

Pienteollisuus ja liikenne on nykyään yhdistetty samaan käyttäjäryhmään Fingridin KAH-laskennassa. Edellisessä luvussa on kuitenkin todettu, että liikenne tulee erottaa omaksi ryhmäkseen. Pienteollisuuden liitännäspisteitä Fingridillä on ainoastaan kolme kappaletta; yksi sementtiä valmistava tehdas (vuosienergia 225,2 GWh, huipputeho 34,16 MW), yksi konepajateollisuutta edustava yritys (vuosienergia 10,8 GWh, huipputeho 3,5 MW) sekä yksi puutarha (vuosienergia 6,7 GWh, huipputeho 3,16 MW).

Pienteollisuus - ryhmän osalta tulee pohtia sitä, voidaanko nykyiset liittyjät vaihtaa johonkin toiseen ryhmään. Käytännössä tämä edellyttää ryhmään kuuluvien yritysten tarkempaa analysointia. Käytännössä ryhmän ylläpitäminen kolmen asiakkaan vuoksi ei välttämättä ole mielekäästä, etenkin jos pienteollisuusasiakkaiden määrän kasvaminen ei ole oletettavaa tulevaisuudessa. Yhtenä vaihtoehtona on siirtää nämä liittyjät jakeluverkkoryhmän kuluttajiksi. Perusteena tällä on se, että jakelu- ja alueverkoissa on vastaavan suuruusluokan asiakkaita nykyiselläänkin. Konepajan kohdalla voidaan vaihtoehtoisesti myös sisällyttää se metalliteollisuuteen. Ehdotuksena pienteollisuuden osalta on käyttäjien jakaminen muihin ryhmiin ja pienteollisuusryhmän lakkauttaminen.

## 6 Sähköverkkoyhtiöitä koskevat tulokset

Jakeluverkkoyhtiöiden osalta haastatteluissa arvioitiin, että keskeytyshaitat kohdistuvat pääosin vain sähkönkäyttäjille ja muut kustannukset ovat varsin marginaalisia. Niinpä jatkossa keskityttiin sähkönkäyttäjille aiheutuvien haittojen arvostukseen.

Keskeytysten sähkönkäyttäjille aiheuttaman haitan osalta oli käytettävissä vuonna 2005 julkaistun selvityksen tulokset KAH-arvoista [3]. Lisäksi käytettävissä oli yksityiskohtaiset kuluttajaryhmäkohtaiset vuosienergiat muutaman vuoden takaa eräästä maaseutuverkkoyhtiöstä, jolla on myös merkittävästi maaseutujakelua. Erilaisia kuluttajaryhmiä oli 37 kpl. Kuluttajaryhmälle oli määritelty tuntipohjaiset kuormituskäyrämallit kullekin vuoden 8760 tunnille. Em. tietojen pohjalta laskettiin yhdistettyinä arvoina tuntipohjaiset kuormituskäyrät seuraaville kuluttajaryhmille: Asuminen (Kotitalous), Maatalous, Jalostus, Palvelu ja Julkinen kulutus. Painottamalla edelleen eri kuluttajaryhmien kuormituskäyriä niiden vuosienergioiden suhteessa päästiin koko yhtiötä koskevaan kuormituskäyrään sekä laskettiin niiden osuudet kokonaistehosta tunneittain. Eri yhtiöillä asiakasjakaumien oletettiin olevan likimain samanlainen em. kuluttajaryhmien sisällä ja yhtiökohtaiset kuormituskäyrät muodostettiin näille niiden eri kuluttajaryhmien energioiden suhteellisilla osuuksilla painottaen. Suurella maaseutuyhtiöllä tarkastelu tehtiin siten, että oletettiin viiden pääkulutusryhmän sisällä aliryhmien jakaumat edelleen samoiksi kuin edellä mainitulla maaseutuyhtiölläkin ja muutettiin vain viiden pääryhmän osalta niiden kokonaisuutta koko sähkön käytöstä. Vastaavaan tapaan laskettiin myös suurehkolle kaupunkiverkkoyhtiölle.

