

Iiro Kaskisuo

Etäluettavien sähkömittareiden sähkönlaatu- pahtumien hyödyntäminen operatiivisessa toi- minnassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

8.5.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Iiro Kaskisuo Etäluettavien sähkömittareiden sähkölaatu tapahtumien hyödyntäminen operatiivisessa toiminnassa 45 sivua 8.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Palvelupäällikkö Jaana Varis Lehtori Tuomo Heikkinen
<p>Insinööriä tehtiin Caruna Oy:n toimeksiantona tarkoituksena kartoittaa sähkölaatu tapahtumien tämänhetkistä hyödyntämistä yrityksen operatiivisessa toiminnassa ja selvittää mitä kehitysmahdollisuuksia sähkölaatu tapahtumien hyödyntämiseen liittyy.</p> <p>Työssä tarkastellaan jakeluverkon sähkölaatua ja siihen liittyviä raja-arvoja sekä sähköntoimitukseen liittyvää toimitusvarmuutta ja lainsäädäntöä.</p> <p>Sähkölaatu tapahtumia tarkasteltaessa käytettiin Carunan sisäisiä dokumentteja ja järjestelmätietoja sekä yrityksen henkilöstön haastatteluita. Näin saatiin selkeä kokonaiskuva sähkölaatu tapahtumien käytöstä ja mahdollisuuksista Carunan sisällä.</p> <p>Työn tavoitteet saavutettiin ja työssä saatiin selville sähkölaatu tapahtumien tämänhetkisen hyödyntämisen tilanne. Tapahtumia hyödynnetään vikojen paikantamiseen ja tunnistamiseen sekä keskeytysten tarkasteluun Carunan käyttötoiminnoissa ja asiakkuusyksikössä. Ilmi nousi myös kehitysmahdollisuuksia liittyen esimerkiksi henkilöstön kouluttamiseen, uusiin sähkölaatu tapahtumaideoihin sekä laatu tapahtumien tuomiseen verkkotietojärjestelmään. Työtä on mahdollista hyödyntää uusien mahdollisuuksien kehittämisessä.</p>	
Avainsanat	Sähkölaatu, sähkölaatu tapahtumat

Author Title Number of Pages Date	Ilro Kaskisuo The Utilizing of Electrical Quality Events of an Automatic Meter Reading in Operational Activities 45 pages 8 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Jaana Varis, Service Manager Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer
<p>This thesis was made for Caruna in order to discover the ways of utilizing quality events of automatic meter readings in operational services and to find out what kind of possibilities there would be in utilizing those events in the future.</p> <p>Electrical quality and its limits are examined and the rules and legislation of electrical distribution are observed. Caruna's inner documents and system data are examined. Staff of the company were also interviewed in order to form a clear picture of the use of quality events and possibilities related to those events inside Caruna.</p> <p>It was found that electrical quality events are used when locating and identifying faults in the electrical grid. Events are also used when examining outages in the grid. New development possibilities were found, for example for training company's staff. Also, ideas of new quality events and bringing quality events as part of the network information system were considered.</p> <p>The goals set to this thesis were reached and the current situation of utilizing of the quality events was discovered. Also, the development possibilities related to quality events was clarified and this thesis can be used when developing the possibilities.</p>	
Keywords	Electrical quality, quality events

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Caruna	2
3	Sähkönlaatu	2
3.1	Verkkotaajuus	4
3.2	Jakelujännitteen suuruus ja jännitetaso vaihtelut	5
3.3	Jännitteen epäsymmetria ja yliaaltojännitteet	7
4	Sähkömarkkinalaki ja toimitusvarmuusvaatimukset	9
4.1	Sähkömarkkinalaki ja verkkopalveluehdot	9
4.2	Sähkön toimitusvarmuus	10
4.3	Keskeytykset	11
5	Etäluettavat sähkömittarit ja sähkönlaatu tapahtumat	15
5.1	Etäluettavat sähkömittarit	15
5.2	Järjestelmät	17
5.3	Sähkönlaatu tapahtumat	18
5.3.1	Echelon- mittarien sähkönlaatu tapahtumat	19
5.3.2	Tulevaisuuden tarpeita	20
5.3.3	Sähkönlaatu tapahtumien tämän hetkinen hyödyntäminen	21
6	Sähköverkon vikoja	23
6.1	Keskijänniteviat	23
6.2	Asiakkaan verkon tai laitteen viat	26
6.3	Vikapaikan haku sähkönlaatu tapahtumien avulla	27
7	Sähkönlaatu tapahtumien käyttö eri tiimeissä	29
7.1	Asiakkuudet	29
7.1.1	Asiakaspalvelu	30
7.1.2	Asiakaskokemus	30
7.1.3	Mittaus tiimi	31
7.1.4	Verkkosopimushallinta ja verkkopalvelut	31
7.2	Käyttötoiminnot	32

7.3	Verkkosuunnittelu	34
8	Tulokset	37
8.1	Sähkönlaatutapahtumien hyödyntäminen	37
8.2	Kehitysmahdollisuuksia sähkönlaatutapahtumista	39
9	Yhteenveto	42
	Lähteet	44

1 Johdanto

Carunan etäluettavat sähkömittarit rekisteröivät suuren määrän sähkötekniisiä tietoja verkon tilasta ja asiakkaan kuormituksesta. Sähkönlaatutapahtumat ovat etäluettavan sähkömittarin tapahtumatietoja, jotka rekisteröityvät järjestelmään sähköverkon tilan muuttuessa. Tämän insinööriyön tarkoitus on kartoittaa ja dokumentoida käytössä olevat sähkönlaatutapahtumat ja se, mistä eri tilanteista ne voivat johtua ja miten niitä voitaisiin mahdollisimman tehokkaasti hyödyntää operatiivisessa toiminnassa. Tässä työssä operatiivisella toiminnalla tarkoitetaan kaikkea päivittäistä työtä liittyen yrityksen toimintaan esimerkiksi Carunan asiakkuuksien hoitamisessa, omaisuudenhallinnassa ja verkonkäyttötoiminnoissa.

Lainsäädännön (Sähkömarkkinalaki SML) mukaan verkkoyhtiön on tarjottava asiakkailleen standardin SFS-EN 50160 mukaiset vaatimukset täyttävää sähköä. Virallisesta mitausasetuksesta [1] löytyy minimivaatimukset, mitä mittarin pitää rekisteröidä. Laatutietoja ei kuitenkaan vaadita lainsäädännössä vaan nykylainsäädännössä vaaditaan ainoastaan keskeytysten rekisteröinti. [2.] Etäluettavien mittareiden käyttöönoton jälkeen Carunalla pystytään laatutietoja tarkastelemaan kuitenkin sähkönkäyttöpaikkatasolla.

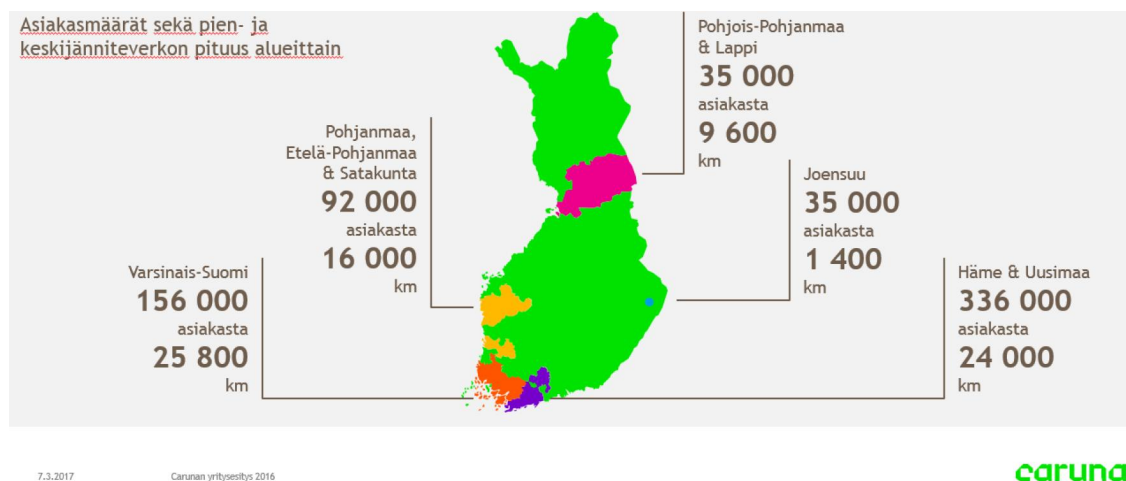
Ennen etäluettavia mittareita sähkönlaatutietoja on saatu Carunan verkossa vain sähköasemasella, mutta etäluettavat sähkömittarit mahdollistavat sähkönlaadun tarkastelun asiakaskohtaisesti. Tällä hetkellä sähkönlaatutapahtumia on tarkasteltu vain yksittäisiltä käyttöpaikoilta asiakkaiden reklamaatioiden perusteella. Sähkönlaatutapahtumia voisi olla mahdollista hyödyntää muillakin yrityksen osa-alueilla esimerkiksi pienjänniteverkon saneerauksessa siten, että priorisoidaan verkon alueet, joista tulee enemmän laatuilmoituksia. Sähkönlaatutapahtumia voisi olla myös hyödyllistä saada enemmän esimerkiksi asiakaspalvelun käyttöön, mikä voisi helpottaa yksinkertaisempien vikatilanteiden ratkaisussa. Työn pohjalta voidaan saada myös näkökulmaa tulevaisuutta ajatellen: mitä uusia sähkönlaatutapahtumia voitaisiin tarvita uusien ongelmien edessä tulevaisuudessa.

Tässä insinööriyössä hyödynnetään sähkömittareilta saatavia sähkönlaatutapahtumatietoja, joita voidaan tarkastella Carunan palveluntarjoajan järjestelmästä, sekä esimerkiksi tapauksia sähkönlaatureklamaatioista. Näiden avulla pystytään tutkimaan, mitkä viat voivat aiheuttaa sähkönlaatutapahtumia ja miten niitä on hyödynnetty reklamaatiotapauksissa. Työn aikana haastatellaan henkilöstöä Carunan eri yksiköistä pyrkimyksenä

saada selkeämpi kokonaiskuva sähkölaatu tapahtumien tämänhetkisestä käytöstä eri yksiköissä sekä tulevaisuuden tarpeista ja kehitysmahdollisuuksista.

2 Caruna

Caruna on vuonna 2014 perustettu sähkönsiirto-yhtiö. Se on Suomen suurin sähkönsiirto-yhtiö, joka toimii yli 80 kunnassa ja sillä on noin 20 prosentin osuus Suomen paikallisen sähkönsiirron markkinoista. Carunalla on noin 650 000 yksityis- ja yritysasiakasta Lounais-, Etelä- ja Länsi-Suomessa, Joensuussa, Koillismaalla sekä Satakunnassa. Carunan omistavat suomalaiset eläkevakuutusyhtiöt Keva ja Elo sekä kansainväliset infrastruktuurisijoittajat First State Investments ja Borealis Infrastructure. Carunan asiakas- ja verkkomäärät alueittain ovat kuvassa 1. Caruna suunnittelee, rakentaa ja ylläpitää verkkoa siten että se täyttää yhteiskunnan ja asiakkaiden vaatimukset. Caruna työllistää suoraan noin 2000 ja välillisesti noin 4000 henkilöä Suomessa. [3.]



Kuva 1. Carunan asiakasmäärät ja verkon pituus alueittain [3].

3 Sähkönlaatu

Sähkönlaatu on tärkeää toimivan sähkönjakelun kannalta. Jakeluverkon sähkönlaatu koostuu jännitteen eri ominaisuuksista. Carunan jakeluverkon sähkönlaadun pitää täyttää Suomessa noudatettavien standardien laatuvaatimukset, muuten sähköntoimitus

katsotaan sähkömarkkinalain 97 §:n mukaan virheelliseksi. Jännitteen pitää täyttää standardin mukaiset laatuvaatimukset liittymiskohdassa pienjännite- ja keskijännitejakeluverkoissa. Standardi SFS-EN 50160 määrittelee jakeluverkon jännitteen ominaisuuksille rajat. Standardi koskee vain normaaleja olosuhteita, eikä poikkeuksellisia tilanteita, joihin jakeluverkon haltija ei pysty vaikuttamaan. Poikkeuksellisia tilanteita voivat olla esimerkiksi sääolosuhteet ja luonnonkatastrofit, ulkopuolisten aiheuttamat häiriöt, viranomais-ten toimista aiheutuneet poikkeukset, työmarkkinataistelut, ylivoimainen este ja ulkopuo- lisista tapahtumista aiheutuva tehonvaja- us. Tässä työssä sähkönladulla tarkoitetaan usein jännitteen laatua. Jännitteen tason vaihtelu on se, joka vaikuttaa eniten asiakkaan kokemaan sähkönladtuun ja reklamaatioihin. [2;5.]

Sähkön käyttö on lisääntynyt yhteiskunnassa viime vuosien aikana ja sitä myötä myös sähkön ladun merkitys on kasvanut. Sähkönladtuun vaikuttavat lisääntynyt kulutus ja uusien sähkölaitteiden käyttämisen yleistyminen. Esimerkiksi sähkömoottorikäyttöiset sovellukset, kuten pumput voivat vaikuttaa jakeluverkon jännitteenladtuun suurehkojen käynnistysvirtojen takia. [4.]

Asiakkaiden sähkönladtua voidaan seurata käyttöpaikkakohtaisesti sähkönladutapahtu- mien avulla. Sähkönladulle yksittäisellä kulutuspaikalla ei ole kuitenkaan aktiiviseuran- taa vaan Carunan saamat tiedot sähkönladutapaikkojen sähkönladusta perustuvat asi- akkaiden tekemiin reklamaatioihin tai korvausvaatimuksiin. Näiden reklamaatioiden pe- rusteella voidaan tarkastella sähkönladutapahtumien avulla järjestelmästä onko säh- könladtu ollut standardin mukaista. Sähkönladtuilmoitukset tulevat kuitenkin vain silloin, kun mittari havaitsee jonkinlaisen poikkeaman esimerkiksi liian matalan jännitteen. Pie- nille standardin sisäpuolella vaihteleville arvoille ei siis ole ladun seurantaa.

Jännitteen ladu koostuu seuraavista ominaisuuksista:

- Verkkotaajuus
- Jakelujännitteen suuruus
- Jännitetason vaihtelut
- Nopeat jännitemuutokset

- Epäsymmetria
- Jännitekuopat
- Yliaaltojännitteet
- Käyttötaajuiset ylijännitteet
- Transienttiylijännitteet [5.]

