



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

JESSE SUOPAJÄRVI

Sähkön laadun vaikutus PLC- tiedonsiirtoon

SÄHKÖTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA
2020

Tekijä Suopajarvi, Jesse	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2020
	Sivumäärä 50	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Sähkön laadun vaikutus PLC-tiedonsiirtoon		
Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli analysoida ja tutkia sähkön laadun vaikutusta sähköverkossa tapahtuvaan PLC-tiedonsiirtoon, johon perustuvan PLAN-tekniikan avulla Turku Energia Sähköverkot Oy:n jakelualueella energiamittareiden etäluenta tapahtuu. Työ sisältää tutkimuksen sähkön laadusta ja etäluennasta teorian ja mittausten avulla. Lisäksi työssä tutkittiin EMC-häiriöiden vaikutusta sähkön laatuun.</p> <p>Mittaukset tehtiin Fluke 435 –sähkönlaatuanalysointilaitteella, PLAN-analysointilaitteella, Swemet MFA 400 –monitaajuusanalysointilaitteella ja eQL Laatuvahti2 –mittarilla. Yksi mittaus tehtiin vanhalla EMC-häiriöitä aiheuttavalla digiboksilla. Tuloksia analysoitiin ja verrattiin toisiinsa, jotta saatiin selville niiden vaikutus toisiinsa. Mittaukset tehtiin Turku Energia Sähköverkot Oy:n jakelualueella eri kohteissa.</p> <p>Mittauksista voitiin todeta, että sähkön laadulla ei ole vaikutusta PLC-tiedonsiirtoon. Myöskään EMC-häiriöt eivät vaikuta sähkönlaatuun.</p>		
Asiasanat Sähkömagneettinen yhteensopivuus, etäluenta, sähkömittaustekniikka		

Author Suopajarvi, Jesse	Type of Publication Bachelor's thesis	Date May 2020
	Number of pages 50	Language of publication: Finnish
Title of publication The effect of power quality on power-line communication (PLC) in the power grid		
Degree program Degree program in electrical engineering		
<p>The purpose of this thesis was to analyze and study the effect of power quality on power-line communication (PLC). The PLAN-technique, which is based on PLC, is used for automatic meter reading in Turku Energia Sähköverkot Oy's distribution grid. The work has a research about power quality and automatic meter reading, including theory and measurements. It has also a research about EMC disturbances and their effects to power quality.</p> <p>The measurements were done with Fluke 435 power quality analyser, PLAN-analyser, Swemet MFA 400 multifrequency analyser and with eQL quality watch2 meter. One measure was done with an old digibox, which causes EMC disturbances to the power grid. The results were analyzed and compared to each other. The measurements were done in different places in Turku Energia Sähköverkot Oy's distribution grid.</p> <p>As the result of the measurements can be said that the power quality doesn't have affect to power-line communication. The research also showed that EMC disturbances don't affect to the power quality.</p>		
Key Words Electromagnetic compatibility, remote reading, electricity measurement technology		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 TURKU ENERGIA SÄHKÖVERKOT OY.....	7
3 PLC-TIEDONSIIRTO	8
3.1 Historia.....	8
3.2 PLC-tekniikka	8
3.2.1 PLAN	10
3.2.2 LON	11
3.2.3 FSK (Frequency Shift Keying)	12
3.2.4 ASK (Amplitude Shift Keying)	12
3.3 PLC-tiedonsiirtoa vaimentavat tekijät.....	13
3.4 Etäluentajärjestelmä	13
4 SÄHKÖMAGNEETTINEN YHTEENSOPIVUUS – EMC	15
4.1 EMC-direktiivi	15
4.2 EMC-häiriöt	16
4.2.1 Yleisimpiä EMC-häiriöiden aiheuttajia	17
4.2.2 LED-valojen elektronisten liitäntälaitteiden EMC-vaikutukset.....	19
4.2.3 EMC-suotimet.....	19
5 SÄHKÖN LAATU	21
5.1 Standardi	21
5.2 Sähkön laatu	21
5.3 Sähkön laatuun vaikuttavia tekijöitä	22
5.3.1 Häiriöilmiöt.....	22
5.3.2 Jakelu- ja siirtoverkon taajuus.....	22
5.3.3 Jakelujännite.....	23
5.3.4 Keskeytykset	23
5.3.5 Nopeat jännitteen muutokset ja välkyntä	24
5.3.6 Transienttiylijännitteet	26
5.3.7 Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot.....	26
5.3.8 Verkon signaalijännitteet	28
5.3.9 Jakelujännitteen epäsymmetria	29
6 MITTALAITTEET	30
6.1 PLAN-analysaattori.....	30
6.2 Swemet MFA 400 -monitaajuusanalysaattori.....	31
6.3 Fluke 435 –sähkönlaatuanalysaattori	32
6.4 EQL Laatuvahti2 –mittari	34

7 MITTAUKSET	35
7.1 Mittaus 1 (teollisuuskiinteistö).....	35
7.1.1 Fluke 435 teollisuuskiinteistön sähköpääkeskus.....	36
7.1.2 Fluke 435 teollisuuskiinteistön muuntamolähdöt	40
7.1.3 Signaali-kohinasuhde	41
7.2 Mittaus 2 (omakotitalo).....	42
7.2.1 EQL Laatuvahti2 -mittaukset.....	43
7.2.2 Signaali-kohinasuhde	46
7.3 Mittaus 3 (sähkölaboratorio).....	47
7.3.1 Fluke 435 –sähkönlaatuanalysointilaitteiden mittaukset	48
7.3.2 MFA 400 –mittauslaitteiden mittaus	49
8 YHTEENVETO	50
LÄHTEET	