Vuonna 2005 julkaistun selvityksen pohjalta käytettiin liitteen 1 mukaisia energiapainotettuja KAH-parametreja ja niiden aikavaihteluita, jotka olivat normeerattu tiettyjen huipun käyttöaikojen mukaan [3]. Asumisen osalta käytettiin KAH-parametreina suorien kustannusten ja WTP-arvojen keskiarvoja. Parametreiksi muodostui 60 % suorien kustannusten arvioista. Maatalouden osalta käytettiin KAH-parametreina suorien kustannusten ja WTP-arvojen keskiarvoja. Parametreiksi muodostui 55 % suorien kustannusten arvioista. Muiden asiakasryhmien osalta käytettiin suorien kustannusten arvioita. Työajat arvioitiin likimain tunneittaisten tehonkäytön profiilien perusteella. KAH-arvot normeerattiin tämän jälkeen uudelleen vastaamaan tunneittain laskennallisia vuoden tuntitehoja.

Em. lähtötietojen pohjalta laskettiin kunkin yhtiön koko kulutukselle tunneittaiset KAH-arvot 1 tunnin pituiselle keskeytykselle. Tarkasteltujen kolmen yhtiön vaihteluväliksi 1 tunnin keskeytykselle saatiin 16,5 – 20 €/kW.

1 s ja 2 min. arvojen osalta meneteltiin vastaavaan tapaan. Em. pohjalta määritettiin myös kuukausittaiset keskimääräiset KAH-arvot ja koko vuoden keskimääräinen KAH-arvo energioiden mukaan painottaen. Näistä päästiin edelleen kuukausittaisiin kertoimiin. Vuorokauden tuntikertoimet laskettiin energioiden ja kuukausikertoimien mukaan painottaen.

Vuoden keskimääräiset KAH-parametrit laskettiin myös v. 1995 peräisin olevan valtakunnallisen asiakasjakauman mukaisesti. Jakaumana käytettiin: yksityinen kulutus 44 %, maatalous 7 %, julkinen kulutus 12 %, palvelu 21 % ja teollisuus 17 %. Tulokset on esitetty taulukossa 6.1.

Taulukko 6.1. Keskimääräiset jakeluverkkoyhtiöiden KAH-parametrit.

Odottamaton keskeytykys		Alle 1 s
A [€/kW]	B [€/kWh]	[€/kW]
1,9	16,1	1,5

1 tunnin keskeytyksen haitta vaihteli myös aiemmin lasketuilla yhtiöillä tämänkin suhteen rajoissa  $\pm 10\%$ . Koska vaihteluväli oli suhteellisen suppea, voinee erityyppisille verkkoyhtiöille soveltaa samoja keskimääräisiä parametreja. Näin menetellään myös jakeluverkkoyhtiöiden valvontamallissakin.

Taulukoissa 6.2 ja 6.3 on esitetty ensin laskemalla ja sitten vielä harkinnanvaraisesti muokaten saadut vuodenaika- ja vuorokaudenaikakertoimet.

Taulukko 6.2. Vuodenaikakertoimet jakeluverkkokulutukselle.

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kva	0,85	0,9	0,95	1	1,1	1,15	1,25	1,2	1,05	1	0,9	0,9

Taulukko 6.3. Tuntikertoimet jakeluverkkokulutukselle.

Päivät	Tunti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1...5	Kvp	0,6	0,6	0,6	0,6	0,65	0,7	0,8	0,95	1,3	1,5	1,55	1,5
6...7	Kvp	0,6	0,6	0,6	0,6	0,65	0,7	0,8	0,95	1,3	1,35	1,4	1,35
Päivät	Tunti	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1...5	Kvp	1,6	1,65	1,6	1,5	1,4	0,75	0,65	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
6...7	Kvp	1,4	1,4	1,4	1,2	1,1	0,75	0,65	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