3.1 Verkkotaajuus

Sähköverkon sähkö on sinimuotoista vaihtosähköä, jolla on taajuus. Taajuus tarkoittaa jännitteen perusaallon jaksomäärää mitattuna tietyssä ajanjaksossa. Jännitteen taajuus on Suomen sähköverkossa 50 Hz. [5;6.]

Sähkönlaatuun ei taajuuden osalta vaikuta yksittäisen asiakkaan sähkönkäyttöpaikan sähkölaitteet ja niiden kuormitus. Taajuus voi kuitenkin vaihdella sähkön tuotannon ja kulutuksen vaihdellessa, ja se määräytyy pohjoismaisen yhteiskäyttöverkon mukaan. Taajuus mitataan verkon taajuuden keskiarvona 10 sekunnin aikavälillä ja standardi SFS-EN 50160 määrittelee sähköverkon taajuuden suuruuden. Yhteiskäyttöverkoissa taajuuden suuruus on oltava standardin mukaan 99,5 % vuodesta välillä 49,5–50,5 Hz ja 100 % ajasta välillä 47–52 Hz. Erillisverkoissa taajuuden suuruus on oltava 95 % viikosta välillä 49-51Hz ja 100 % ajasta välillä 42,5 Hz–57,5 Hz. [5;6.]

3.2 Jakelujännitteen suuruus ja jännitetason vaihtelut

Jakelujännitteen suuruus

Jakelujännite on jännitteen tehollisarvo liittämiskohdassa. Pienjänniteverkon nimellisjännite on 230 V vaiheen ja nollajohtimen välillä. [5.]

Jännitteen suuruuteen vaikuttavat muun muassa verkon kuormitus, verkon mitoitus ja liittämiskohdan sijainti verkossa. Verkon kuormittaminen laskee jännitettä ja liian heikoksi mitoitettu verkko voi aiheuttaa jännitekuoppia. Jännitteenalenema kasvaa matkan kasvaessa. Jännite laskee sen mukaan mitä kauempana esimerkiksi liittymä sijaitsee jakelumuuntamolta. [5.]

KytKentätoimenpiteet sähköverkossa aiheuttavat hetkellisiä jännitepiikkejä. Jännitetaso mitataan tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvona, jolloin esimerkiksi kytkentöjen aiheuttamat hetkelliset ylijännitteet eivät vääristä mittausta. [5;6.]

Jännitetason vaihtelut

Jännitetason hitaat vaihtelut ovat jännitetason nousemista tai laskemista, joka johtuu sähköverkon tai sen osan kokonaiskuormituksen vaihtelusta. Standardin SFS-EN 50160 mukaan jakelujännitteen pitää täyttää seuraavat ehdot:

Pienjänniteverkossa 95 % jännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvoista on oltava välillä $U_n \pm 10 \%$ ja kaikkien tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvojen on oltava välillä $U_n +10 \% / -15 \%$.

Keskijänniteverkossa jakelujännitteen U_c tehollisarvon 10 minuutin keskiarvon suuruus on oltava 99 % ajasta välillä $U_c \pm 10 \%$ normaaleissa käyttöolosuhteissa ja 100 % ajasta jännitteen 10minuutin tehollisarvon keskiarvon on oltava välillä $U_c \pm 15 \%$. [5;23.]

Nopeat jännitemuutokset

Nopeat jännitemuutokset ovat standardin rajojen sisäpuolella tapahtuvaa jännitteen nousemista ja laskemista. Nopeat jännitemuutokset voivat aiheutua esimerkiksi suurikuor-

maisten laitteiden kytkennöistä asiakkaan verkossa. Nopean jännitteen muutoksen suuruus ei tavallisesti ylitä 5 % nimellisjännitteestä. Epätasainen suuri kuormitus tai laitteiden/järjestelmien kytkeminen voi aiheuttaa useita peräkkäisiä jännitetason muutoksia, mikä voi aiheuttaa muutoksia eri valonlähteiden valon voimakkuudessa. Tämä valon voimakkuuden muutos voi aiheuttaa näköaistimuksen, jota kutsutaan välkynnäksi. Välkyntä koetaan usein häiritseväksi ja sitä aiheuttavat tyypillisesti yksivaiheiset suuren ja epätasaisen kuormitusvirran ottavat laitteet kuten hitsauslaitteet tai pumpput. Välkynnän ärsyttävyyttä tarkastellaan lyhytaikaisella häiritsevyysindeksillä P_{st} ja pitkäaikaisella häiritsevyysindeksillä P_{lt} . Nopeat jännitemuutokset ja niiden aiheuttamat häiriöt sähköverkossa ovat vaikeasti hallittavissa, koska ne aiheutuvat yleensä sähkönkäyttäjien omista laitteista käyttöpaikan sisäisessä verkossa. [4;5.]

Tyypillinen reklamaatio sähkönlaadusta koskee välkyntää. Markkinoille tulevat CE-merkityt laitteet testataan aina ennen markkinoille tuomista. Laitteiden testiympäristö ei kuitenkaan ole luonnollinen ympäristö eikä vastaa todellista käytännön tilannetta kovinkaan usein. Laitteet testataan yleensä hyvin jäykässä verkossa, jonka oikosulkuvirran arvo voi olla testitilanteessa suurempi kuin käytännön jakeluverkko. Käytännön jakeluverkko ei ole välttämättä yhtä vahva kuin testiympäristön [5]. Esimerkiksi uudelle 25 A suuruiselle liittymälle vaaditaan oikosulkuvirran lasketuksi arvoksi yleensä vähintään 250 A. Vanhemmille asennuksille oikosulkuvirran arvo voi olla vielä pienempi, koska verkkoon sovelletaan sen rakentamisajan määräyksiä [7]. Käytännön tilanne ei siis välttämättä vastaa testitilannetta, minkä takia standardien mukainen testattu laite saattaa aiheuttaa sähköverkossa välkyntää vaikka sitä ei testitilanteessa ole ollut [4].

Jännitekuopat

Jännitekuoppia ovat suuremmat kuin -10 % jännitemuutokset, joiden jälkeen jännite palautuu lyhyen ajan kuluttua normaalille tasolle. Niitä syntyy asiakkaiden verkkojen kuormituksien muutoksista sekä sähköverkon tai asiakkaan sisäisen verkon vioista. Jännitekuopan kesto on välillä 0,01 s–3 min. [5;6]

Jännitekuopat voivat näkyä asiakkaalla valojen vilkkumisena, tai ne saattavat vaikuttaa sähkökatkolta. Jotkin laitteet sammuvat liian alhaisen jännitteen takia, ja joissain tapauksissa laitteita voi rikkoutua alhaisen jännitteen vuoksi. [5.]

Ylijännitteet

Ylijännitteet voivat aiheuttaa laitteiden rikkoutumista sähkönkäyttäjän sisäisessä verkossa tai komponenttien rikkoutumista sähköverkossa. CE-merkityt laitteet testataan ylijännitepiikkien varalta ennen markkinoille saattamista. Ylijännitteet voidaan jakaa käyttötaajuisiin ylijännitteisiin ja transienttiylijännitteisiin. Käyttötaajuisella ylijännitteellä tarkoitetaan verkon taajuudella olevaa pidempikestoista ylijännitettä, joka johtuu useimmiten kytkennöistä tai vioista sähköverkossa. Esimerkiksi nollavika tai kuorman äkillinen aleneminen voi aiheuttaa käyttötaajuisia ylijännitteitä. [5.]

Transienttiylijännite voi aiheutua esimerkiksi ukkosesta tai kytkentätoimenpiteistä. Transienttiylijännite on lyhytaikainen ylijännite, joka vaimenee nopeasti ja on kestoaltaan millisekunteja. [5.]

3.3 Jännitteen epäsymmetria ja yliaaltojännitteet

Epäsymmetria

Epäsymmetria tarkoittaa sitä, että vaihejännitteiden arvot tai niiden väliset kulmat eivät ole yhtä suuria. Epäsymmetria johtuu tavallisesti epätasaisesta yksivaihekuormituksesta, mikä johtuu pienjänniteverkossa yksivaiheisista sähkölaitteista. Epäsymmetriaa voi aiheuttaa myös esimerkiksi maasulku tai vaiheen puuttuminen sulakkeen palettua. [5.]

Yliaaltojännitteet

Yliaaltojännitteet ovat sinimuotoista jännitettä, jonka taajuus on jännitteen perusaallon taajuutta suurempi. Harmonisen yliaaltojännitteen taajuuden suuruus on perusaallon taajuus kokonaisluvulla kerrottuna ja epäharmonisen yliaaltojännitteen taajuus on harmonisten yliaaltojen välissä. Yliaallot aiheuttavat häiriöitä verkkoon ja voivat rikkoa sähkölaitteita. [5.]

Harmonisen yliaallon jännitettä kuvataan vertaamalla sen suhteellista amplitudia perustaajuuden jännitteeseen. Harmonisia yliaaltojännitteitä voidaan kuvata harmonisella kokonaissäröllä THD (Total Harmonic Distortion). Yliaaltojännitteitä aiheuttavat yleensä

epälineaariset kuormat sähkönkäyttöpaikoilla. Tehoelektroniikkaa sisältävät laitteet, kuten erilaiset suuntaajat, purkauslamput ja teholähteet aiheuttavat verkkoon yliaaltovirtoja, joista aiheutuu yliaaltojännitettä. [5.]

Standardin SFS-EN 50160 on määritelty, että 95 % yksittäisten yliaaltojännitteiden 10 minuutin tehollisarvoista tulee olla pienempiä tai yhtä suuria kuin taulukossa 1 annetut arvot. [5;6.]

Taulukko 1. Yliaaltojen järjestysluku ja niiden suhteelliset jännitteet [5].

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset		järjestys- luku n	suhteelli- nen jännite
järjestys- luku n	Suhteelli- nen jännite	järjestys- luku n	suhteelli- nen jännite		
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Harmonisen kokonaissärön 10 minuutin tehollisarvon keskiarvon on oltava 95 % ajasta pienempi tai yhtä suuri kuin 8 %, kun otetaan huomioon yliaallot järjestyslukuun 40 saakka. Epäharmonisille yliaaltojännitteille ei ole asetettu vaatimustasoa. [5;6.]

4 Sähkömarkkinalaki ja toimitusvarmuusvaatimukset

Caruna noudattaa liiketoiminnassaan sähkömarkkinalakia ja muuta lainsäädäntöä. Standardien vaatimukset täyttämällä pyritään varmistamaan, että sähkö on hyvälaatuista. [2.] Toimitusvarmuuteen liittyvät sähkönjakelun keskeytykset. Sähkönjakelun keskeytyksiä ja sitä kautta kuluttajilla näkyviä sähkökatkoja pystytään seuraamaan käyttöpaikkakohtaisesti sähkömittareilta sähkönlaatutapahtumien avulla.

4.1 Sähkömarkkinalaki ja verkkopalveluehdot

Sähkömarkkinalaki on keskeinen osa sähköalan lainsäädäntöä. Sähkömarkkinalailla pyritään varmistamaan sähkömarkkinoiden tehokas toiminta kohtuuhintaisen ja hyvälaatuisen sähkön osalta. Sähkön laatu on määritelty verkonhaltijan yleisten velvoitteiden kautta. Nämä velvoitteet koskevat verkon kehittämisvelvollisuutta ja verkkopalveluiden hinnoittelua. Verkonhaltijan ja asiakkaan välisessä sopimuksessa on määritelty sähköntoimituksen virhe.

Sähkömarkkinalain 97 §:ssä määritellään, että sähköntoimitus on virheellinen, jos sähkönlaatu ei vastaa sovittua. Jos muuten ei ole sovittu, niin sähköntoimitus on virheellinen, mikäli sähkö ei laadultaan vastaa suomessa noudatettavia standardeja tai jos sähköntoimitus on yhtäjaksoisesti tai toistuvasti keskeytynyt eikä keskeytystä voida pitää keskeytyksen syy ja olosuhteet huomioon ottaen vähäisenä. [2.]

Verkkopalveluehdot (VPE14)

Verkkopalveluehdot ovat säännöt, jotka ovat kaikkien verkkosopimusten liitteenä. Ne ovat Energiateollisuus ry:n suosittamat, kuluttajaviraston tarkastamat ja energiaviraston hyväksymät. Niiden sisältö pohjautuu sähkömarkkinalainsäädäntöön. Verkkopalveluehtoja sovelletaan keskijännitteiseen tai pienjännitteiseen jakeluverkkoon liittyneen asiakkaan verkkopalvelussa ja ne ovat osa verkon haltijan ja sähkönkäyttäjän välistä verkkosopimusta. Verkkopalvelu tarkoittaa verkonhaltijan toimintaa, jonka avulla sähköä voidaan jakaa jakeluverkossa asiakkaalle. Verkkopalveluehdoissa määritellään verkkopalvelun virhe sekä oikeudet hinnanalennuksiin ja vahingonkorvauksiin. Verkkopalvelussa on virhe, jos sähkönlaatu tai toimitustapa ei vastaa sitä, mitä on sovittu. Esimerkiksi

vahingonkorvausasioissa vahinkojen korvaaminen edellyttää, että sähkönjakelussa on tapahtunut sähkön laatua tai toimitustapaa koskeva virhe. Verkkopalveluissa, kuten sähkömarkkinalaissa, on viitattu nykyisin voimassa olevaan standardiin SFS-EN 50160.[8;9.]

4.2 Sähkön toimitusvarmuus

Sähkön toimitustapa tarkoittaa sähköntoimituksen sopimuksenmukaisuutta ja sähkön toimitusvarmuutta. Sähkön toimitustapaa arvioidaan sähkön toimituksen keskeytyksettömyydellä sekä verkonhaltijan ja asiakkaan välisten asiakaskohtaisten sopimusten toteutumisella. [5.]

Sähköntoimituksen virheellisyys ei ole yksiselitteistä. Sille ei ole selkeitä virherajoja, koska keskeytyksiin vaikuttavat paljon ulkopuoliset olosuhdeasiat. Jos sähköntoimitus keskeytyy yhtäjaksoisesti tai toistuvasti eikä keskeytystä voida pitää keskeytyksen syy ja olosuhteet huomioon ottaen vähäisenä, on sähköntoimitus virheellinen. Toimitustapa-virhe voi syntyä myös, mikäli keskeytyksestä ei ilmoiteta asianmukaisesti asiakkaalle. Verkkopalveluehtojen VPE14 mukaan suunnitellusta keskeytyksestä on tiedotettava sähkönkäyttäjälle. [5;8.]