1 JOHDANTO

Erilaisten sähköverkkoon kytkettyjen laitteiden lisääntyminen vaatii sähköjakeluverkon alueella jatkuvaa selvitystyötä ja mittauksia, jotta saadaan energiamittareiden etäkäytön toiminta ylläpidettyä ja sähkön laatu pysymään standardoidulla tasolla. Esimerkiksi yleistyneet tehoelektronikan komponentit ovat herkkiä sähkön laadun muutoksille sekä ovat myös samalla itse alttiita aiheuttamaan sähköverkkoon päin häiriöitä. PLC-tiedonsiirtoon käytetyllä taajuusalueella 3 - 148,5 kHz esiintyvät häiriöt sähköverkossa voivat lamaanuttaa energiamittareiden etäluentaa ja –ohjausta. Sähkön laatuongelmat näkyvät laitteiden toimintahäiriöinä ja mahdollisina laitevaurioina.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään sähkön laatua ja PLC-tekniikkaa eli sähköverkossa tapahtuvaa tiedonsiirtoa teorian ja erilaisten mittausten avulla. Mittaukset tehtiin Turku Energia Sähköverkot Oy:n jakelualueella erilaisissa kohteissa.

Ensimmäisessä mittauskohteessa asiakas oli pyytänyt mittaamaan sähkön laatua teollisuuskiinteistössään ilmenneen laitevaurion takia. Toisessa mittauskohteessa mitattiin haja-asutusalueella olevan omakotitalon sähkön laatua ja sen vaikutusta PLC-tiedonsiirtoon, koska sähkön laadun kanssa on alueella ollut ongelmia. Kolmas mittaus suoritettiin sähkölaboratoriossa käyttäen mittausten apuna vanhaa häiriöitä aiheuttavaa digiboksia, jonka häiriöt lamaanuttavat PLC-signaalin täydellisesti. Tämän mittauksen tarkoituksena oli tutkia häiriöiden vaikutusta sähkönlaatuun.

Mittauksissa käytettiin mittalaitteina Fluke 435 –sähkönlaatuanalysointilaitetta, PLAN-analysointilaitetta, Swemet MFA 400 –monitaajuusanalysointilaitetta sekä eQL Laatuvahti2 -mittaria.

2 TURKU ENERGIA SÄHKÖVERKOT OY

Turku Energia Sähköverkot Oy on 100-prosenttisesti Turku Energia –konsernin omistama tytäryhtiö, jonka sähkönjakeluverkko kattaa lähes koko Turun, pois lukien Paattisten alue. Se vastaa sähkönjakelun lisäksi konsernin sähköverkkomaisuuden hallinnasta ja kehittämisestä sekä verkon toimitusvarmuudesta ja verkkopalvelusta. Turku Energia Sähköverkot Oy:llä on 91530 energiamitattua käyttöpaikkaa. Jakelualue on esitetty kuvassa 1. (Turku Energia www-sivut)



Kuva 1. Turku Energia Sähköverkot Oy:n jakeluverkkoalue (Turku Energia www-sivut)

3 PLC-TIEDONSIIRTO

3.1 Historia

Sähkönjakeluverkkojen käyttäminen tiedonsiirtotarkoitukseen on keksitty jo kauan sitten. Tätä on käytetty jo vuonna 1838, jolloin Edward Davy julkaisi mittausmenetelmän, jolla mitattiin Lontoon ja Liverpoolin välisten lennätinasemien akkujen välisiä jännitteitä. (Ahola 2003, 13)

Ensimmäisiä PLC-tekniikkaan perustuvia CTS-kantoaaltolähetyksiä alettiin lähettää 1920-luvulla. Tämä tekniikka tarjosi yhteyskanavan muuntamoiden ja sähköasemien välille suurjännitelinjoja pitkin. Etäisyys lähettimen ja vastaanottimen välillä saattoi olla jopa 900 kilometriä pienellä 10 watin lähetysteholla, koska lähetykseen käytettiin suhteellisen korkeita kantotaajuuksia 15 kHz – 500 kHz. Tämän lisäksi lähetyspituuteen vaikuttivat myös suotuisat lähetysolosuhteet ja verkon matalat kohinatasot. (Ahola 2003, 13)

3.2 PLC-tekniikka

PLC (Power Line Communication) -tekniikka eli sähköverkkoa pitkin tapahtuva tiedonsiirto perustuu informaatiota sisältävän signaalin modulointiin. Se on kehitetty pääasiassa sähkönjakeluyhtiöiden tiedonsiirtotarpeeseen, mutta myös yksityiseen käyttöön erilaisten sähkölaitteiden ohjaamiseen kotona. Sähköyhtiöt käyttävät PLC-tekniikkaa energiamittareiden etäohjaukseen ja energiankulutuksen etäluentaan. Myös internetin jakamista sähkölinjoja pitkin (datasähkö) on kokeiltu, mutta sen tarjoaminen lopetettiin säädösten ja teknisten ongelmien takia. (Ahola 2003, 13-14)