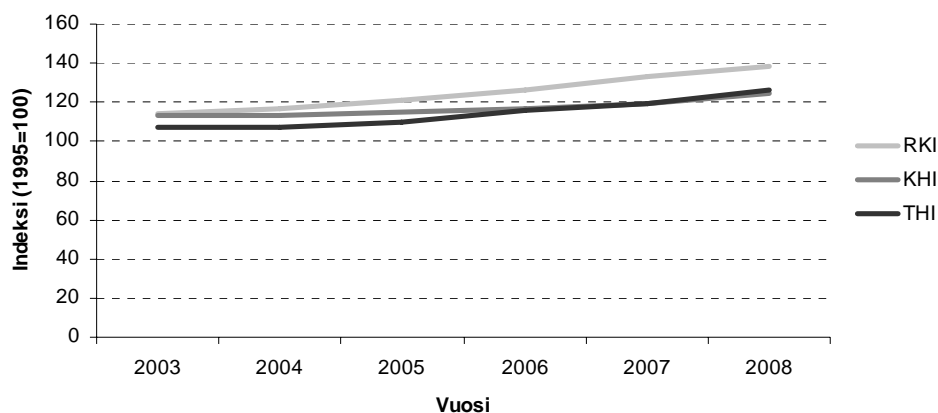
## 7 Parametrien päivittäminen jatkossa

Keskeytyskustannusparametreja tulee luonnollisesti päivittää jatkossa rahanarvon ja keskeytysten haittavaikutusten muuttuessa. Lähteessä [3] on todettu, että lyhyellä aikavälillä (5-10 vuotta), voidaan KAH-arvojen päivittämiseen käyttää kuluttajahintaindeksiä. Toisaalta samassa tutkimuksessa on todettu, että teollisuuden keskeytyshaittojen kehitystä kuvaa lähinnä bruttokansantuotteen kehitys.

EMV käyttää jakeluverkkoyhtiöiden valvonnassa rakennuskustannusindeksiä, jonka muutosten perusteella päivitetään regulaatiolaskelmissa käytettävät kustannustasot, mukaan lukien verkkopääoma, operatiiviset kustannukset sekä KAH-arvot. Lähteessä [14] on todettu, että rakennuskustannusindeksi kuvaa riittävällä tarkkuudella sähköverkonarvossa sekä verkkoyhtiöiden operatiivisissa kustannuksissa tapahtuvia rahanarvon muutoksia. Kantaverkon valvonnassa vastaavaa indeksiin sidottua kustannusten päivitystä ei käytetä, vaan kustannustiedot perustuvat kantaverkonhaltijan vuosittain tekemiin ilmoituksiin [15]. Kantaverkonhaltijan tehokkuuden arviointimenetelmän kehittämisen yhteydessä on eri vuosien kustannukset muutettu samanarvoisiksi käyttämällä tuottajahintaindeksiä, joka kuvaa kotimaassa kulutettujen tavaroiden hintakehitystä yritysten näkökulmasta [16]. Kyseisen indeksin käyttöä ei kuitenkaan ole em. lähteessä syvällisemmin perusteltu.

KAH-parametrien päivittämisen kohdalla on huolehdittava siitä, että kustannusten vuotuinen indeksipäivitys ei muuta oleellisesti kustannuskomponenttien keskinäisiä suuruussuhteita. Mikäli esimerkiksi pääomakustannuksia ja keskeytyskustannuksia päivitetään hyvin erilaisilla indekseillä, muuttuvat näiden väliset suhteet, ja siten esimerkiksi käyttövarmuusinvestoinnin kannattavuus muuttuu indeksipäivityksen vuoksi, mikä ei luonnollisestikaan ole suotavaa. Siten keskeytyskustannusparametrien päivityksessä käytettävän indeksin tulisi vastata operatiivisten kulujen ja pääomakustannusten vuotuista indeksimuutosta.

Kuvassa 7.1 on vertailtu rakennuskustannusindeksin (RKI), kuluttajahintaindeksin (KHI) sekä tuottajahintaindeksin (THI) muutoksia vuosien 2003 ja 2008 välillä. Kaikkien indeksien arvo vuonna 1995 on 100.



Kuva 7.1. Rakennuskustannusindeksi (RKI), kuluttajahintaindeksi (KHI) sekä tuottajahintaindeksi (THI) vuosina 2003 – 2008 [17].

Kuvasta nähdään, että tuottajahintaindeksi ja rakennuskustannusindeksi ovat kasvaneet samassa suhteessa, kun taas kuluttajahintaindeksi on kasvanut näitä maltillisemmin. Vuosien 2003–2007 välisenä aikana tuottajahintaindeksi on kasvanut 19 %, rakennuskustannusindeksi 21 % ja kuluttajahintaindeksi 10 %. Bruttokansantuote puolestaan on kasvanut em. vuosien välillä 17 %.