Sähköntoimitukselta ei voida edellyttää keskeytyksettömyyttä, vaikka siihen pyritäänkin. [10]. Keskeytysten määrää ja kestoaikaa on mahdollista vähentää esimerkiksi sähköverkon investoinneilla ja viankorjausvalmiuden ylläpitämisellä. Täysin varman verkon rakentaminen ei kuitenkaan ole käytännössä mahdollista, koska se vaatisi niin suuria investointeja, että asiakkaiden käyttämien palveluiden hinnat nousisivat suhteettoman korkeiksi. [5.]

Sähkömarkkinalaki asettaa vaatimuksia jakeluverkon suunnittelulle, rakentamiselle ja ylläpidolle. Lain mukaan jakeluverkko on suunniteltava ja rakennettava ja sitä on ylläpidettävä siten, että jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta verkon käyttäjälle asemakaava-alueella yli 6 tuntia ja muualla alueella yli 36 tuntia kestäväää sähkönjakelun keskeytystä. Edellä mainitut vaatimukset pitää

täyttyä vuoteen 2028 mennessä. Laki ei kuitenkaan ole määritellyt virherajaa sille, kuinka pitkä keskeytys lasketaan virheeksi sähkötoimituksessa. [5.]

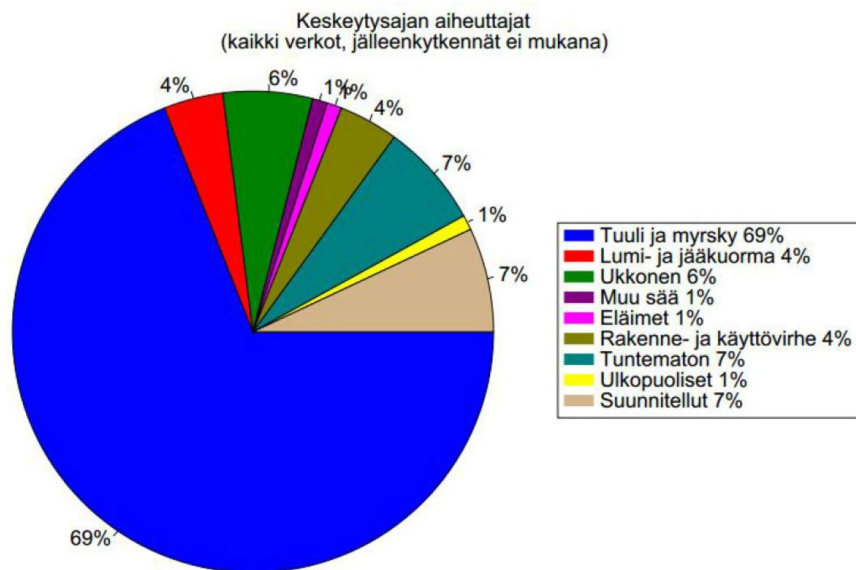
4.3 Keskeytykset

Sähkönjakelu voi keskeytyä eri syistä. Keskeytykset aiheutuvat yleensä ulkoisista olosuhteista kuten sääilmiöistä ja eläimistä, mutta ne aiheutuvat myös verkon rakennevi-oista sekä huolto-kunnossapito- ja verkonrakennustoimenpiteistä. Asiakkaiden kokemat keskeytykset pyritään minimoimaan, mutta verkkotoiminnan kaikilta keskeytyksiltä ei voida välttää. [5.]

Sähkönjakelun keskeytykset voidaan jakaa vikakeskeytyksiin ja suunniteltuihin keskeytyksiin. Vikakeskeytys on verkon viasta tai henkilöstön/järjestelmien toiminnasta aiheutunut keskeytys. Vikakeskeytykset johtuvat yleensä sääolosuhteista, kuten myrskyistä, lumesta ja ukkosesta. Ne voivat johtua myös esimerkiksi ulkopuolisen henkilön toiminnasta. [5.]

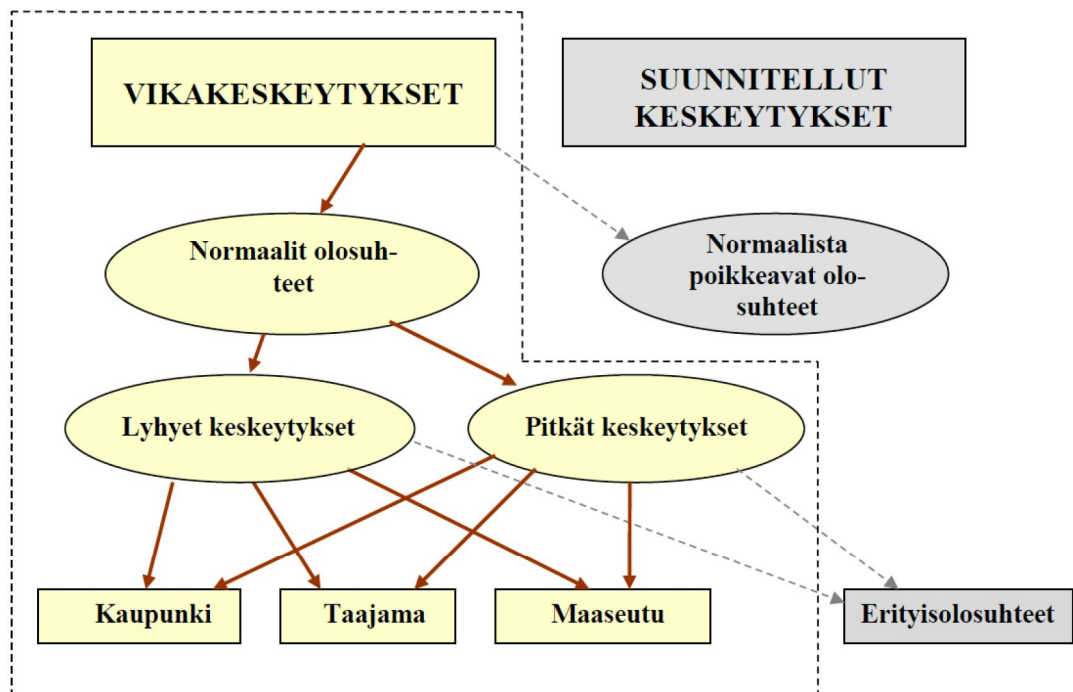
Suunniteltu keskeytys ilmoitetaan asiakkaalle etukäteen. Suunniteltuja keskeytyksiä järjestetään, koska niiden aikana verkkoa parannetaan ja huolletaan. Verkon parantaminen ja huoltaminen ovat välttämättömiä toimenpiteitä sähkötoimituksen takamiseksi. Suunnitelmallinen keskeytys on hallittu ja ilmoittamatta jäänyt suunniteltu keskeytys on toimitustapavirhe. Hallituksen esityksessä 20/2013 määritellään, että lyhyistä muutamien minuuttien keskeytyksistä ei ole tarpeen ilmoittaa etukäteen, koska lyhyisiin keskeytyksiin täytyy varautua muutenkin etukäteen. [5.]

Taulukko 2. Keskeytysten aiheuttajat sähköverkossa [5].



Keskeytysten aiheuttaja on havainnollistettu taulukossa 2 [5].

Keskeytysten jaottelu vikakeskeytyksiin ja suunniteltuihin keskeytyksiin on havainnollistettu kuvassa 2 [5].



Kuva 2. Vikakeskeytykset ja suunnitellut keskeytykset sähköverkossa [5].

Vikakeskeytykset voidaan jakaa kahteen ryhmään:

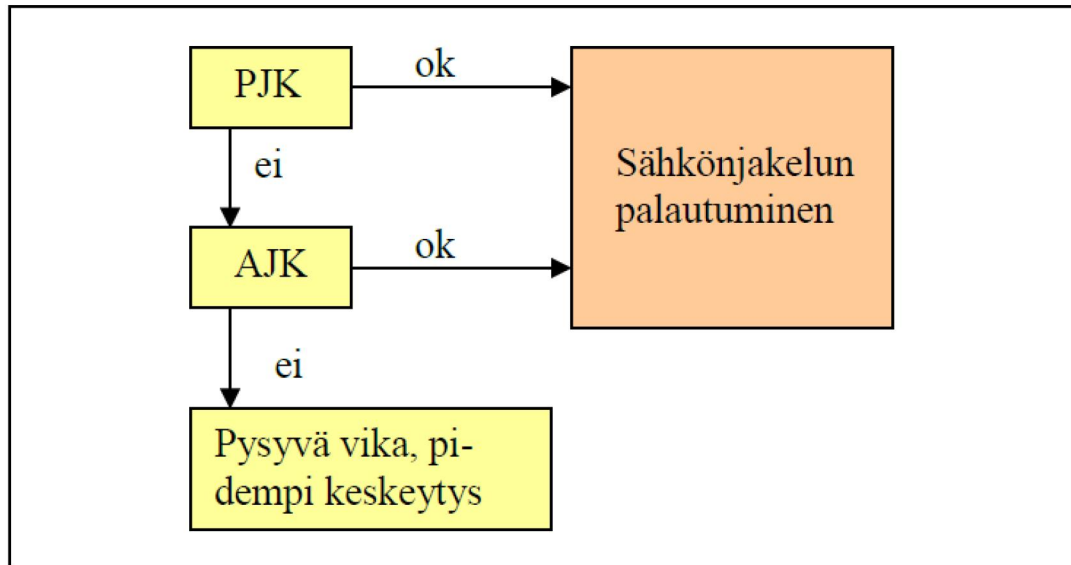
- lyhyisiin, alle kolmen minuutin keskeytyksiin
- pitkiin, yli kolmen minuutin keskeytyksiin

Sähkömarkkina- ja Hallituksen esityksessä 20/2013 on määritelty, että sähkötoimituksen virhe riippuu olosuhdetekijöistä. Virhettä määriteltäessä on otettava huomioon keskeytyksen pituus, keskeytyksen syy ja muut olosuhteet. [2;10.]

Lyhyet keskeytykset

Lyhyitä keskeytyksiä on enintään kolmen minuutin mittaiset keskeytykset. Lyhyet keskeytykset johtuvat useimmiten verkon jälleenkytkennöistä tai kaapeliverkossa vikakohdan etsintätoimenpiteistä. [5.]

Jälleenkytkennät ovat suojaustoimenpiteitä, joilla pyritään saamaan vika kuitattua pois verkosta niin, ettei synny pitempiaikaisia keskeytyksiä. Havaitessaan vian sähköverkossa, automatiikka tekee ensin alle sekunnin kestävän pikajälleenkytkennän (PJK). Jos vika ei ole poistunut, seuraa noin minuutin kuluttua automaattinen aikajälleenkytkentä (AJK). Mikäli häiriö ei ole poistunut näiden jälleenkytkentöjen aikana, sähkönjakelu keskeytyy pidemmäksi aikaa. Jälleenkytkennät aiheutuvat yleensä, kun ukkonen, puu tai eläin aiheuttaa oikosulun tai maasulun. Jälleenkytkennät ovat tehokas keino, joilla voidaan ehkäistä pidempiä keskeytyksiä. Havainnollistaminen jälleenkytkennöistä on kuvassa 3.[5.]



Kuva 3. Jälleenkytkennät sähköverkossa [5].

Suuri määrä jälleenkytkentöjä voi olla asiakkaalle merkittävä haitta, joten suuri jälleenkytkentämäärä voidaan laskea jossakin tapauksessa sähkötoimituksen virheeksi. [5.]

Taulukko 3. Lyhyiden keskeytysten määrien suositusrajat [5].

Olosuhde	Lyhyiden keskeytysten määrä / vuosi
Kaupunki	20
Taajama	50
Haja-asutus	100
Erityisolosuhteet	Yhtiön määriteltävissä

Lyhyille keskeytyksille on määritelty suositusrajat taulukossa 3.

Pitkät keskeytykset

Pitkäksi keskeytykseksi luokitellaan kaikki kestoaltaan yli kolmen minuutin keskeytykset. Lain mukaan keskeytys alkaa siitä hetkestä, kun verkonhaltija saa keskeytyksestä tiedon. Keskeytys katsotaan päättyneeksi, kun asiakkaan sähköt saadaan kytkettyä päälle. [5.]

Keskijännite- ja suurjänniteverkon keskeytyksistä saadaan tieto automaattisesti tietojärjestelmän kautta, mutta pienjänniteverkon keskeytykset tulevat tietoon yleensä vasta asiakasilmoituksen perusteella. Yksittäisten asiakkaiden keskeytystietoja voi tarkastella etäluettavan sähkömittarin sähkölaatu tapahtumista. Asiakas on oikeutettu vakikorvaukseen, jos keskeytyksen pituus ylittää 12 tuntia. [5.] Verkkopalveluehtojen mukaan sähkönkäyttäjän on ilmoitettava havaitsemastaan viasta [8].

Taulukko 4. Suositusraajat pitkille keskeytyksille sähköverkossa [5].

Olosuhde / vian sijainti	Pj- tai Kj -verkko	Pj - muuntamo	Sähköasema ja sitä syöttävä oma verkko	Muu verkko
Kaupunki	4	8	12	ei virhettä
Taajama ja haja-asutus	8	8	12	ei virhettä
Erityisolosuhteet	yhtiön määriteltävissä	yhtiön määriteltävissä	12	ei virhettä

Pitkien keskeytyksien määrälle ei ole määritelty lainsäädännössä rajaa, mutta niille on määritelty virherajasuositukset. Suositukset ovat tuntimäärinä taulukossa 4. [6.]

5 Etäluettavat sähkömittarit ja sähkölaatu tapahtumat

5.1 Etäluettavat sähkömittarit

Etäluettavilla sähkömittareilla on korvattu vanhanmalliset sähkömittarit, joissa ei ollut mahdollisuutta etäluentaan. Etäluettavilla mittareilla tiedot sähkönkulutuksesta ja sähkölaadusta kulkevat digitaalisesti sähköverkkoa pitkin sähkönkäyttöpaikan ja verkkoyhtiön välillä eikä mittarilukemia tarvitse ilmoittaa erikseen. Sähkönkulutuksen seuranta on helpottunut sekä asiakkaalle että verkkoyhtiölle, mutta myös laadunseuranta Carunalla on muuttunut etäluettavien sähkömittareiden myötä. Sähkölaatu tapahtumien avulla voidaan tarkastella sähkönkäyttöpaikan sähkölaatua. [1;11;12.]