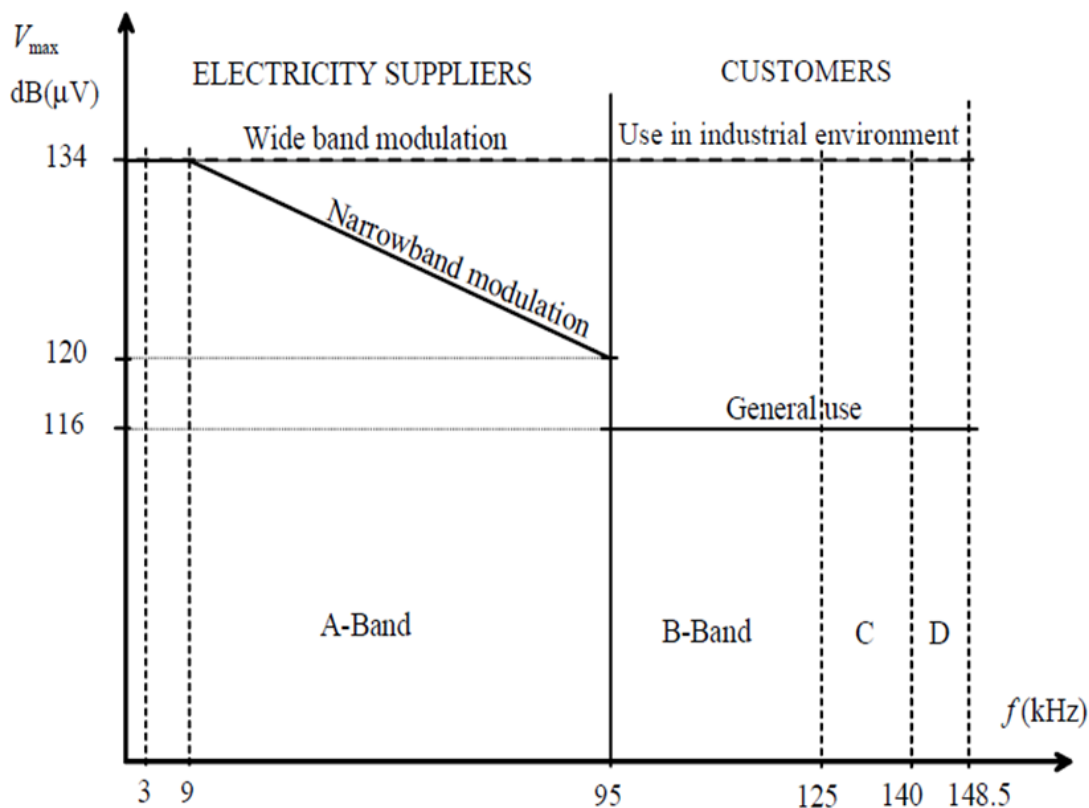
PLC-tekniikassa hyödynnetään jo olemassa olevaa sähköverkkoa tiedonsiirtoon, joten tätä varten ei tarvitse rakentaa uusia reittejä eli se on hyvinkin kustannustehokas ratkaisu energiamittareiden etäohjaukseen ja -luentaan. Kaikki PLC-tiedonsiirto tapahtuu pienjänniteverkossa, vaikka hyvin vähäistä ja hiljalleen käytöstä poistuvaa keskijänniteverkossakin tapahtuvaa tiedonsiirtoa on käytössä. PLC-tekniikassa tiedonsiirto ta-

pahtuu erilaisia modulointimalleja ja kommunikaatiotaajuuksia käyttäen. Tavat riipuvat laitevalmistajista. Tiedonsiirto tapahtuu siten, että lähettäjä moduloi lähetettävän datan ennalta määrätyllä modulaatiotavalla ja lähettää sen tietyllä signaalitaajuudella vastaanottajalle, jonka tehtäväksi jää saapuneen datan purkaminen ja käsittely. (Jääskeläinen 2018, 22)

Euroopan Unionin jäsenmaille sekä Norjalle ja Sveitsille määriteltiin standardi Cenelec EN-50065-1 pienjänniteverkossa tapahtuvalle signaloinnille vuonna 1991. Standardi korvasi kaikki aiemmat kansallisilla tasoilla tehdyt omat standardit ja se määrittelee taajuuskaistat eri käyttötarkoituksiin. Se ei ota kantaa modulointitapoihin. Standardissa PLC-käyttöön määritelty taajuusalue on 3 - 148,5 kHz ja se on jaettu osiin eri käyttötarkoituksia varten. Taajuusalue A (3-95 kHz) on varattu sähkönjakeluyhtiöiden käyttöön ja taajuusalueet B, C ja D (95-148,5 kHz) ovat tarkoitettu yksityiseen käyttöön. Eurooppalainen standardi eroaa huomattavasti kaistanleveyden puolesta esimerkiksi USA:n ja Japanin vastaavista standardeista, joissa PLC-tiedonsiirtoon käytettävä taajuusalue ylittää huomattavasti korkeammalle. Eri maiden taajuusalueet on esitetty taulukossa 1 ja Euroopassa käytetyt Cenelec-taajuusalueet kuvassa 2. (Ahola 2013, 16)

Taulukko 1. PLC-taajuusalueet eri maissa (EETimes www-sivut 2011)

Region	Regulatory Body	Frequency Band	Note
Europe	CENELEC	3-95kHz	A - Energy providers
		95-125kHz	B - Reserved for users
		125-140kHz	C - Reserved for users, regulated CSMA access
		140-148.5kHz	D - Reserved for users
Japan	ARIB	10-450kHz	
China	EPRI	3-90kHz	Not Regulated
		3-500kHz	
USA	FCC	10-490kHz	