Koska tuottajahintaindeksi edustaa tavaroiden hintakehitystä yritysten näkökulmasta, voidaan sitä pitää kuvaavana, kun tarkastellaan teollisuuden kokemien keskeytyshaittojen arvon muutosta. Kotitalouskuluttajien keskeytyshaitat puolestaan muuttuvat lähinnä kuluttajahintaindeksin suhteessa. Toisaalta verkonhaltijan kannalta keskeytyshaittojen pienentäminen tarkoittaa verkostoinvestointeja, joiden kustannusmuutoksia on mm. jakeluverkkotoiminnan valvonnassa mallinnettu rakennuskustannusindeksillä.

KAH-parametrien päivityksessä käytettävän indeksin tulee korreloida riittävällä tarkkuudella asiakkaiden kokemien keskeytyshaittojen muutosten ohella myös kantaverkonhaltijan kustannustason muutosten kanssa. Koska tuottajahintaindeksi kuvaa sekä teollisuusasiakkaiden että kantaverkonhaltijan kustannustason muutoksia, ehdotetaan sitä käytettäväksi KAH-parameterien päivitykseen. Ennen lopullista indeksivalintaa tulee kuitenkin vielä varmistaa, että ko. indeksi vastaa kantaverkonhaltijan vuotuisessa kustannustasossa tapahtuneita muutoksia.

Indeksikorjauksen lisäksi KAH-parametreja voidaan jatkossa päivittää myös kyselytutkimuksilla, jossa kartoitetaan, ovatko keskeytysten aiheuttamat haitat oleellisesti muuttuneet tämän selvityksen jälkeen. Lähteessä [3] on todettu, että indeksipäivitys voidaan tehdä lyhyellä, 5-10 vuoden aikavälillä. Siten kyselytutkimuksia tulisi tehdä esimerkiksi joka toisen valvontajakson jälkeen.

## 8 Johtopäätökset ja yhteenveto

Sähkön toimituksen keskeytyksen aiheuttamaa haittaa (KAH) voidaan arvostaa rahamääräisenä arvona, jonka suuruus vaihtelee riippuen keskeytyksen kokoneesta sähkökäyttäjistä sekä keskeytyksen ajankohdasta ja pituudesta.

Tässä raportissa esitettävän tutkimuksen tavoitteita ovat olleet:

- Tuottaa päivitetty ja ajantasaiset KAH-arvot erityyppisille kantaverkon kulutuksille.
- Luoda menetelmät, joilla yksittäisen liittyjän KAH-arvo voidaan tarvittaessa luotettavasti ja puolueettomasti arvioida.
- Kehittää menetelmä, jolla keskimääräisiä KAH-arvoja voidaan tulevina vuosina päivittää kevyemmällä kyselyllä.

Raportissa on esitelty menetelmä, jolla voidaan tuottaa päivitetty KAH-arvo yksittäiselle sähkökäyttäjälle perustuen osana tutkimuksen toteutusta määriteltyyn haastattelulomakkeeseen sekä erityyppisten kantaverkkoon liittyvien asiakkaiden haastatteluihin. Menetelmän avulla raportissa on määritetty KAH-arvot erityyppisille kantaverkon kulutuksille. Raportissa on lisäksi tarkastelu menetelmiä, joiden avulla KAH-arvojen parametreja voidaan päivittää vuosittain esimerkiksi jonkin yleisesti tunnetun indeksin perusteella. Lisäksi haastattelulomakkeesta voitaisiin tehdä KAH-arvojen päivittämisen näkökulmasta olennaiset asiat sisältävä tiivistetympi ja pelkistetympi versio, joka voitaisiin kohdistaa merkittävästi suuremmalle sähkökäyttäjien joukolla kuin mitä nyt oli kohteena yksityiskohtaisemmissa haastatteluissa. Tällainen laajempi kysely rajattiin tällä kertaa kuitenkin hankkeesta pois.

Jakeluverkkojen osalta hyödynnettiin keskeytyksistä sähkökäyttäjille aiheutuvasta haitasta vuonna 2005 julkaistun selvityksen tuloksia.