Sähkömittareiden muutos etäluettaviin tapahtui Valtioneuvoston asetuksen perusteella. Suomessa astui 1.3.2009 voimaan Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta, jossa vaadittiin, että Suomessa vähintään 80 % verkkoyhtiöiden asiakkaista tulee olla tuntimittauksen ja etäluennan piirissä vuoden 2013 loppuun mennessä. [1.]

Tiedonsiirto mittareilta järjestelmiin tapahtuu keskittimen kautta. Data siirretään PLC (Power Line Communication) tekniikan avulla keskittimelle, josta keskitin ottaa yhteyden

järjestelmiin 3G tai GPRS-yhteydellä. Etäluennan avulla sähkönkulutuksen laskutus perustuu ajantasaiseen sähkönkäyttöön. Lähes jokainen sähkömittari on Suomessa etäluettava. [12;13;14.]

Carunalla on käytössä yksivaiheisia ja kolmivaiheisia mittareita. Kolmivaiheiset mittarit voivat olla suoria tai epäsuoria. Epäsuorat mittaukset ovat käyttöpaikoissa, joissa on yli 63A:n sulake. Epäsuorissa mittauksissa mittaus toteutetaan virtamuuntajien avulla. Landis+Gyr- mittareita käytetään lähinnä epäsuorissa mittauksissa pienjännitekäyttöpaikoilla sekä keski-jännitemittauksissa. Echelonilla on sekä suoria että epäsuoria mittareita ja yksivaiheisia sekä kolmivaiheisia mittareita. Mittauspalveluntarjoaja hoitaa Echelon-mittareiden tuntiaikasarjojen ja sähkönlaatu tapahtumien luennan ja niiden toimittamisen Carunalle. [15.]

Sähkönlaatu tapahtumat lähetetään keskitelmelle tapahtumahetkellä. Osa sähkönlaatu tapahtumista on saatavina hälyttävinä, eli ne ovat sellaisia, että keskitin itse ottaa yhteyden käyttökijärjestelmään heti, kun on mahdollista. [14,12] (kuva 4 keskitin, kuva 5 Landis+Gyrin 3 vaiheinen epäsuora mittarin, kuva 6 Echelon 3-vaiheinen suora mittari.)



Kuva 4. Keskitin.



Kuva 5. Kolmivaiheinen epäsuora mittari.



Kuva 6. Kolmivaiheinen suora mittari.

5.2 Järjestelmät

Carunassa käytetään työkaluina erilaisia järjestelmiä, joita hyödynnetään yrityksen toiminnassa. Esimerkiksi reklamaatiokäsitellyssä tarvitaan useampia järjestelmiä, joiden kautta tietoja siirretään ja haetaan. Tässä esitellään joidenkin järjestelmien käyttötarkoituksia ja siitä, miten ne liittyvät sähkönlaatutapahtumien hyödyntämiseen.

- Järjestelmä sähkönlaatutapahtumia varten

Caruna saa tiedot sähkömittarien sähkönlaatutapahtumista palveluntarjoajalta. Palveluntarjoajan järjestelmästä voidaan tarkastella sähkönlaatutapahtumia käyttöpaikkakohtaisesti. Sähkönlaatutapahtumat rekisteröityvät mittarille heti tapahtumahetkellä ja kulkeutuvat sitten keskittimen kautta järjestelmään. Järjestelmästä on nähtävissä tapahtumien alku- ja loppuajankohdat sekä se, mikä tapahtuma on kyseessä. Mittariin voi ottaa järjestelmän kautta myös suoran yhteyden, jolloin nähdään mittarin status sillä hetkellä. [11.]

- Käytäntökijärjestelmä

Käytäntökijärjestelmää käytetään Carunan käyttötoiminnoissa esimerkiksi käyttökeskuksessa. Järjestelmässä nähdään sähköverkon tila ja kytkennät reaaliaikaisena. Käytäntökijärjestelmään saa osan sähkölaatu tapahtumista suoraan hälytyksenä. Sitä kautta pystyy myös ottamaan suoraan yhteyden sähkömittariin sen statuksen tarkistamista varten. [11;16.]

- Raportointijärjestelmä

Raportointijärjestelmää käytetään laajasti erilaisten raporttien laatimiseen. Järjestelmään on tuotu myös sähkölaatu tapahtumien tiedot, joten niitä voi tarkastella myös tätä kautta. Raportointijärjestelmässä sähkölaatu tapahtumia voi tarkastella karttapohjalla, johon tapahtumat saa näkyviin käyttöpaikoittain.

5.3 Sähkölaatu tapahtumat

Sähkölaatu tapahtumat ovat etäluettavan sähkömittarin tallentamia tapahtumatietoja, joiden avulla saadaan tieto käyttöpaikan sähkölaadusta. Verkkoyhtiö on vastuussa sähkölaadusta liittymispisteeseen saakka. Sähkömittari on yleensä sijoitettu asiakkaan sähkökeskukseen pääkytkimen jälkeen. Jos pääkytkin on auki, ei mittarilta kulje tietoja keskittimelle. [11.]

Sähkölaatu tapahtumia voisi mahdollisesti hyödyntää laajemminkin kuin tällä hetkellä. Palveluita hankittaessa tarkastellaan kuitenkin niiden tuomaa taloudellista merkitystä. Esimerkiksi etäluettavien sähkömittareiden asentaminen muuntamoille, joista saataisiin kollektiivisesti tietoon muuntopiirin sähkölaatu tapahtumat, voisi helpottaa vian paikannusta entisestään. Mittarin asentaminen jokaiselle muuntamolle ei olisi kuitenkaan välttämättä taloudellisesti järkevää, kun sitä verrataan sähkölaatu tapahtumista saataviin hyötyihin.

Sähkölaatu tapahtumia voidaan hyödyntää esimerkiksi pienjänniteverkon ja keskijänniteverkon vikojen selvittämisessä ja paikantamisessa.

5.3.1 Echelon- mittarien sähkönlaatutapahtumat

Seuraavassa on lueteltu Echelon- mittarien sähkönlaatutapahtumat, joista palveluntarjoaja toimittaa tiedot Carunalle. Jännitettä mitataan 5 minuutin keskiarvona:

- Outage (LOUT) Keskeytys, jonka kesto on yli 3 minuuttia (kaikki vaiheet).
 - ShortOutage (SOUT) Keskeytys, jonka kesto on alle 3 minuuttia.
 - PhaseRotation (ROT) vaihejärjestys muuttunut.
 - PhaseLoss (PLOSS) Vaihe puuttuu. Tapahtuma tulee, kun jännitetaso on alle 80 Volttia ja tilanne kestää yli 10 sekuntia.
 - Surge (SUR) Jännitetaso kyseisellä vaiheella yli 253 voltia, kesto yli 5 minuuttia.
 - Sag (SAG) Jännitetaso kyseisellä vaiheella alle 207 voltia, kesto yli 5 minuuttia.
 - Reverse Energy (RVEN) Mittari rekisteröi yli 1 ampeerin virran verkkoon päin, kesto yli 10 sekuntia.
 - ZeroFault Hälytys, joka tulee suoraan käyttökeskukseen, kun mittari havaitsee eri vaiheilla jännitetason laskemista ja nousemista, mikä viittaa suurella todennäköisyydellä nollavikaan.
 - Overcurrent (OVC) Ylivirta, kesto yli 3 minuuttia. Virtaraja on määritelty mittarille.
 - DCRC (Data Concentrator Reconnection Check) Keskittimen lähettämä tietopaketti sähkökatkon jälkeen. Paketissa on tieto mittareista, joihin keskitin ei ole saanut yhteyttä sähkökatkon jälkeen tai jos joltain mittarilta puuttuu vaihe.
 - SoftwareFuse (SWF) Mittarilla oleva ohjelmoitava sulake on avannut mittarin kytkimen. Ei ole tällä hetkellä käytössä Carunan mittareissa.
- [14.]

Edellä mainittujen lisäksi palveluntarjoaja saa sähkönlaatutapahtumia, joita se ei toimita Carunalle. Useimmat liittyvät mittarin mahdolliseen vikaantumiseen, mutta se saa myös tapahtuman esimerkiksi mittarin kytkimen käytöstä. [11.]

5.3.2 Tulevaisuuden tarpeita

Mittareilta on tällä hetkellä saatavilla rajallinen määrä tietoja. Uusia tarpeita syntyy sähkönlaatutapahtumiin liittyen ja joitain lisäyksiä voisi olla tulevaisuudessa hyvä saada palveluntarjoajan laatutapahtumavalikoimaan. Seuraavassa on lueteltu sähkönlaatutapahtumia, jotka voisivat olla hyödyllisiä Carunan toiminnassa:

- Kansi irti ilmoitus

Ilmoitus, kun mittarin kansi avataan. Tätä ilmoitusta voitaisiin esimerkiksi hyödyntää sähköturvallisuuden todentamisessa, kun saadaan tieto, onko mittarin kansi avattu. [17.]

- Tapahtuma välkynnästä

Välkyntä kuvaa lampun valon vilkkumista. Ilmiön häiritsevyys on riippuvainen jännitevaihtelun suuruudesta ja vaihtelutaajuudesta. Välkyntä on kuitenkin standardin rajoissa tapahtuvaa jänniteenvaihtelua. Välkynnä voi esiintyä jo alle 1 V jännitevaihtelulla ja sen häiritsevyys riippuu ihmisestä [5]. Jos saataisiin tapahtumatieto välkynnästä, pystyttäisiin helpommin tarkastelemaan muuntopiiritasolla välkynnä ja sitä kautta paikantamaan välkynnän aiheuttaja. Tämä voisi nopeuttaa vianpaikannusta. Välkyntä on yksi suurimmista sähkönlaatureklamaatioiden aiheuttajista, joka kuitenkin suurimmassa osassa tapauksista aiheutuu asiakkaan omista laitteista ja niiden verkkoon kytkeytymisestä. [17.]

- THD virta

Yliaaltoihin liittyviä sähkönlaatutapahtumia on saatavilla palveluntarjoajalta, mutta niitä ei ole Carunalla käytössä. THD tapahtuman voisi tulevaisuudessa ottaa käyttöön, mikä voisi helpottaa verkon häiriöiden aiheuttajien paikantamista, kun aiheuttajana ovat asiakkaiden laitteet. [18.]

- Mittariin ei yhteyttä

Käyttökeskuksessa voisi olla tarpeellista saada hälytys siitä, että mittariin ei saada yhteyttä, jotta tiedettäisiin mitkä mittarit eivät ole toiminnassa. [16.]

5.3.3 Sähkönlaatutapahtumien tämän hetkinen hyödyntäminen

Sähkönlaatutapahtumat on saatu käyttöön etäluettavien mittareiden käyttöönoton myötä. Tämän työn tarkoituksena on selvittää, kuinka paljon tapahtumia on tähän mennessä hyödynnetty.

Jos sähkönlaatutapahtumia osataan tulkita, vian syy tai vian paikannus voi helpottua. Eri sähkönlaatutapahtumat samanaikaisesti voivat merkitä jotakin tiettyä vikaa. Esimerkiksi Sag ja Surge eri vaiheilla voivat olla merkki nollaviasta verkossa. Samat tapahtumat usealla eri käyttöpaikalla voivat myös kertoa vian sijainnista verkossa.

Outage- tapahtumaa hyödynnetään vakiokorvauslaskennassa, kun selvitetään, onko käyttöpaikka sähköttä vakiokorvaukseen oikeuttavan ajan [16]. Hyödynnetään keskeytyksiin liittyvien reklamaatioiden selvittämisessä, kun tarvitaan tietoa esimerkiksi keskeytyksen laajuudesta, kestosta ja ajankohdasta [17]. Hyödynnetään myös vianpaikantamiseen ja vian todentamiseen esimerkiksi asiakaspalvelussa [19].

PhaseRotation- tapahtumaa hyödynnetään tällä hetkellä asiakasreklamaatioissa todentamaan vaihejärjestyksen muuttuminen, kun lisätietona on "CBA". Ilman lisätietoa "CBA" tulee PhaseRotation yleensä PhaseLoss tapahtuman kanssa, jos vaihe puuttuu, kun esimerkiksi sulake on palanut. [17.]

PhaseLoss- tapahtuma voi merkitä esimerkiksi vaiheen puuttumista keski- tai pienjänniteverkossa. Tapahtumaa käytetään vianpaikantamiseen. Hyödynnetään myös asiakasreklamaatioissa ja vakiokorvauslaskennassa todentamaan keskeytys yhden vaiheen osalta, koska kolmivaihejärjestelmässä vaiheen puuttuminen lasketaan keskeytykseksi. [17.]

Sag ja PhaseLoss kahdella eri vaiheella voi tarkoittaa, että keskijännitejohdin on katkenut [13].

Surge- tapahtuma voi merkitä keskijänniteverkon tai muuntajan liian korkeaa jännitettä tai mittarin nollajohdon puuttumista. Käytetään asiakasreklamaatioissa todentamaan sähkön laatuvirhe sekä edistämään mahdollisia toimenpiteitä verkossa. Asiakas voi ai-

heuttaa ylijännitteen myös itse esimerkiksi varavoimakoneella. Kun tapahtuma tulee yhdessä Sag tapahtuman kanssa, voidaan käyttää viantodentamiseen nollavian osalta. [17.]

Sag- tapahtuma voi aiheutua keskijänniteverkon alijännitteestä tai vaiheen puuttumisesta. Myös pienjänniteverkon alijännite voi aiheuttaa tämän tapahtuman. Käytetään asiakasreklamaatioissa todentamaan mahdollinen sähkön laatuvirhe sekä edistämään mahdollisia verkon vahvistustoimenpiteitä. Sag ja PhaseLoss kahdella eri vaiheella voi merkitä, että keskijännitejohdin on katkennut. Kun tapahtuma tulee yhdessä Surge- tapahtuman kanssa, voidaan käyttää viantodentamiseen nollavian osalta. [17.]