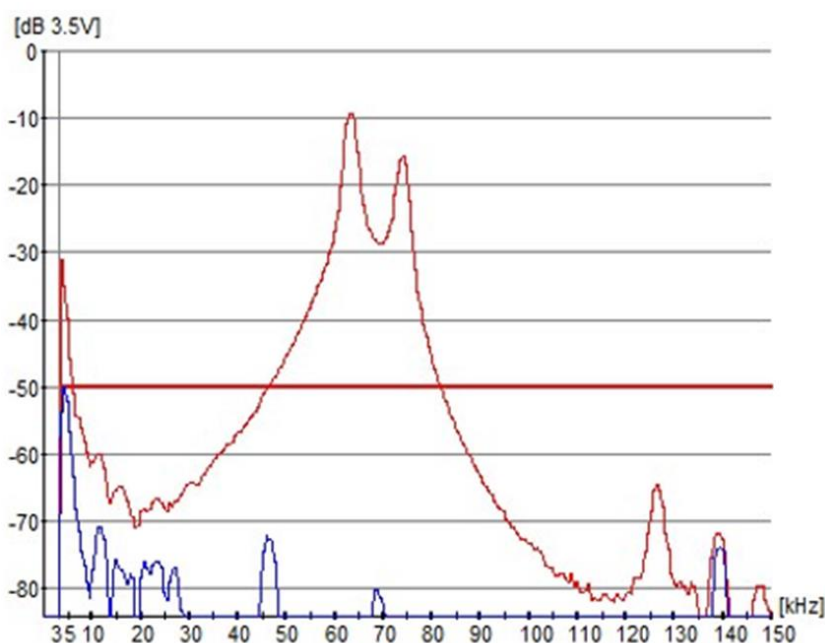
Kuva 2. Cenelec PLC-taajuusalueet Euroopassa. (Ahola 2013, 17)

3.2.1 PLAN

PLAN-tekniikka, jota myös Turku Energia Sähköverkot Oy käyttää etäluentajärjestelmään, on sähköverkkoa pitkin tapahtuvaa tiedonsiirtoa (PLC) ja se perustuu kansainväliseen standardiin IEC 61334. PLAN käyttää taajuusalueenaan sähköverkkoyhtiöille tarkoitettua Cenelec A -taajuuskaistaa, joka toimii taajuusalueella 3 - 95 kHz. Kommunikointitaajuudet PLAN-tiedonsiirrossa ovat 63,3 kHz ja 74 kHz, mutta kommunikointi toimii häiriötilanteissa myös pelkästään toisellakin näistä taajuuksista. Signaalin modulointitapana PLAN-tiedonsiirrossa käytetään oletuksena FSK-modulointia (Frequency Shift Keying) ja toissijaisena ASK-modulointia (Amplitude Shift Keying). (Landis+Gyr koulutusmateriaali)

PLAN-tekniikassa verkkotopologia muodostuu automaattisesti. Keskitin lähettää sähköverkkoon tunnin välein rekisteröimisviestin, jolloin uudet energiamittarit vastaavat tälle kuultuaan viestin. Tämän jälkeen keskitin lisää mittarit laitelistaansa ja pitää ne ajassa sekä lukee niiden mittausrekisteriä jatkuvasti. Tallennetun mittausdatan keskitin lähettää luentajärjestelmään 2G/3G:n avulla määriteltynä ajankohtana, jolloin myös

tiedot uusista mittareista siirtyvät järjestelmään. Keskittimen lähetyssignaali on yleensä huomattavasti pienempi kuin mittarin, koska jokainen mittari toimii samalla myös toistimena, toistaen saamaansa signaalia eteenpäin. PLAN-verkossa ei voi muissa kuin poikkeustapauksissa olla samanaikaisesti kahta keskitintä samassa muuntopiirissä ylikuuluvuustilannemahdollisuuden takia. Ylikuuluvuustilanteesta aiheutuu luentaongelmia keskittimien yrittäessä lukea ja ylläpitää rekistereissään samoja verkosta havaitsemiaan galvaanisella yhteydellä olevia mittareita. Kuva 3 esittää PLAN-signaalin muotoa. (Landis+Gyr koulutusmateriaali)



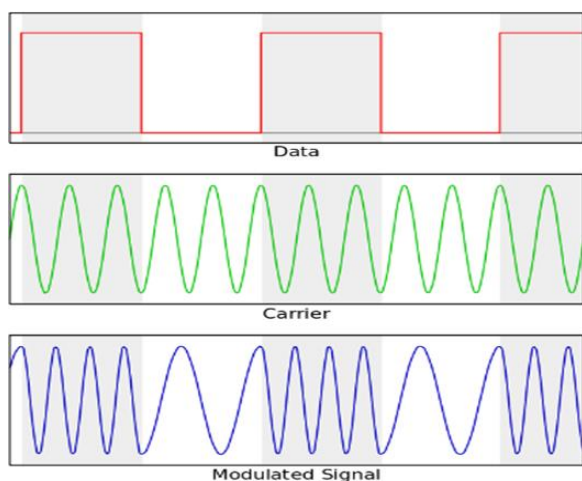
Kuva 3. PLAN-signaali MFA 400 -monitaajuusanalysaattorilla mitattuna (Landis+Gyr koulutusmateriaali)

3.2.2 LON

LON-tekniikka, joka oli ennen PLAN-tekniikan käyttöönottoa Turku Energia Sähköverkot Oy:n käyttämä etäluentajärjestelmä, käyttää myös tiedonsiirtoon Cenelec A -taajuuskaistaa ja sen kommunikointitaajuuudet ovat 75 kHz ja 86 kHz. LON-verkossa voi olla useampi keskitin samassa muuntopiirissä ilman, että tulee ylikuuluvuustilanteita toisin kuin PLAN-verkossa, koska verkkotopologia muodostetaan manuaalisesti. Jokaisen keskittimen alle järjestelmään kirjataan omat mittarinsa, joiden kanssa kommunikointi tapahtuu. Yhden keskittimen alle voidaan asentaa enimmillään 500 pääte-laitetta, joista tuntisarjoja kerätään. (Landis+Gyr koulutusmateriaali)