Seuraavassa on esitetty tiivistetysti siirtoverkon häiriökeskeytysten aiheuttaman haitan laskentamalli ja KAH-parametrit, joiden osalta tutkimuksessa:

- Päivitettiin kulutuksen laadusta riippuvat teho- ja energiakertoimien arvot (€/kW ja €/kWh) kulutusryhmittäin.
- Määriteltiin arviointitapa häiriökeskeytyksen keston ja keskeytyvän tehon määrittämiselle siten, että se huomioi erityyppiset asiakkaat.
- Määriteltiin vuodenaika- ja vuorokaudenaikakertoimia kulutusryhmittäin.

### 8.1 Keskeytyskustannusten laskentamalli

Siirtoverkon häiriökeskeytysten aiheuttaman haitan laskentamalli voisi perustua seuraavan kaavan soveltamiseen:

$$KAH = (Kkl + Kai \times T) \times P \times Kva \times Kvp \times rahanarvokerroin \quad (8.1)$$

missä

- $Kkl$  = kulutuksen laadusta riippuva (teho)kerroin  
 $Kai$  = kulutuksen laadusta riippuva energiakerroin

- $T$  = häiriökeskeytyksen kesto  
 $P$  = pätöteho häiriökeskeytyksen alkaessa, joka määritetään liittymispisteen takana keskeytyvänä sähkön käytön tehona  
 $Kva$  = vuodenaikakerroin  
 $Kvp$  = vuorokaudenaikakerroin eli tuntikerroin

Jakeluverkkojen osalta tulee muodostaa keskimääräinen häiriökeskeytyksen kesto  $T$  siten, että toimittamatta jäänyt sähkö =  $T \times P$ . Mikäli sähkö saadaan palautettua jakeluverkkoyhtiöiden eri jakelualueille eripituisten aikojen kuluessa  $T = \sum (P_i \times T_i) / \sum P_i$ . Alaindeksi  $i$  viittaa tässä erilaisiin keskeytysalueisiin. Vaihtoehtoisesti kaavaa tulisi soveltaa erikseen kullekin erilaiselle keskeytysosa-alueelle.

Paperiteollisuuden, kemian teollisuuden sekä metallin valmistuksen ja jalostamisen osalta muodostettiin häiriökeskeytysten aiheuttaman haitan arvioinnin tueksi kustannusten rakennemalli ja haastateltiin yritysten edustajia. Näiden pohjalta saatiin aineisto, jonka perusteella voitiin määrittää keskeiset parametrit. Rakennemallissa keskeisinä tekijöinä ovat sähkökatkon aiheuttamien tuotantokeskeytysten pituudet ja eri kustannuskomponenteista koostuvat tappiot (jalostusarvon ja käyttökatteen menetys, vauriokustannukset jne.) sekä sähkön käyttötarve.

Lyhyiden keskeytysten haitta arvioitiin varsin merkittäväksi monissa teollisuuslaitoksissa. Alle sekunnin katkon seurauksena voi koko tehdas pysähtyä ja pahimmassa tapauksessa ylösajo kestää vuorokauden. Sisällyttämällä pitempien keskeytysten lisäksi myös jälleenkytkennöillä ohimenevien häiriöiden aiheuttama haitta keskeytyskustannusten laskentaan voidaan luoda insentiiveja verkon ja kantaverkon liittymäasiakkaiden omien toimenpiteiden kehittämiseen kansantaloudellisesti optimaaliselle laatutasolle. Jatkossa myös jännitekuoppien huomioimista entistä tarkemmin on syytä harkita.

## 8.2 KAH-parametrit

Seuraavissa taulukoissa 8.1 – 8.11 on yhteenveto tutkimuksessa määritetyistä kohdan 8.1 mukaisessa KAH-arvon laskennassa käytettävistä parametreista. Teollisuuden osalta tulokset vastaavat lähinnä vuoden 2007 kustannustasoa. Jakeluverkkojen osalta kustannustaso vastaa vuonna 2005 julkaistun selvityksen tasoa ilman indeksikorjauksia [3].

Taulukko 8.1. Tutkimuksessa määritetyt KAH-parametrit häiriökeskeytyksille.