Reverse Energy tarkoittaa yleensä, että käyttöpaikalla on sähköntuotantoa. Tapahtuma voi myöskin syntyä joskus, mikäli mittarilta puuttuu nolla ja joissain tapauksissa asiakkaan laitteet voivat myös aiheuttaa tapahtuman. Voi aiheutua myös, jos johdotus on väärinpäin mittarilla, jolloin energian mittausta ei ole oikein [14]. Tapahtuman tuleminen on estetty käyttöpaikoilla, joilla on ilmoitettu olevan sähköntuotantoa. Tällä tapahtumalla voidaan saada myös kiinni käyttöpaikat, joilla on sähköntuotantoa, mistä ei ole ilmoitettu verkkoyhtiölle. Jos virtaa syötetään verkon suuntaan, voi aiheutua vaaratilanne. [17.]

Overcurrent- tapahtumaa voidaan käyttää todentamaan liittymäoikeuden ylitys sähkönkäyttöpaikalla. [17.]

DCRC on hyödyllinen tieto käytöntukijärjestelmässä, jolloin saadaan tieto mittareista, joihin ei saada yhteyttä keskeytyksen jälkeen. [16.]

ZeroFault- tapahtumaa käytetään käyttötoiminnoissa vianpaikantamiseen. ZeroFault on hälytys, joka tulee suoraan käytöntukijärjestelmään, kun mittari havaitsee eri vaiheilla jännitetason laskemista ja nousemista standardin rajojen ulkopuolelle, mikä viittaa suurella todennäköisyydellä nollavikaan. [16.]

6 Sähköverkon vikoja

Sähköverkon viat voivat tapahtua eri jänniteportaissa. Keskijänniteverkon nimellisjännitteen tehollisarvo on 1 kV – 36 kV(kilovoltia) ja muuntajalla se muunnetaan 0,4 kV suuruiseksi pienjänniteverkkoon sopivaksi [20]. Mikäli keskijänniteverkossa on vika, joka ei syystä tai toisesta laukaise vikasuojasta, heijastuu vika myös alemmalle jänniteportaalte pienjänniteverkkoon.

Sähkölaitteiden sähkönlaatu tapahtumien avulla pystytään selvittämään ja paikantamaan vikoja sähköverkossa. Erilaiset sähkönlaatu tapahtumat ja niiden yhdistelmät voivat merkitä vikaa verkossa. Sähkönlaatu tapahtumia voidaan käyttää myös vianpaikannukseen. Jos esimerkiksi samalla muuntopiirillä vain yhdellä käyttöpaikalla on vika, niin vika on silloin paikallinen. Sen sijaan, jos vika löytyy useammalta muuntopiiriltä kaikilta käyttöpaikoilta, voi kyseessä olla esimerkiksi keskijänniteverkon vika.

Seuraavissa alaluvuissa käydään läpi joitain mahdollisia vikoja, jotka voivat aiheuttaa sähkönlaatu tapahtuman.

6.1 Keskijänniteviat

Suurin osa asiakkaan kokemista sähkökatkoista, johtuvat keskijänniteverkon vioista. Kun keskijänniteverkossa tapahtuu vika, se heijastuu suoraan pienjännitepuolelle ja yksittäisille käyttöpaikoille. Sähköaseman suojaus kytkee normaalisti irti johtolähdön, jolla vika tapahtuu ja keskeytyksen piiriin joutuvat kaikki johtolähdöllä sijaitsevat muuntajat ja niiden syöttämät asiakkaiden sähkökäyttöpaikat. Sähköaseman suojauksesta johtuvista katkaisijatoiminnoista on ohjelmoitu tulemaan välitön tieto käyttökeskukseen käyttötukijärjestelmän kautta. Jos vika ei jostain syystä laukaise suojausta, vika heijastuu pienjänniteverkkoon ja sitä kautta etäluettavalle sähkömittarille. [5.]

Keskijännitevikojen indikoiminen sähkönlaatu tapahtumilla:

Johdinkatkeama

PJ-verkossa näkyy mittarilla Outage tai PhaseLoss riippuen siitä onko yksi vai useampi vaihe poikki. Mikäli yksi vaihe on poikki niin etäluettava mittari voi näyttää vaiheen olevan

poikki. Keskijänniteverkon vaiheen katkeaminen voi myös aiheuttaa pelkän jännitteenaleneman pienjännitepuolelle jolloin mittari rekisteröi SAG eventin. Jos kaikki keskijännitejohdot katkeavat niin pienjänniteverkkokin on jännitteetön jolloin sähkömittari rekisteröi outage eventin. Jos käyttöpaikalla on yksivaiheinen sähkömittari ja keskijänniteverkossa katkeaa vaihe, rekisteröi sähkömittari katkon (outage), jos se on epäterveellä vaiheella. Sähkönlaatutapahtuma keskeytyksestä tulee kuitenkin järjestelmään vasta kun sähköt ovat palanneet.

Kun keskijänniteverkossa katkeaa vaihe, tulee siitä etäluettavan sähkömittarin sähkönlaatutapahtuman perusteella hälytysilmoitus käytöntukijärjestelmään. Jos johdin on kuitenkin katkennut siltä vaiheelta, jolla PLC yhteys lähettää signaalia keskittimelle, ei mittari saa yhteyttä eikä sähkönlaatutapahtumaa tapahdu ennen kuin sähköt ovat palautuneet.

Yli- ja alijännitteet

Jos keskijänniteverkon jännite nousee, eivätkä suojaukset reagoi riittävällä nopeudella, myös pienjänniteverkon jännite voi nousta ja näkyä kuluttajilla asti. Tämä rekisteröityy mittarille Surge sähkönlaatutapahtumana.

Jos jännite taas laskee normaalitason alle, niin myös pienjänniteverkon jännite laskee ja voi näkyä mittarilla. Esimerkiksi huono liitos erottimella keskijänniteverkossa saattaa alentaa jännitettä, jolloin sähkömittari rekisteröi Sag- tapahtuman, jonka huono liitos aiheuttaa.

Pienjänniteviat

Keskijänniteverkossa saadaan tieto viasta käytöntukijärjestelmän kautta. Pienjänniteverkon viat kuitenkin tapahtuvat muuntopiiritasolla ja keskeytykset saadaan tietoon vasta asiakkaan ilmoituksesta. [5]

Pienjännitevikojen indikoiminen sähkönlaatutapahtumilla:

Nollavika

Yleinen vika pienjänniteverkossa on nollavika, joka johtuu nollajohtimen katkeamisesta tai vioittumisesta sähköverkossa. Nollavika aiheuttaa asiakkaan kuormituksesta riippuen vaihejännitteen vaihtelua välillä 0-400V eri vaiheilla, jolloin jännite ei yleensä pysy enää standardin SFS-EN 50160 rajoissa [5]. Nollavian tunnistaa sähkönlaatutapahtumista yleensä siitä, että eri vaiheilla jännite nousee ja laskee aiheuttaen Surge- ja Sag- tapahtumat eri vaiheilla [17]. Käytöntukijärjestelmään tulee tämän lisäksi hälytysilmoitus ZeroFault, kun edellä mainittu tilanne näkyy sähkönlaatutapahtumissa [13].

Jos pienjänniteverkossa on nollavika, näkyy yksittäisen käyttöpaikan sähkönlaatutapahtumissa yhdellä vaiheella Sag ja toisella vaiheella Surge. Käyttökeskus saa tästä myös hälytyksen käytöntukijärjestelmään. [13.]

Vaiheen puuttuminen

Kun sähkömittarille ei tule yhdeltä vaiheelta jännitettä, rekisteröi mittari vaiheen puuttumisen. Vaihe puuttuu, jos esimerkiksi pienjänniteverkon puolella on johdin poikki. Myös sulakkeen palaminen aiheuttaa jännitteen häviämisen mittarilta. Sulake voi palaa asiakkaan verkossa tai esimerkiksi muuntajalla. Vaiheen puuttuminen aiheuttaa PhaseLoss- sähkönlaatutapahtuman. Myös Sag- tapahtuma voi indikoida vaiheen puuttumista, kun se tulee PhaseLoss- tapahtuman yhteydessä. Yleensä myös PhaseRotation- tapahtuma ilman lisäilmoitusta "CBA" tulee vaiheen puuttuessa. [13;17.]

Muuntamovaurio

Vian sijainnista riippuen sähkönlaatutapahtuma voi tulla useammalla eri käyttöpaikalla samanaikaisesti. Jos esimerkiksi muuntajalla on vika, josta aiheutuu sähkönlaatutapahtuma, kuten esimerkiksi Sag, näkyy se koko muuntopiirin kaikilla käyttöpaikoilla. [17.]

Ylijännitteet

Keskijänniteverkon ylijännite heijastuu pienjänniteverkkoon, mutta myös esimerkiksi vika muuntajalla voi aiheuttaa ylijännitettä pienjänniteverkkoon. Etäluettava sähkömittarille rekisteröity Surge tapahtuma, jos se havaitsee ylijännitettä. [17.]

Alijännite

Alijännite aiheuttaa Sag sähkönlaatu tapahtuman tai PhaseLoss tapahtuman. Alijännite pienjänniteverkossa voi johtua esimerkiksi liian suuresta kuormituksesta liittymäoikeuteen nähden. [17.]

Vaihejärjestyksen muuttuminen

Vaihejärjestyksen muuttuminen aiheuttaa PhaseRotation- sähkönlaatu tapahtuman lisäilmoituksella "CBA". Vaihejärjestys voi muuttua, jos esimerkiksi verkostosaneerauksen yhteydessä johdot kytketään vahingossa väärinpäin. Tämä voi aiheuttaa sähkönkäyttäjällä kolmivaiheisten laitteiden kuten sähkömoottoreiden epätarkoituksenmukaista toimintaa. [17.]

6.2 Asiakkaan verkon tai laitteen viat

Jotkin sähkönlaatuun vaikuttavat viat voivat tapahtua myös asiakkaan sisäisessä verkossa. Myös nämä viat voivat aiheuttaa sähkönlaatuun poikkeamia, jotka rekisteröityvät etäluettavalle sähkömittarille. Verkkoyhtiö ei ole kuitenkaan vastuussa vioista, jotka tapahtuvat asiakkaan sisäisessä verkossa [5].

Ylijännite

Asiakkaan omassa verkossa olevat laitteet voivat aiheuttaa vikoja sekä asiakkaan sisäiseen verkkoon, että jakeluverkkoon. Esimerkiksi varavoimakoneen käyminen rinnakkain sähköverkon kanssa voi aiheuttaa ylijännitettä, joka aiheuttaa Surge sähkönlaatu tapahtuman sähkömittarilla. [17.]

Ylivirta ja jännitteenalenema

Jotkin, erityisesti yksivaiheisen sähkömoottorin sisältävät, laitteet kuten pumput ja painepesurit voivat aiheuttaa häiriötä verkkoon. Sähkömoottorit, jotka vaativat suuren käynnistysvirran voivat aiheuttaa välkyntää ja jännitekuoppia lähiympäristöönsä. Suuri käynnistysvirta aiheuttaa jännitevaihteluja asiakkaan sisäiseen verkkoon ja mahdollisesti myös lähiympäristöön. Ylivirta voi myös aiheuttaa Overcurrent tapahtuman. Liittymäoikeuden ylittävä kuormitus asiakkaan verkossa aiheuttaa häiriötä verkkoon, koska verkko on mitoitettu liittymäoikeuksien mukaan. [4.]

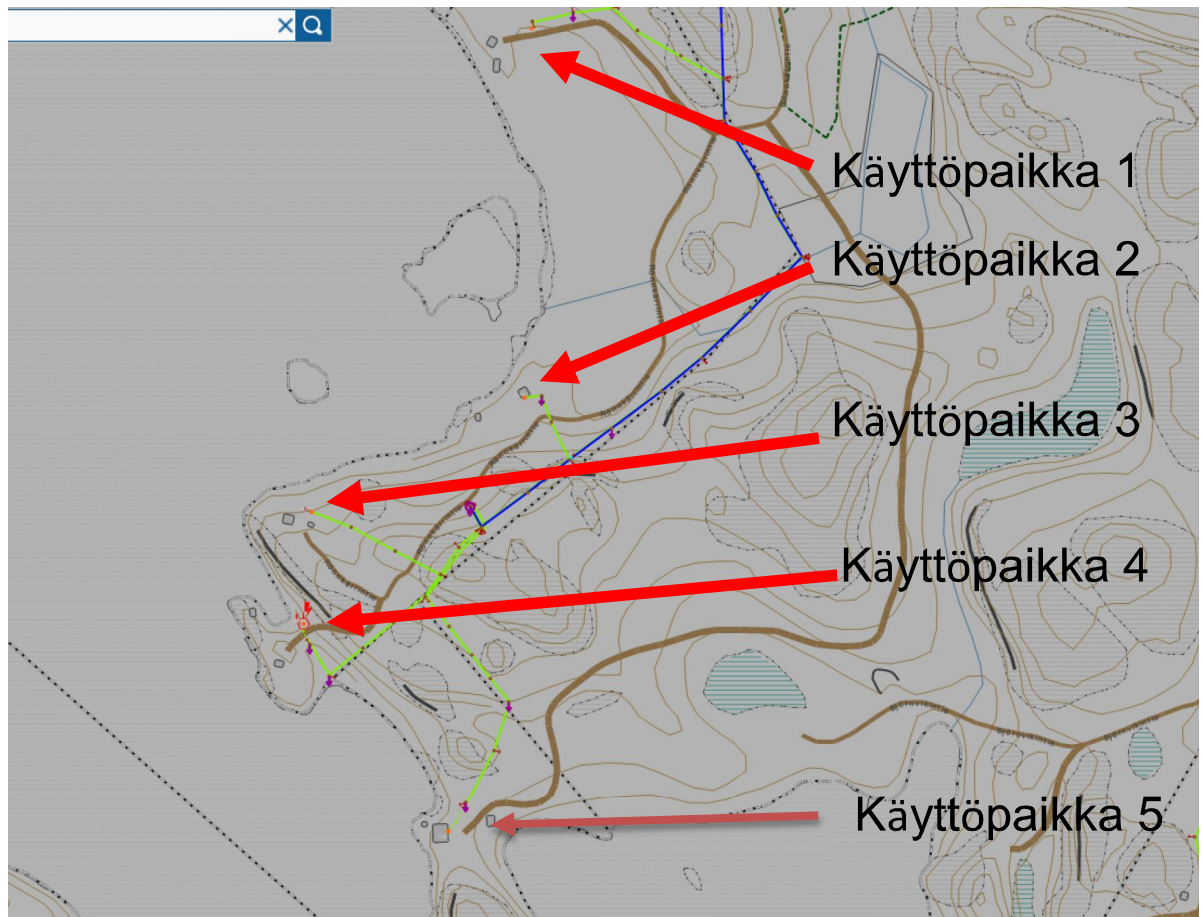
Nollavika tai alijännite asiakkaan sisäisessä verkossa

Löysät liitokset asiakkaan sähkökeskuksessa voivat aiheuttaa jännitteenalenemaa sisäisessä verkossa. Myös nollavika voi tapahtua asiakkaan omassa verkossa jos esimerkiksi nollakisko katkeaa. Nollavika omassa verkossa on pääteltävissä jos nollavikaa indikoivat sähkönlaatutapahtumat Surge ja Sag eri vaiheilla näkyvät vain yhdellä käyttöpaikalla. [17.]