3.2.3 FSK (Frequency Shift Keying)

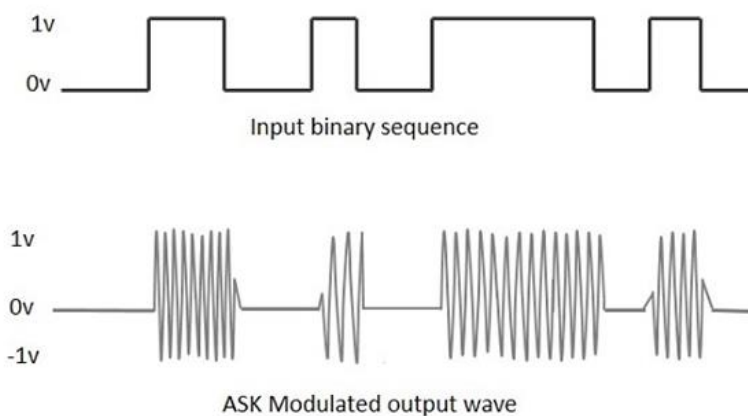
FSK-modulointi tarkoittaa digitaalisen tiedon lähettämistä taajuusmodulointimenetelmällä (kuva 4), jossa digitaalinen tieto lähetetään kanta-aallon taajuuden vaihteluissa. Yksinkertaisin FSK-menetelmä on BFSK (Binary Frequency Shift Keying), jossa data lähetetään kahdella eri taajuudella bittitietojen 0 ja 1 avulla. Bitti 0 vastaa välitaajuutta ja bitti 1 merkkitaajuutta. (Elprocus www-sivut)



Kuva 4. FSK –modulaatio (Elprocus www-sivut)

3.2.4 ASK (Amplitude Shift Keying)

ASK-modulaatiossa digitaalinen tieto kuljetetaan kanta-aallon taajuuden amplitudin vaihteluissa (kuva 5) bittitietojen 0 ja 1 avulla. Bitti 0 vastaa pienempää amplitudia ja bitti 1 suurempaa. (Tutorialspoint www-sivut)



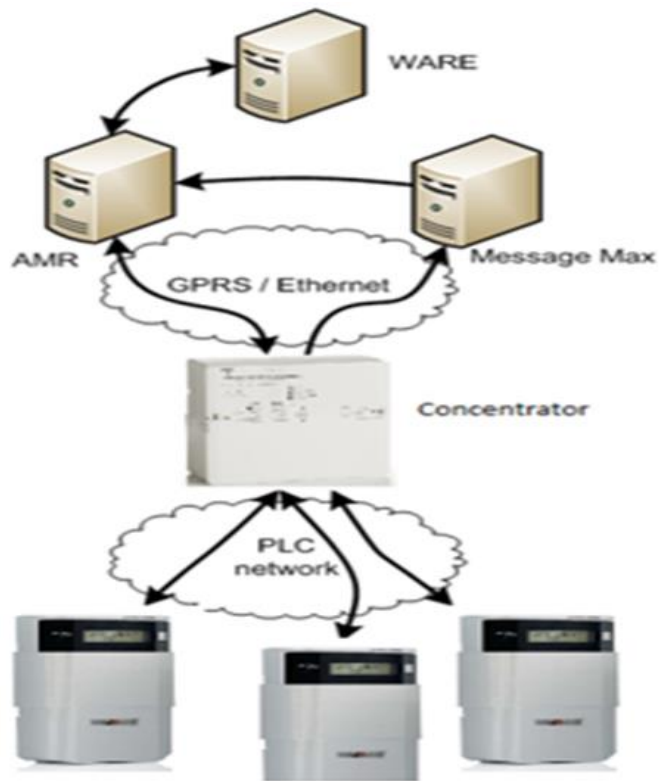
Kuva 5. ASK-modulaatio (Tutorialspoint www-sivut)

3.3 PLC-tiedonsiirtoa vaimentavat tekijät

Tiedonsiirtoa häiritsee mm. PLC-signaalin vaimeneminen lähettimen ja vastaanottimen välillä. Tämä johtuu yleensä sähköverkon itsensä aiheuttamasta vaimennuksesta tai jonkin häiriölähteen aiheuttamista häiriöpäästöistä samalla taajuusalueella PLC-signaalin kanssa. Signaalin taso vaihtelee siis verkon mukaan eli kuormien impedanssit ja johtimien ominaisuudet vaikuttavat tähän. Riittävän suuri vaimennus tai häiriö yhteysvälillä riittää lamaannuttamaan tiedonsiirron kyseisellä välillä. Keskitin lähettää PLC-signaalia kaikilla vaiheilla, vaikka energiamittareiden tiedonsiirto keskittimelle päin tapahtuukin yleensä vain yhdellä vaiheella (L1). Jokaisella vaiheella lähetetyn signaalin ansiosta myös 1-vaiheiset eri vaiheille kytketyt energiamittarit saadaan PLC-tiedonsiirron piiriin. Se, vaikuttaako tietty häiriölähde tiedonsiirtoon, riippuu vaiheiden välisestä ylikuuluvuudesta, vaikka häiriölähde olisikin kytketty eri vaiheelle PLC-signaalin kanssa. (Pakonen, Pikkarainen, Bashir & Verho 2013, 37)