	KULUTUKSEN LAATU	Odottamaton yli 1 s keskeytys		Odottamaton alle 1 s keskeytys
		A [€/kW]	B [€/kWh]	PJK [€/kW]
1	Paperi/massateollisuus	4,1	0,2	3,4
2	Kemian teollisuus	2,5	6,9	1,4
3	Metalliteollisuus.	2,5	0,4	2,2
4	Liikenne	0,1	0,9	0,0
5	Jakeluverkot	1,9	16,1	1,5



Taulukko 8.7. Tuntikertoimet metalliteollisuudelle.

Päivät	Tunti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1...5	Kvp	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6...7	Kvp	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Päivät	Tunti	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1...5	Kvp	1,0	1,0	1,0	1,0	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
6...7	Kvp	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05

Taulukko 8.8 Vuodenaikakertoimet liikenteelle.

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kva	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Taulukko 8.9. Tuntikertoimet liikenteelle.

Päivät	Tunti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1...5	Kvp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6...7	Kvp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Päivät	Tunti	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1...5	Kvp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6...7	Kvp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Taulukko 8.10. Vuodenaikakertoimet jakeluverkkokulutukselle.

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kva	0.85	0.9	0.95	1,0	1.1	1.15	1.25	1.2	1.05	1,0	0.9	0.9

Taulukko 8.11. Tuntikertoimet jakeluverkkokulutukselle.

Päivät	Tunti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1...5	Kvp	0.6	0.6	0.6	0.6	0.65	0.7	0.8	0.95	1.3	1.5	1.55	1.5
6...7	Kvp	0.6	0.6	0.6	0.6	0.65	0.7	0.8	0.95	1.3	1.35	1.4	1.35
Päivät	Tunti	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1...5	Kvp	1.6	1.65	1.6	1.5	1.4	0.75	0.65	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
6...7	Kvp	1.4	1.4	1.4	1.2	1.1	0.75	0.65	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

## Lähdeluettelo

- [1] Selvitys toimittamatta jääneen sähkön arvosta, Sähköntuottajien yhteistyövaltuuskunta, suunnitteluvaliokunta STYV-S, raportti 1/79, helmikuu 1979.
- [2] Kostnader för elavbrott, Nordisk Ministerråd, 1992 – 1993
- [3] Silvast, A., Heine, P., Lehtonen, M., Kivikko, K., Mäkinen, A., Järventausta, P., Sähköjakelun keskeytyksestä aiheutuva haitta, Teknillinen korkeakoulu ja Tampereen teknillinen yliopisto, Joulukuu 2005.
- [4] Gates, J., Wacker, G., Billinton, R. Development of Customer Survey Instruments for Reliability Worth Evaluation in Electric Power Systems. Proceedings of IEEE WESCANEX 95.
- [5] Wacker, G., Billinton, R. Customer Cost of Electric Service Interruptions. Proceedings of the IEEE, Vol. 77, No. 6, June 1989.
- [6] Carlsson, F., Martinsson, P. Willingness to Pay among Swedish Households to Avoid Power Outages – A Random Parameter Tobit Model Approach. Working Paper in Economics no. 154. Department of Economics, Gothenburg University, Sweden. December 2004.
- [7] Kariuki, K. K., Allan, R. N. Factors affecting customer outage costs due to electric service interruptions. IEE Proceedings of Generation, Transmission and Distribution, Vol. 143, No. 6, November 1996.
- [8] Cigre Task Force 38.06.01, Methods to Consider Customer Interruption Costs, August 2001.
- [9] Vuosikertomus 2007, VR Oy.
- [10] Mäkelä, K., Tuominen, A. ja Pääkkönen, E. Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä RAILI 2007. VTT-R-10302-08
- [11] RHK. 2004. Ratahallintokeskus. Ratainvestointien hankearviointiohje. Ratahallintokeskuksen julkaisu B 12.
- [12] Salkonen. 2008. Salkonen, R. Rautatieliikenteen täsmällisyyden mittaaminen. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 15/2008, s. 47.
- [13] Ratahallintokeskus. 2008. Suomen rautatietilasto 2008.