6.3 Vikapaikan haku sähkönlaatutapahtumien avulla

Sähkönlaatutapahtumien avulla voidaan paikantaa, missä alueella esimerkiksi pienjänniteverkon vika on. Vianpaikannukseen kuluva aika vähenee, kun sähkönlaatutapahtumien avulla nähdään missä vika suunnilleen on niin, että vikaa etsivän asentajan ei tarvitse haarukoida koko aluetta vikaa selvittäessään. Asentaja voidaan ohjata suoraan oikeaan paikkaan, jolloin vianpaikannukseen kuluva aika lyhenee.

Esimerkki vianpaikantamisesta sähkönlaatutapahtumien avulla:



Kuva 7. Vikapaikan paikantaminen sähkönlaatutapahtumien avulla.

Asiakkaalta käyttöpaikalla 1 puuttuu sähkö yhden vaiheen osalta. Tarkastellaan asiakkaan sähkönkäyttöpaikan sähkönlaatutapahtumia sekä samalla muuntopiirillä olevien naapureiden sähkönlaatutapahtumia.

Kuvassa 7 on viisi eri käyttöpaikkaa. Punaiset nuolet merkitsevät käyttöpaikkaa muuntajan samalla pienjännitelähdöllä ja ruskea nuoli viereisellä pienjännitelähdöllä.

Pienjännitelähtö 1: Käyttöpaikka 1, Käyttöpaikka 2, Käyttöpaikka 3, Käyttöpaikka 4

Pienjännitelähtö 2: Käyttöpaikka 5

Järjestelmästä nähdään sähkönlaatutapahtumat:

Käyttöpaikka 1

PhaseLoss

Käyttöpaikka 2

PhaseLoss

Käyttöpaikka 3

PhaseLoss

Käyttöpaikka 4

PhaseLoss

Käyttöpaikka 5

Ei sähkönlaatutapahtumia

Kaikilla saman pienjännitelähdön käyttöpaikoilla näkyy sähkönlaatutapahtuma PhaseLoss. Saman muuntajan toisella lähdöllä ei näy sähkönlaatutapahtumia. Tämän perusteella voidaan suurella todennäköisyydellä olettaa, että vikapaikka on pienjännitelähdöllä 1 ja rajata vika sille lähdölle. Tässä tapauksessa, kun vikaa mentiin paikan päälle tarkastamaan, muuntajalla lähdöltä 1 oli palanut sulake yhdeltä vaiheelta.

Samaan tapaan voitaisiin tarkastella eri muuntopiirejä. Jos kahdella eri muuntopiirillä on samat sähkönlaatutapahtumat, on vika tai keskeytys tapahtunut suurella todennäköisyydellä keskijänniteverkossa. Toisaalta jos esimerkiksi muuntopiirin vain yhdellä käyttöpaikalla olisi sähkönlaatutapahtumat Sag ja Surge eri vaiheilla, olisi sillä käyttöpaikalla suurella todennäköisyydellä paikallinen nollavika.

7 Sähkönlaatutapahtumien käyttö eri tiimeissä

Luvussa käydään läpi joidenkin eri tiimien toimintaa yrityksen sisällä ja tarkastellaan niiden mahdollista sähkönlaatutapahtumien hyödyntämistä. Sähkönlaatutietoja voitaisiin hyödyntää monessa eri toiminnassa, mutta tällä hetkellä sähkönlaatutietojen tutkiminen ja niiden hyödyntäminen rajautuu lähinnä asiakasreklamaatioiden selvittelyyn. Tässä selvitettiin miten eri etäluettavilta sähkömittareilta saatavia sähkönlaatutietoja hyödynnetään tällä hetkellä eri puolilla Carunaa. Carunan eri yksiköiden henkilöstöä haastateltiin ja listattiin muistiin miten sähkönlaatutapahtumia hyödynnetään tällä hetkellä. Koottiin tietoja siitä, mitä sähkönlaatutapahtumia hyödynnetään ja missä tilanteissa. Samalla pyrittiin kartoittamaan sellaisia haasteita tai tarpeita, mitä tiimin toiminnassa on, joita pystyttäisiin ehkä helpottamaan sähkönlaatutietojen avulla. Tämän pohjalta pystyttiin myös tarkastelemaan tiedetäänkö, miten ja minkälaisissa tilanteissa sähkönlaatutapahtumia voidaan hyödyntää.

7.1 Asiakkuudet

Asiakaspalvelu on contact center tyyppinen palvelukeskus, johon tulee yhteydenotot asiakkailta. Muut tässä mainitut tiimit ovat tukitiimejä, joissa asiakaspalvelussa ilmenneet tehtävät, kuten esimerkiksi reklamaatiot ja korvausvaatimukset käsitellään.

7.1.1 Asiakaspalvelu

Asiakaspalvelussa käytetään sähkönlaatutapahtumia yksinkertaisemmissa vianpaikannustilanteissa. Asiakkaat ottavat yhteyttä asiakaspalveluun selvittääkseen, mistä vika tai keskeytys johtuu. Vianselvitys voi ohjautua asiakaspalvelusta muualle, mutta sähkönlaatutapahtumien avulla asiakaspalvelussa on mahdollista jo puhelun aikana rajata vika- paikka tietyille alueelle tai selvittää, jos kyseessä on esimerkiksi nollavian aiheuttama ongelma. Sähkönlaatutapahtumista hyödynnetään lähinnä keskeytyksiin liittyviä tapahtumia Outage, ShortOutage ja PhaseLoss sekä yli- ja alijännitteeseen liittyviä Sag- ja Surge- tapahtumia, joilla voidaan havaita esimerkiksi nollavika. [19.]

Sähkönlaatutapahtumien tulkitsemista voisi kuitenkin kouluttaa henkilöstölle enemmän ja olisi tärkeää, että jostain löytyisi kirjalliset ohjeet niiden käyttämiseen. Nykyään kirjallisia ohjeita on saatavilla, mutta ei selkeästi yhdestä paikasta, joten henkilöstö kaipaisi selkeämpää opastusta. Sähkönlaatutapahtumiin liittyvää koulutusta voisi kohdentaa koulutustausta huomioiden. Suuri osa asiakaspalvelun henkilöstöstä ei ole sähköalan ammattilaisia, minkä takia perehdytys pitäisi olla selkeää ja tarpeeksi ymmärrettävää. [19.]

Tarpeena olisi myös, että sähkönlaatutapahtumia voisi tarkastella helposti samasta järjestelmästä kuin muitakin tietoja. Tällä hetkellä sähkönlaatutapahtumat pitää hakea eri järjestelmästä kuin esimerkiksi asiakastiedot. Tähän on kuitenkin tulossa uudistus lähitulevaisuudessa uuden asiakastietojärjestelmän käyttöönoton jälkeen. [19.]

7.1.2 Asiakaskokemus

Asiakaskokemustiimissä sähkönlaatutapahtumia käytetään reklamaatio- ja korvausvaatimustapauksissa todentamaan mahdollinen virhe sähköntoimituksessa. Reklamaatioita ja korvausvaatimuksia tulee koskien sähkönlaatua ja keskeytyksiä. Keskeytykset pystytään näkemään sähkönlaatutapahtumien avulla järjestelmästä. Sieltä pystyy näkemään myös keskeytysten ajankohdat, jolloin vian syytä voi selvittää. Myös keskeytysten määrää ja virherajojen ylittymistä voidaan arvioida sähkönlaatutapahtumien avulla. [17.]

Sähkönlaatua koskevat reklamaatiot liittyvät yleensä jännitteeseen ja asiakkaan mielestä madaltuneeseen jännitteen arvoon. Järjestelmästä voidaan nähdä, jos jännitteen suuruus on laskenut, minkä avulla voidaan tarpeen vaatiessa esimerkiksi ehdottaa verkon vahvistusta. [17.]

Erilaisissa reklamaatiotapauksissa hyödynnetään lähes kaikkia sähkönlaatutapahtumia. Katkot ja niiden pituudet nähdään Outage- ja ShortOutage- tapahtumista ja yksivaiheiset katkot nähdään PhaseLoss- tapahtumista. Sähkönlaadussa olevat virheet nähdään muista tapahtumista. [17.]

Asiakaskokemuksissa olisi tarpeellista saada käyttöön tapa, jolla voitaisiin havaita liittymäoikeuden ylittäviä asiakkaita. Liittymäoikeuden ylityksen voisi todentaa jollakin sähkönlaatutapahtumalla. Yksi mahdollisuus voisi olla Overcurrent tapahtuman käyttö ja asettaa sen referenssiksi liittymäoikeuden suuruus.[17.]

PhaseRotation- tapahtumaa käytetään todentamaan vaihejärjestyksen muuttuminen sähköverkossa. Tällä hetkellä järjestelmässä tulee PhaseRotation ja lisäilmoitus. Jos lisäilmoitus on CBA, niin vaihejärjestys on muuttunut. Lisäilmoitus voi myös olla "?", jolloin ei tiedetä, mistä tapahtuma aiheutuu. Tätä tapahtumaa ja sen syytä voisi tutkia tarkemmin. [17.] Yksi mahdollisuus voisi olla myös "estää" tapahtuman syntyminen ilman CBA-lisätietoa.

7.1.3 Mittaustiimi

Mittaustiimissä käsitellään etäluettavien sähkömittareiden avulla asiakkaiden sähkönkulutusta laskutusta varten. Sähkönlaatutapahtumat eivät ole ensisijaisia työkaluja tiimin toiminnassa, mutta niiden olemassaolo tiedetään ja niitä osataan käyttää tarvittaessa esimerkiksi vikatilanteiden selvittämiseen. [21.]

7.1.4 Verkkosopimushallinta ja verkkopalvelut

Verkkosopimushallintatiimin tehtävät liittyvät toimitus- ja liittymissopimusten hallintaan ja muutoksiin [22].

Tiimin sisällä ei käytetä paljon sähkölaatu tapahtumia, koska ne eivät ole tarpeellisia tiimin tekemisessä. Keskeytyksiin liittyviä sähkölaatu tapahtumia saattaa joskus joutua katsomaan jos täytyy esimerkiksi selvittää, miksi aikasarjat eivät tule perille. Tiimissä tiedetään sähkölaatu tapahtumien olemassaolo, mutta tarkemmin ei tiedetä, mitä tapahtumia on saatavilla ja mitkä ovat esimerkiksi niiden raja-arvot. [20.] Verkkosopimushallintatiimillä ei tällä hetkellä ole tarvetta lisäkoulutukselle sähkölaatu tapahtumiin liittyen.

Verkkopalvelutiimissä hoidetaan muun muassa sähköliittymiin liittyviä asioita. Tiimin sisällä ei käytetä paljon sähkölaatu tapahtumia, koska ne eivät ole tarpeellisia tiimin tekemisessä. Sähkölaatu tapahtumia käytetään tarvittaessa vikatilanteiden selvittämiseen. [23.]

7.2 Käyttötoiminnot

Käyttökeskuksessa osasta sähkölaatu ilmoituksia tulee hälytys suoraan käytöntukijärjestelmään. Hälytys ilmoituksena tulevat tapahtumat ovat PhaseLoss ja ZeroFault. Hälytykset näkyvät suoraan vikapaikalla verkkokartalla. Näitä hälytyksiä käytetään vian paikantamiseen. Jos usealta käyttöpaikalta tulee hälytys, vika voidaan paikantaa olevan keskijänniteverkon puolella. Erottimien tilatietojen tarkistamiseen saatetaan myös käyttää sähkölaatu tapahtumia. [16.]

Sähkölaatu tapahtumista hälytykset tulevat suoraan käytöntukijärjestelmään. Järjestelmästä pystyy myös ottamaan yhteyden suoraan mittariin ja tarkastamaan sen tilatiedon sekä jännitteet. Muut kuin hälyttävät sähkölaatu tapahtumat katsotaan sähkölaatu tapahtumajärjestelmästä. [16.]

Vian paikantamisen lisäksi sähkölaatu tapahtumia katsotaan keskeytysten osalta vakio korvauksen tarkistamiseen. Keskeytykset nähdään sähkölaatu tapahtumista Outage tai PhaseLoss tapahtumista. Yli 12 tunnin pituiset yhtäjaksoiset keskeytykset saattavat oikeuttaa asiakkaan vakio korvaukseen. [16;24.]

Ongelmia

Jos sähkötköt ovat poikki ja PhaseLoss on vaiheella, jolla PLC- liikenne kulkee, ei hälytys tule reaaliajassa vaan vasta silloin kun sähkötköt ovat palanneet. Hälytyksen hyöty on rajallinen jos hälytystieto tulee vasta, kun sähkötköt ovat palautuneet eikä vian tapahtumishetkellä. Hälytykset pitäisi saada reaaliajassa, jotta niistä saisi kaiken hyödyn. [16.]

Hälytyksiin liittyvien tapahtumien raja-arvot on hyvä asettaa sopiviksi, sillä liian herkästi tulevat hälytykset saattavat aiheuttaa ylimääräisiä hälytyksiä järjestelmään. Myös mittarin yhteydenottoon kuluva aika statuksen tarkistamiseksi on syytä pitää tarpeeksi lyhyenä, jotta yhteydenotto ei hidastu. [16;24.]

Tarpeita

Hyödyllinen sähkönlaatutapahtuma käyttökeskukselle saatavaksi olisi siitä, että yhteys mittariin on poikki ja se pitäisi tulla aina kun yhteys mittariin katkeaa, jotta tiedettäisiin mitkä mittarit eivät ole toiminnassa. [16.]

Reverse Energy- hälytys olisi tarpeellinen hälytystieto käytöntukijärjestelmään. Silloin saataisiin tieto, milloin esimerkiksi pientuotantopaikalla tulee sähköenergiaa verkkoon päin, mikä voi olla vaarallista esimerkiksi työntekijöille verkossa. [16.]