3.4 Etäluentajärjestelmä

Energiamittareiden etäluentajärjestelmä (kuva 6) koostuu viidestä eri komponentista, jotka ovat tietokantapalvelimet WARE, AMR ja Message Max sekä keskitin ja energiamittarit. Nämä komponentit kommunikoivat ja käsittelevät tietoa keskenään käyttäen eri tiedonsiirtoyhteyksiä. Tietokantapalvelimet WARE, AMR ja Message Max käyttävät joko GPRS- tai Ethernet-yhteyttä tiedonsiirtoon keskittimen kanssa. Keskitimen ja energiamittareiden välisessä tiedonsiirrossa käytetään PLC-tiedonsiirtoa. WARE-tietokantapalvelin on yhteydessä laskutusjärjestelmään ja se sisältää myös erilaisia kehittyneempiä sovelluksia tiedonkäsittelyyn ja raportointiin. AMR-tietokantapalvelimen tehtävänä on mittausdatan ja energiamittareiden tietojen säilyttäminen. Message Max on palvelin, jota käytetään keskittimen lähettämän mittausdatan purkamiseen. Keskitin kerää rekisterissään olevien energiamittareiden lähettämät tiedot sähköverkon kautta (PLC) ja välittää ne eteenpäin 4 tunnin välein määriteltynä ajankohdana Message Maxille GPRS- tai LAN-yhteyden avulla. Keskitimen tehtävänä on pitää energiamittarit ajassa sekä lukea mittausrekistereitä jatkuvasti ja tallentaa tiedot muistiinsa. Keskitin on useimmiten asennettu muuntamoon tai muuhun keskeiseen sijaintiin energiamittareihin nähden, esimerkiksi jonkin taloyhtiön sähköpääkeskukseen. (Landis+Gyr koulutusmateriaali)



Kuva 6. Etäluentajärjestelmä (Landis+Gyr koulutusmateriaali)

4 SÄHKÖMAGNEETTINEN YHTEENSOPIVUUS – EMC

4.1 EMC-direktiivi

EMC (Electromagnetic compatibility) eli sähkömagneettinen yhteensopivuus tarkoittaa sitä, että sähkölaitteen ja -laitteiston häiriöpäästöjen ja -sietojen on oltava vaatimustenmukaisia. Sähkölaitteiden ollessa edes lähellä toisiaan, ovat ne sähkömagneettisesti samassa vaikutuspiirissä. Sähkömagneettisen yhteensopivuuden tarkoituksena on varmistaa, että samassa käyttöympäristössä olevat sähkölaitteet eivät aiheuta häiriötä eivätkä myöskään häiriinny muista häiriöistä. Vaatimusten täyttämistä on vastuussa sähkölaitteen tai -laitteiston valmistaja. (Tukes www-sivut)

EU:n direktiivissä 2014/30/EU on säädetty sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta. Asunto- ja teollisuusympäristöön tarkoitetuille laitteille on määritetty erilaiset häiriötasot voidakseen toimia keskenään samassa vaikutuspiirissä. Direktiivissä ei määritellä laitteiden EMC-vaatimuksia yksityiskohtaisesti, vaan ne löytyvät harmonisoiduista eurooppalaisista standardeista. (Sesko www-sivut)

CENELEC ja sen tekninen komitea TC 210 hoitaa sähkömagneettiseen yhteensopivuuteen liittyviä standardeja Euroopassa ja kansainvälisiä EMC-standardeja omissa komiteoissaan hoitaa IEC. Suomesta standardointiin osallistuu SESKO ja sen komiteat SK CISPR ja SK 77. (Sesko www-sivut)

EMC-direktiivillä säädellään kaikkia sähkömagneettisia häiriöitä tuottamaan kykeneviä laitteita tai joihin sähkömagneettiset ilmiöt voivat vaikuttaa. Direktiivin piiriin eivät kuitenkaan kuulu erilaiset radio- ja ilmailualan laitteet eivätkä ammattilaisten tutkimus- ja kehitysyksiköiden käyttöön tarkoitettut arviointivälineistöt. EMC-direktiiviä ei myöskään sovelleta, jos sähkölaitteiden tai -laitteistojen EMC-vaatimuksista säädetään jossakin toisessa direktiivissä. (Tukes www-sivut)

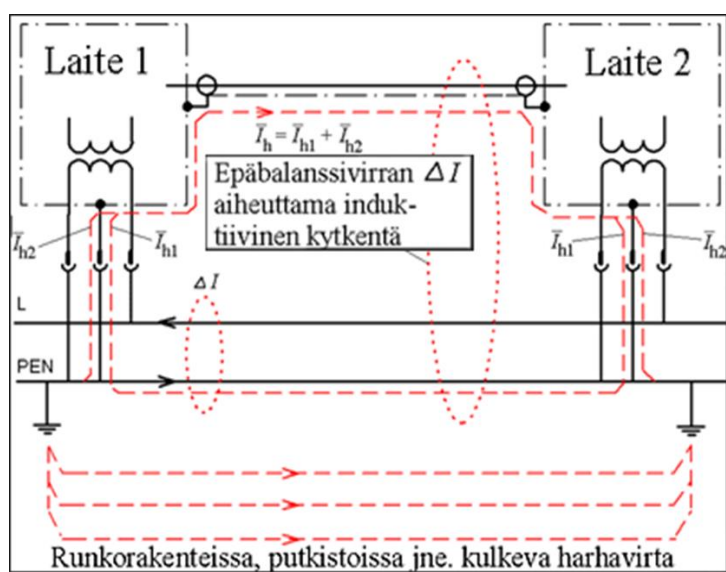
Standardeissa johtuvien häiriöiden häiriöpäästöjen raja-arvoja on annettu lähinnä taajuusalueelle 150 kHz - 30 MHz ja säteileville häiriöille yli 30 MHz:n taajuuksilla.