- [14] Energiamarkkinavirasto, Menetelmät sähkön jakeluverkkotoiminnan tuoton määrittämiseksi 1.1.2008 alkavalla ja 31.12.2011 päättyvällä valvontajaksolla. Energiamarkkinavirasto, Helsinki, 2008
- [15] Energiamarkkinavirasto, Menetelmät sähkön kantaverkkotoiminnan tuoton määrittämiseksi 1.1.2008 alkavalla ja 31.12.2011 päättyvällä valvontajaksolla. Energiamarkkinavirasto, Helsinki, 2008
- [16] Vanhanen, J., Syrjänen, M. Tehokkuuden arviointimenetelmän kehittäminen kantaverkkotoiminnalle. Julkinen loppuraportti, Gaia Consulting Oy, Helsinki, 2007.
- [17] [www.stat.fi](http://www.stat.fi), viitattu 13.1.2009

## Liite 1 KAH-arvostusten lähtötietoja vuonna 2005 valmistuneen selvityksen pohjalta

Seuraavat KAH-arvot ovat peräisin viitteestä [3].

### Kotitalous

Kotitalouden keskeytyshaitan arvostuksen energiapainotetut keskiarvot sekä WTP-arvot

	Yllättävä keskeytys haitallisimpaan aikaan talvella arkipäivänä					WTP 1 h
	1 s	2 min.	1 h	12 h	24 h	
€/kW	0,23	0,84	5,8	43,8	147,6	1,1

			Tunnin yllättävän keskeytyksen haitta			
			talvi arki	talvi pyhä	kesä arki	kesä pyhä
€/kW	aamulla	klo 5-10	5,3	4,3	4,2	3,5
	päivällä	klo 10-16	5,1	5,3	4,2	4,3
	illalla	klo 16-23	6,2	5,9	4,8	4,5
	yöllä	klo 23-5	3,7	3,7	3,1	2,8

### Maatalous

Maatalouden keskeytyshaitan arvostuksen energiapainotetut keskiarvot sekä WTP- ja WTA-arvot

		Yllättävän keskeytyksen haitta				
		1 s	2 min.	1 h	12 h	24 h
€/kW	talvi	0,17	0,98	10,6	37,2	102,2
	kevät	0,01	0,28	6,0	13,4	54,7
	kesä	0,04	0,26	3,9	10,6	52,4
	syksy	0,47	1,25	13,9	38,3	115,1

	WTP 1 h	WTA 1 h
€/kW	1,3	9,6

			Tunnin yllättävän keskeytyksen haitta			
			talvella	kevällä	kesällä	syksyllä
€/kW	aamulla	klo 5-10	12,7	5,5	3,3	8,9
	päivällä	klo 10-16	20,0	14,1	2,6	16,2
	illalla	klo 16-23	13,0	5,8	3,7	10,9
	yöllä	klo 23-5	12,9	4,4	1,9	9,9

## Julkinen kulutus

Julkisen kulutuksen keskeytyshaitan arvostuksen energiapainotetut keskiarvot

		Yllättävän keskeytyksen haitta					
		1 s	2 min.	15 min.	1 h	4 h	8 h
€/kW	talvi työaika	1,9	2,6	2,9	13,6	52,1	70,6
	talvi ei-työaika	0,6	1,0	1,7	4,4	13,7	31,5
	kesä työaika	1,9	2,7	2,9	10,3	22,6	70,6
	kesä ei-työaika	0,6	1,0	1,8	3,8	11,5	28,9

## Palvelu

Palveluiden keskeytyshaitan arvostuksen energiapainotetut keskiarvot

		Yllättävän keskeytyksen haitta					
		1 s	2 min.	15 min.	1 h	4 h	8 h
€/kW	talvi työaika	1,8	3,0	9,4	27,6	67,8	117
	talvi ei-työaika	0,4	0,5	1,5	4,6	10,0	18,2
	kesä työaika	1,3	3,2	8,4	26,3	58,4	126
	kesä ei-työaika	0,5	0,5	1,1	4,1	12,2	17,9

## Teollisuus

Teollisuuden keskeytyshaitan arvostuksen energiapainotetut keskiarvot

		Yllättävän keskeytyksen haitta					
		1 s	2 min.	15 min.	1 h	4 h	8 h
€/kW	talvi arki työaika	1,9	2,5	6,5	17,0	53,1	104,4
	talvi ei-työaika				2,7		