Käyttökeskuksen henkilöstölle voisi olla tarpeellista järjestää koulutusta, jotta saataisiin tietää, minkälaisia tietoja mittareilta voidaan saada ja mitä asiaa ne voivat tarkoittaa. Toisaalta käyttökeskuksen henkilöstö voisi myös jakaa omia tietojaan koskien esimerkiksi kokemuksiaan sähkönlaatutapahtumista. Tiedonvaihto tiimien välillä voisi helpottaa asioiden ymmärtämistä. Ohjeet sähkönlaatutapahtumien tulkitsemiseen voisi saattaa suoraan käytöntukijärjestelmään, jolloin olisi helppo analysoida, mitä sähkönlaatutapahtumat tarkoittavat. [16.]

Tulevaisuudessa voisi olla myös hyödyllistä saada käyttöpaikoittain raportti sähkönlaatutapahtumista suoraan käytöntukijärjestelmään, jonka avulla vakiokorvausasiat tarkistettaisiin. [16.]

7.3 Verkkosuunnittelu

Jännitteen laatuun liittyvissä reklamaatioissa ilmenee joskus verkonvahvistustarpeita, joiden perusteella verkkoa täytyy vahvistaa. Tämä tulee kuitenkin reklamaatiokäsittelyn läpi ensin asiakkaan kontaktista ja sen jälkeen reklamaatiokäsittelijän verkostonvahvistamisen ehdotuksesta. Prosessia voisi lyhentää, jos sähkönlaatutapahtumien avulla verkkosuunnittelussa otettaisiin huomioon paikat, joissa verkkovahvistus voisi olla tarpeellinen.

Verkkosuunnittelussa voisi käyttää apuna sähkölaatutapahtumia. Esimerkiksi alueilla, joissa tulee enemmän tapahtumia, saattaa olla tarvetta verkon vahvistamiselle. Toisaalta ei tarvitsisi kiirehtiä vahvistamaan verkkoa alueilla, joilla ei ole sähkönlaadussa ongelmia. Erityisesti Sag- tapahtuma, joka kertoo jännitteenalenemasta, voi olla merkki heikosta verkosta. [25.]

Verkossa voi syntyä jännitekuoppia, jotka aiheuttavat ongelmia asiakkaille. Sag tapahtuma indikoi jännitteenalenemaa asiakkaan verkossa. Sähkötoimituksessa on virhe, mikäli jännite laskee alle standardin rajojen. Sähköverkkoyhtiön keinona välttää alijännitteen aiheuttamaa toimitusvirhettä on vahvistaa sähköverkkoa. [5.]

Sähkönlaatutapahtumia pystyttäisiin hyödyntämään jos ne saataisiin esimerkiksi näkymään suoraan verkkokartalla. Verkkosuunnittelussa käytetään apuna verkkotietojärjestelmää. Jos verkkotietojärjestelmään saisi suoraan näkyville alueet, joilla on enemmän sähkönlaatutapahtumia liittyen esimerkiksi alijännitteeseen, voisi olla helpompi paikantaa alueita, joissa saattaa olla tarvetta verkon vahvistamiselle. [25.]

Yksi mahdollisuus olisi tuoda sähkönlaatutapahtumat esimerkiksi raportointijärjestelmästä, jossa tapahtumat näkyvät jo karttapohjalla, analyysityökalun taakse, jolla ne saisi näkymään verkkotietojärjestelmän verkkokartalla. Tapahtumat voisi tuoda kartalle verkkoalueittain, mistä nähtäisiin alueittain suurimmat saneeraustarpeet. Samalla pystyttäisiin tarkastelemaan, onko sähkönlaatu parantunut alueilla, joilla verkonvahvistusta on tehty. [25.]

Jos sähkönlaatutapahtumat tuotaisiin verkkotietojärjestelmään, pitäisi erotella tarpeelliset sähkönlaatutapahtumat. Tärkeimpänä voisi olla Sag, josta näkee alijännitteen, mikä

auttaisi näkemään verkonvahvistustarpeen. Sen sijaan esimerkiksi suunnitelluista keskeytyksistä johtuvat keskeytystapahtumat eivät olisi kovinkaan tärkeitä. [25.]

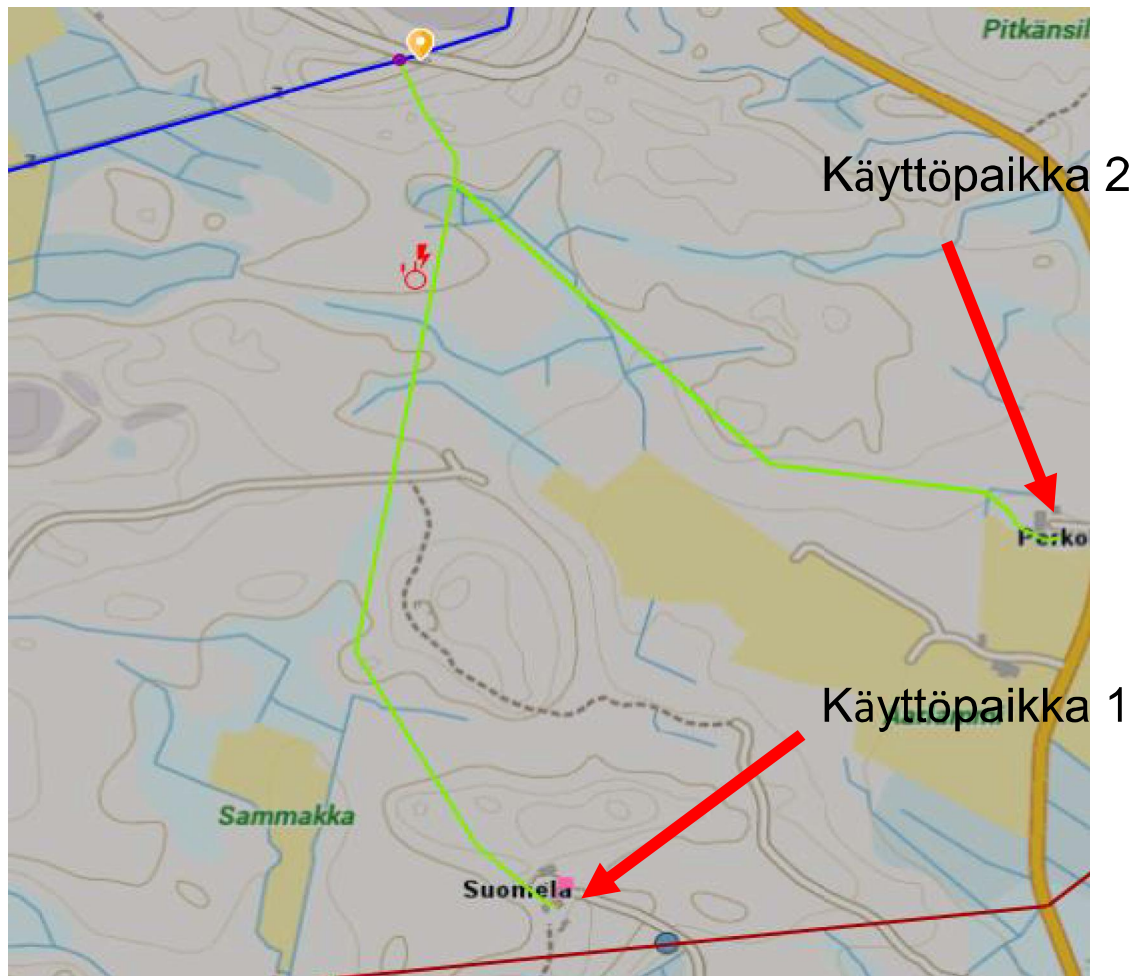
Raportointijärjestelmästä saadaan muuntopiirit, joilta tulee eniten sähkönlaatutapahtumia. Nämä eivät välttämättä ole realistisia, koska yhdeltä käyttöpaikalta voi tulla tapahtumia, vaikka muu muuntopiiri olisikin kunnossa. Turhat jännitteenalenemat, jotka johtuvat käyttöpaikan omasta ylikuormituksesta pitäisi saada karsittua pois, jottei se vääristäisi kuvaa siitä, millä alueilla on paljon sähkönlaatutapahtumia. [25.]

Sähkönlaatutapahtumia tarkasteltaessa pitäisi ottaa huomioon myös ajankohta, jolloin kulutus on suurinta, jotta saataisiin tieto verkon kestosta suurimmilla kuormituksilla. Esimerkiksi vuodenajoista tammikuussa kuormitetaan eniten lämmityksen takia. [25.]

Seuraavassa on esimerkki verkon parantamisen tarpeesta sähkönlaatutapahtumien avulla:

Asiakas huomaa sähkönlaadun heikentyneen laitteiden epätasaisessa toiminnassa ja ottaa yhteyttä asiakaspalveluun, josta tehdään reklamaatiotehtävä asiakaskokemuksiin. Tarkastellaan sähkönlaatutapahtumajärjestelmää, jossa näkyy Sag tapahtumia eli jännitekuoppia viimeisen 3 kuukauden aikana.

Jännite laskee lähelle standardien raja-arvoja. Asiakaskokemuksiin otetaan yhteys verkkosuunnitteluun, jossa mietitään, pitääkö verkkoa vahvistaa.



Kuva 8. Verkon vahvistamistarpeen paikantaminen sähkönlaatutapahtumien avulla.

Kuvassa 8 on havainnollistettu verkkokartalla yhden muuntopiirin kaksi käyttöpaikkaa. Käyttöpaikka 1 ja Käyttöpaikka 2 ovat samalla muuntopiirillä.

Järjestelmän sähkönlaatutapahtumat:

Käyttöpaikka 1

Sag (201V) 8/3/2017
 Sag (194V) 3/3/2017
 Sag (205V) 24/2/2017
 Sag (193V) 23/2/2017
 Sag (200V) 22/2/2017
 Sag (192V) 22/2/2017
 Sag (205V) 15/2/2017

Käyttöpaikka 2

Sag (193V) 15/3/2017
 Sag (198V) 5/3/2017
 Sag (200V) 16/2/2017
 Sag (194V) 17/2/2017
 Sag (205V) 6/2/2017
 Sag(192V) 1/2/2017
 Sag (202V) 29/1/2017

Muuntopiirin molemmilla käyttöpaikoilla on useita sähkönlaatutapahtumia Sag, joka kertoo alijännitteestä. Alijännite voi johtua verkosta, joka ei ole tarpeeksi jäykkä kuormitukseen nähden.

Sähkönlaatutapahtumien avulla voidaan päätellä, että alueella voi olla tarvetta verkon vahvistamiseen, joten asia siirrettään verkkosuunnitteluun verkon vahvistamisharkintaan.

Tällaisia verkonvahvistustoimenpiteitä voisi mahdollisesti ennakoida, jos Sag- tapahtumat näkyisivät valmiiksi kartalla ja olemassa olisi työkalu, josta näkisi sähkönlaatutapahtumien määrät, joiden pohjalta voisi vertailla, mistä tapahtumia tulee eniten.

Joissain tapauksissa Caruna tekee laatumittauksen todentamaan sähkönlaadun käyttöpaikalla. Tästä aiheutuu kuitenkin kustannuksia Carunalle. Jos laatumittauksen perusteella on syytä verkon vahvistamiselle, syntyy lisää kustannuksia. Jos pysyttäisiin ennakkoimaan verkon vahvistustarve ilman laatumittauksia, saattaisi olla mahdollista säästää laatumittauksesta aiheutuneissa kustannuksissa.

8 Tulokset

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää, miten ja mitä sähkönlaatutapahtumia hyödynnetään yrityksen sisällä tällä hetkellä. Tavoitteena oli myös selvittää, pystyisikö sähkönlaatutapahtumia hyödyntämään laajemmin tulevaisuudessa. Tässä käydään läpi, miten työssä saatiin selville tämän hetkistä tapahtumien hyödyntämistä ja mitä kehitysmahdollisuuksia kävi ilmi.

8.1 Sähkönlaatutapahtumien hyödyntäminen

Sähkönlaatutapahtumia hyödynnetään Carunan toiminnassa erityisesti vianetsinnän ja vianpaikannuksen osalta. Käytetyimpinä sähkönlaatutapahtumia ovat keskeytyksiin liittyvät tapahtumat.

Työssä tutkittiin sähkölaatutapahtumien hyödyntämistä operatiivisessa toiminnassa eri tiimien osalta.

Asiakaspalvelu

Asiakaspalvelussa käytetään sähkölaatutapahtumia yksinkertaisissa vianpaikannustilanteissa. Sähkölaatutapahtumien avulla asiakaspalvelussa pystytään jo puhelun aikana rajaamaan vikapaikka tietylle alueelle tai selvittämään onko kyseessä esimerkiksi nollavian aiheuttaman ongelma. Sähkölaatutapahtumista hyödynnetään lähinnä keskeytyksiin liittyviä tapahtumia Outage, ShortOutage ja PhaseLoss sekä vianselvitykseen Sag- ja Surge- tapahtumia, joilla voidaan havaita esimerkiksi nollavika.

Asiakaskokemus

Asiakaskokemustiimissä sähkölaatutapahtumia käytetään reklamaatiotapauksissa todentamaan virhe sähkötoimituksessa. Reklamaatioita tulee koskien sähkölaatua ja keskeytyksiä. Keskeytykset pystytään näkemään sähkölaatutapahtumien avulla järjestelmästä. Sieltä pystyy näkemään myös keskeytysten ajankohdat, jolloin vian syytä voi selvittää. Keskeytysten määrää ja virherajojen ylittymistä voidaan myös arvioida sähkölaatutapahtumien avulla. Sähkölaatua koskevat reklamaatiot liittyvät yleensä jännitteen ja useimmiten asiakkaan pitämään alhaiseen arvoon. Järjestelmästä voidaan myös nähdä, jos jännitteen suuruus on laskenut minkä avulla voidaan esimerkiksi ehdottaa verkon vahvistusta. Hyödynnetään lähes kaikkia sähkölaatutapahtumia erilaisissa reklamaatiotapauksissa. Katkot ja niiden pituudet nähdään Outage- ja ShortOutage- tapahtumista ja yksivaiheiset katkot nähdään PhaseLoss- tapahtumista. Sähkölaadussa olevat virheet nähdään muista tapahtumista.