PLC-käyttöön tarkoitetun taajuusalueen 3 – 148,5 kHz johtuville häiriöille on määritetty raja-arvot toistaiseksi ainoastaan induktiokuumentimien häiriöpäästöille. Tämän taajuusalueen muidenkin laitteiden häiriöpäästöille ollaan parhaillaan eri komiteoissa kehittämässä standardeja. (Pakonen, Pikkarainen, Bashir & Verho 2013, 11-12)

4.2 EMC-häiriöt

Kaikki ympäristöönsä vaikuttavat sähkömagneettiset ilmiöt ovat sähkölaitteen tai -laitteiston häiriöitä, jos ne eivät ole tarkoituksenmukaisia. Häiriöt vaikuttavat toisiinsa johtimia pitkin johtumalla tai säteilemällä. EMC-häiriöt näkyvät usein mm. tietokoneen häiriökäyttäytymisenä, radion rätinänä ja raidoista television kuvassa. (Tukes www-sivut)

EMC-häiriölähteet jaetaan yleensä kahteen luokkaan, luonnollisiin tai teknisiin häiriöihin. Luonnollisia häiriöiden aiheuttajia ovat mm. salamaniskuista aiheutumat magneettikentät sekä auringon säteilystä aiheutuma taustakohina. Teknisiä häiriöitä ovat staattisen sähkön purkaukset ja digitaalisten pulssien sähkö- ja magneettikenttien muutokset. Sähkömagneettiset häiriöt (EMC) voivat vahingoittaa elektronisia komponentteja sisältäviä laitteita ja niitä ilmenee yleisimmin ympäristössä, jossa on suuria virtoja ja jännitteitä, tai jossa virta ei ole sinimuotoista. EMC-häiriöiden mahdollisia kulku-
reittejä on havainnollistettu kuvassa 7. (Sähköala.fi www-sivut 2008)



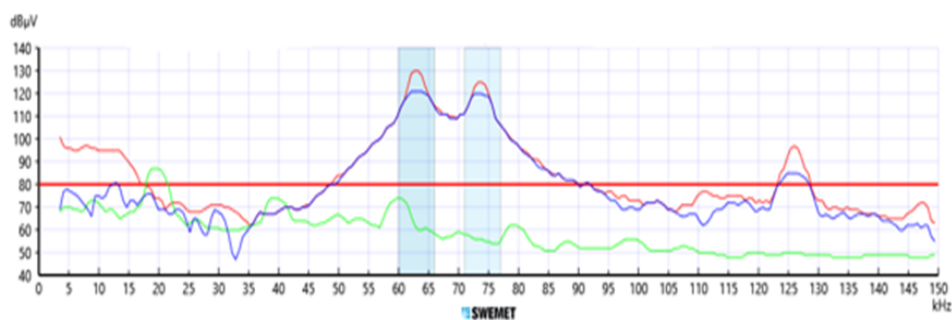
Kuva 7. EMC-häiriöiden kulku (Sähköala.fi www-sivut 2008)

Yleisimpiä PLC-tiedonsiirto-ongelmien aiheuttajia ovat LED-valojen, taajuusmuuttajien ja erilaisten hakkuriteholähteiden aiheuttamat EMC-häiriöt. Häiriöiden syntymistä aiheuttavat mm. sähkölaitteiden ikääntyminen ja komponenttien vioittumiset sekä mahdolliset asennusvirheet etenkin kaapelointien ja maadoitusten osalta. Kaikki laitteet eivät välttämättä uutenakaan täytä EMC-vaatimuksia laitevalmistajan vakuutuksesta huolimatta, mikä myöskin vaikuttaa häiriöiden määrään. Lisäksi häiriöiden määrää lisää häiriöpäästöjen raja-arvojen puuttuminen PLC-taajuusalueelta 3 - 148,5 kHz. (Pakonen, Pikkarainen, Bashir & Verho 2013, 4)

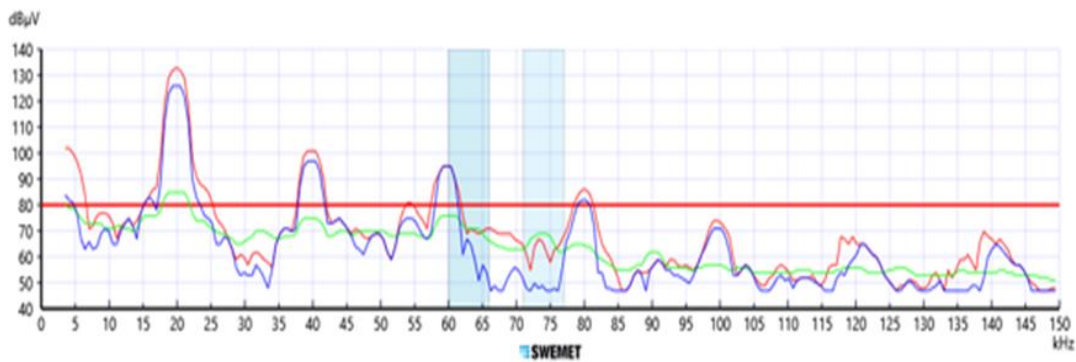
4.2.1 Yleisimpiä EMC-häiriöiden aiheuttajia

Mittaukset on tehty Swemet MFA400 -monitaajuusanalysointilaitteella eri kohteissa, joissa sähkömittareiden etäluenta on ollut loma- tai muuten heikolla kuuluvuudella. Kuvaajissa (kuvat 8-14) on esitettyä y-akselilla signaalijännitearvo välillä 40 - 140 dB μ V ja x-akselilla taajuusalue 0 - 150 kHz. PLC-tiedonsiirtoon tarkoitettu taajuusalue on 3 - 148,5 kHz ja sähköverkkoyhtiöiden käyttöön varattu alue tästä on 3 - 95 kHz. Turku Energia Sähköverkot Oy:n käyttämät energiamittarit toimivat PLAN-tekniikalla, jossa tiedonsiirtotaajuuksien kohdalla on 63,3 kHz ja 74 kHz (kuviin vaaleansiniset pystysuorat palkit). Punainen vaakaviiva 80 dB μ V on referenssitaso, jonka alapuolella sähköverkon kohinan tulisi tiedonsiirtotaajuuksien kohdalla olla, jotta energiamittareiden etäluenta ja -ohjaukset toimisivat ongelmitta.