Käyttötoiminnot

Käyttökeskuksessa osasta sähkölaatuilmoituksia tulee hälytys suoraan käytöntukijärjestelmään. Hälytysilmoituksena tulevat tapahtumat ovat PhaseLoss ja ZeroFault. Näitä hälytyksiä käytetään vian paikantamiseen. Erottimien tilatietojen tarkistamiseen saataan myös käyttää sähkölaatutapahtumia. Vian paikantamisen lisäksi sähkölaatutapahtumia katsotaan katkojen osalta vakiokorvauksen tarkistamiseen. Keskeytykset nähdään sähkölaatutapahtumista Outage tai PhaseLoss.

8.2 Kehitysmahdollisuuksia sähkönlaatutapahtumista

Työssä tuli ilmi joitain kehittämismahdollisuuksia, joiden avulla sähkönlaatutapahtumia voitaisiin hyödyntää tulevaisuudessa.

Liittymäoikeuden ylittämisen todentaminen

Asiakaskokemuksissa olisi tarpeellista saada käyttöön tapa, jolla saada voidaan havaita liittymäoikeuden ylittäviä asiakkaita. Liittymäoikeuden ylityksen voisi todentaa jollakin sähkönlaatutapahtumalla. Ylikuormitus muuntopiirissä on ongelma, joka aiheuttaa ongelmia sähkönlaadussa. Nopeat jännitemuutokset ja sen aiheuttama välkyntä johtuu usein suurten kuormien aiheuttamista virtapiikeistä samalla muuntopiirillä. Mikäli virtaa rajoitettaisiin ohjelmoidulla sulakkeella tai Overcurrent- sähkönlaatutapahtumalla, pitäisi päättää otetaanko asetteluarvoksi käyttöpaikan pääsulake vai liittymän pääsulake. Tällaista järjestelyä voisi kokeilla liittymillä, joilla on vain yksi käyttöpaikka ja joissa on aiemmin tullut ylivirrasta sähkönlaatutapahtumia.

Mittarille ohjelmoitu software fuse katkaisee sähkönsyötön, kun mittarille määritelty ohjelmoidun sulakkeen virta ylitetään. Tämä on nykyään ohitettu, mutta tämän voisi ottaa käyttöön, jolloin sitä voisi hyödyntää tapauksissa, joissa asiakas ylittää liittymäsopimuksensa mukaisen sulakekoon tai ylittää oman pääsulakekoon. Joko vaihtoehtoisesti tai lisäksi Overcurrent (OVC)- sähkönlaatutapahtuma voitaisi ottaa käyttöön. OVC- tapahtuman laukaisuun voitaisiin asettaa esimerkiksi pääsulakkeen arvo, jolloin saataisiin tieto asiakkaan sulakkeen ylityksestä ilman, että sähköt asiakkaalla katkeavat suoraan. Mikäli tämän sähkönlaatutapahtuman toteuttaisi hälytyksenä (samaa tapaan kuin esimerkiksi ZeroFault- tapahtuma) esimerkiksi suoraan käytöntukijärjestelmään, päästäisiin heti käsiksi tietoihin asiakkaista, joilla tapahtuu liittymän/pääsulakkeen ylitystä.

Software fuse saattaisi aiheuttaa ongelmia, mikäli se suoraan katkaisee sähkönsyötön, sillä jotkin asiakkaan kulutuslaitteet tarvitsevat käynnistysvirran, joka on esimerkiksi oikosulkumoottoreilla suoralla käynnistyksellä noin seitsemänkertainen nimellisvirtaansa nähden, mikä yleensä ylittää pääsulakekoon/liittymän. Tällöin kyseisten laitteiden käyttö

olisi mahdotonta, koska software fuse katkaisee sähkötkä automaattisesti. Toisaalta asiakkaalla ei ole oikeutta ylittää omaa liittymisoikeutta hetkellisestikään. Asiakkaat eivät kuitenkaan usein edes tiedä ylittävänsä liittymäoikeuttaan, joten tämän avulla saataisiin neuvottua asiakkaita paremmin. Liittymäkoon suurentaminen ja sitä kautta verkon vahvistaminen voisi myös parantaa sähkönlaatua asiakkaan näkökulmasta (ja myös verkko-yhtiön), kun jäykempi verkko vähentäisi jännitteenvaihtelua.

Sähkönlaatutapahtumien tuominen raportointijärjestelmästä verkkotietojärjestelmään

Kehitysmahdollisuutena olisi nyt raportointijärjestelmässä näkyvien sähkönlaatutapahtumien tuominen näkyväksi verkkotietojärjestelmän verkkokartalle. Ensisijaista olisi saada järjestelmään ominaisuus, missä saataisiin sähkönlaatutapahtumat ylipäättään näky-mään kartalla. Tulevaisuudessa tätä säädettäisiin käytännöllisemmäksi siten, että säh-könlaatutapahtumia pitäisi saada myös karsittua niin, että vain tärkeimmät tapahtumat näkyisivät kartalla antaen realistisen kuvan siitä, mitä sähkönlaatutapahtumia eri verkkoalueilla on ja kuinka paljon. Tämän avulla pystyttäisiin arvioimaan, missä verkon vahvistamiselle olisi suurin tarve.

Henkilöstön kouluttaminen

Esimerkiksi asiakaspalvelun työssä sähkönlaatutapahtumien tunteminen voisi olla tärkeää. Asiakaspalvelun henkilöstöä haastatellessa ilmeni tarve sähkönlaatutapahtumiin liittyvälle lisäkoulutukselle ja tarve yleisohjeen tarkentamiselle ja selventämiselle esi-merkkitapauksin liittyen sähkönlaatutapahtumien käyttöön ja tulkitsemiseen. Osaamisen myötä yksinkertaisempien vikatilanteiden ratkaisu suoraan asiakaspalvelun toimesta voisi parantua ja asiakkaiden yhteydenottojen käsittely voisi nopeutua. Myös käyttökeskuksen henkilöstön haastattelussa kävi ilmi tarve lisäkoulutukselle sähkönlaatutapahtu-miin liittyen.

Tarve liittyen ohjeistukseen sähkönlaatutapahtumista voisi olla mahdollisesti hyödyllistä koko yrityksen henkilöstölle. Ohjeet pitäisi olla selkeitä ja löytyä koko henkilöstölle hel-posti. Tätä voisi tukea säännöllisellä kouluttamisella. Tämän työn pohjalta on mahdol-lista laatia ohjeita sähkönlaatutapahtumien tulkitsemiseen.

Uusien sähkölaatutapahtumien tuominen järjestelmään

Joitain uusia sähkölaatutapahtumia voisi olla mahdollista joko tuoda Carunan käyttöön tai tehdä uutena ominaisuutena mittauspalveluun. Näitä voitaisi hyödyntää Carunan toiminnassa. Seuraavia sähkölaatutapahtumia voisi olla tarpeellista saada tulevaisuudessa:

- Kansi irti- ilmoitus

Ilmoitus, kun mittarin kansi avataan. Tätä ilmoitusta voitaisiin hyödyntää sähkövarkauksien todentamisessa.

- Tapahtuma välkynnästä

Jos saataisiin tapahtumatieto välkynnästä, pystyttäisiin helpommin tarkastelemaan muuntopiiritasolla välkyntää ja sitä kautta paikantamaan välkynnän aiheuttaja. Tämä voisi nopeuttaa vianpaikannusta. Välkyntä on yksi suurimmista sähkölaatureklamaatioiden aiheuttajista.

- THD virta

THD- tapahtuman voisi tulevaisuudessa ottaa käyttöön, mikä voisi helpottaa verkon häiriöiden aiheuttajien paikantamista, kun aiheuttajana ovat asiakkaiden laitteet.

- Mittariin ei yhteyttä

Hälytys siitä, että mittariin ei saada yhteyttä, jotta tiedettäisiin mitkä mittarit ovat toiminnassa.

- Hälytys Reverse Energy- tapahtumasta

Sähkönlaatutapahtumien saattaminen asiakkaiden saataville

Monet yhteydenotot koskien keskeytys- ja laatureklamaatioita koskevat selvityksiä asiakkaan oman käyttöpaikan sähkönlaadusta ja keskeytysten määristä. Tulevaisuudessa voisi miettiä voisiko asiakkaille tarjota pääsyä näkemään omia sähkönlaatutapahtumia esimerkiksi internetpalvelun kautta. Tämä voisi vähentää asiakasyhteydenottoja koskien tiedusteluita, joissa halutaan tietää keskeytysten määriä ja ajankohtia tai jännitteen tasoa. Tässä pitäisi tiedot kuitenkin saattaa asiakasystävälliseen muotoon ja ymmärrettäväksi maallikoita varten. Pitäisi myös miettiä, mitkä sähkönlaatutapahtumat olisivat taroituksenmukaisia asiakkaiden nähtäviksi. Täytyisi myöskin miettiä palvelun tuomaa taloudellista merkitystä. Tällaisella palvelulla voitaisiin mahdollisesti saada kuitenkin läpinäkyvyyttä verkkoyhtiön toimintaan.

9 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli kartoittaa sähkönlaatutapahtumien tämän hetkistä hyödyntämistä ja selvittää, voisiko tapahtumia hyödyntää tulevaisuudessa enemmän kuin tällä hetkellä.

Asetetut tavoitteet saavutettiin, ja työssä tuodaan esille, mikä on tällä hetkellä tilanne sähkönlaatutapahtumien hyödyntämisessä. Konkreettisena tuloksena työn perusteella selvitettiin, missä ja miten sähkönlaatutapahtumia käytetään hyödyksi. Toisena konkreettisena tuloksena voidaan pitää havaittuja tarpeita liittyen sähkönlaatutapahtumiin ja niistä saatavia kehitysehdotuksia:

- Liittymäoikeuden ylittämisen todentaminen sähkönlaatutapahtumalla
- Sähkönlaatutapahtumien tuominen raportointijärjestelmästä verkkotietojärjestelmään
- Henkilöstön kouluttaminen
- Mahdollisten uusien sähkönlaatutapahtumien tuominen järjestelmään.

Insinööriyössä käsiteltävät asiat opettivat minua omassa työssäni ja tulen käyttämään tähän koottuja asioita työkaluna työtehtäviä tehdessäni.

Insinööriyötä voidaan hyödyntää esimerkiksi hankittaessa uusia palveluja mittareille tai henkilöstön koulutusta suunniteltaessa. Lisäksi työtä voitaisiin hyödyntää pienjänniteverkon saneerauksissa, joita tehdään tulevana vuosina mittavia määriä.

Lähteet

- 1 Valtioneuvoston asetus sähkötoimitusten selvityksestä ja mittauksesta 2009, Verkkodokumentti Finlex <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090066>> Luettu 22.02.2017
- 2 Sähkömarkkinalaki 2013, Verkkodokumentti Finlex <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>> Luettu 22.02.2017
- 3 Caruna Yrityksemme 2017, Verkkodokumentti Caruna <<https://www.caruna.fi/caruna/yrityksemme/jaamme-hyvaa-energiaa>> Luettu 15.03.2017
- 4 Pakonen, Pertti. 2010. Sähkölaitteiden aiheuttamien verkkohäiriöiden arviointi. Tampereen Teknillinen Yliopisto.
- 5 Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje 2014, Verkkodokumentti Energiateollisuus RY <http://energia.fi/files/881/Sahkontoimituksen_laatu_ja_toimitustapavirheen_sovellusohje_2014.pdf> Luettu 20.02.2017
- 6 Suomen standardoimisliitto SFS. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. SFS-EN 50160. Helsinki: SESKO ry, 2010. Osa/vuosik. 4. painos
- 7 Caruna Urakoitsijan tietopankki 2017, Verkkodokumentti Caruna <<https://www.caruna.fi/urakoitsijat/urakoitsijan-tietopankki/urakoitsijaohjeet>> Luettu 10.04.2017
- 8 Verkkopalveluehdot VPE2014, Verkkodokumentti <https://caruna-cms-prod.s3-eu-west-1.amazonaws.com/verkkopalveluehdot_vpe_2014_20160118_0.pdf?KKPiea1b49iZxrEUW0rdhw6t6Hhw60wA> Luettu 03.04.2017
- 9 Caruna Sopimusehdot 2017, Verkkodokumentti Caruna <<https://www.caruna.fi/sopimusehdot>> Luettu 03.04.2017
- 10 Hallituksen esitys eduskunnalle sähkö- ja maakaasumarkkinoita koskevaksi lainsäädännöksi 2013, Verkkodokumentti Finlex <<http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2013/20130020>> Luettu 20.02.2017
- 11 Mittarien eventeistä, sisäinen dokumentti Caruna
- 12 Caruna sähkömittari 2017, Verkkodokumentti Caruna <<https://www.caruna.fi/sahkomittari>> Luettu 05.03.2017
- 13 AMR-mittarien hyödyntäminen operatiiviseen toimintaan, sisäinen dokumentti Caruna

14 Sähkön pienkuluttajien etäluettavan mittaroinnin tila ja luomat 2017, Verkkodokumentti VTT <<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/VTT-R-09048-06.pdf>> Luettu 23.03.2017

15 Etäluettavat sähkömittarit, sisäinen dokumentti Caruna

16 Käyttötoiminnot, asiantuntija. Caruna Oy. Espoo. Haastattelu 31.03.2017

17 Asiakaskokemus, asiantuntija. Caruna Oy. Espoo. Haastattelu 28.2.2017

18 Omaisuudenhallinta, asiantuntija. Caruna Oy. Espoo. Haastattelu 2.3.2017

19 Asiakaspalvelu, asiakasneuvoja. Caruna Oy. Espoo. Haastattelu 15.3.2017

20 Eskola, Sisko Maria; Ketolainen, Pasi Ketolainen; Stenman, Folke. 2007. Fotoni FY7 sähkömagnetismi Helsinki: Otava s.150

21 Mittaustiimi, asiantuntija. Caruna Oy. Espoo. Haastattelu. 30.3.2017

22 Verkkosopimushallinta, asiantuntija. Caruna Oy. Espoo. Haastattelu 11.4.2017

23 Verkkopalvelut, asiantuntija Caruna Oy. Espoo. Haastattelu 5.4.2017

24 Käyttötoiminnot, asiantuntija. Caruna Oy. Espoo. Haastattelu 10.4.2017

25 Verkkosuunnittelu, asiantuntija. Caruna Oy. Espoo. Haastattelu 8.3.2017