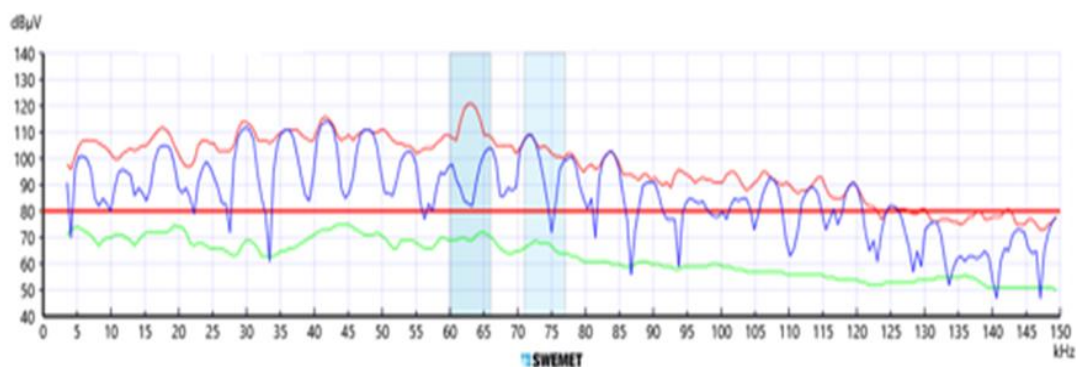
Kuvassa 8 tilanne on hyvä eli häiriöitä ei ole ja PLC-signaali saa yhteyden mittareille. Kuvissa 9-14 olevat erilaiset häiriöt ovat luentataajuuksella, mikä sotkee ja lamaannuttaa PLC-signaalia.



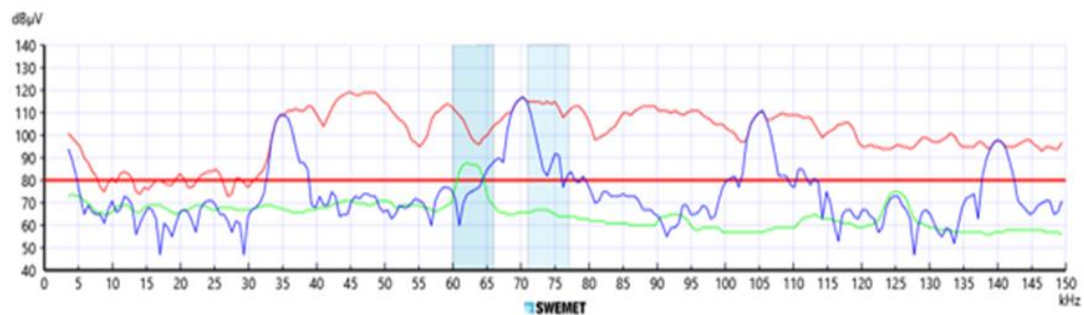
Kuva 8. Ei häiriöitä, jolloin PLC-signaali sinisten pystypalkkien kohdalla saa yhteyden mittareihin



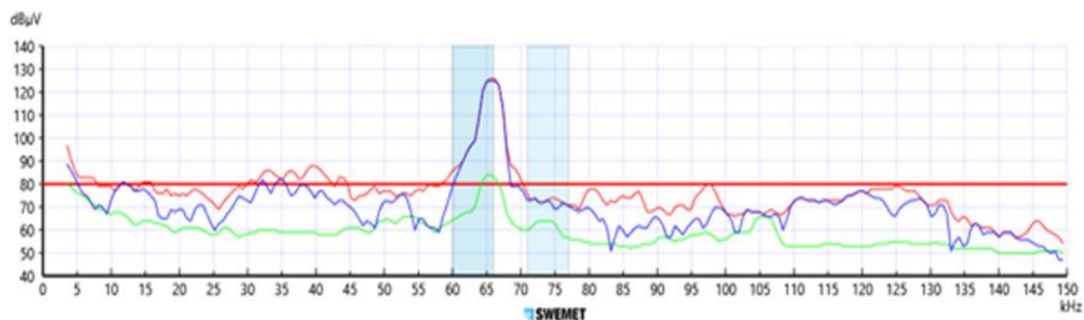
Kuva 9. Aurinkopaneelijärjestelmän invertterin aiheuttama häiriö



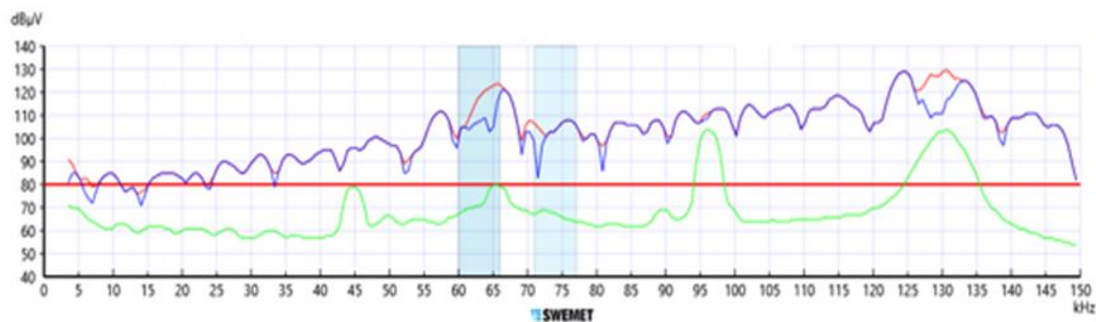
Kuva 10. Taajuusmuuttajan aiheuttama häiriö



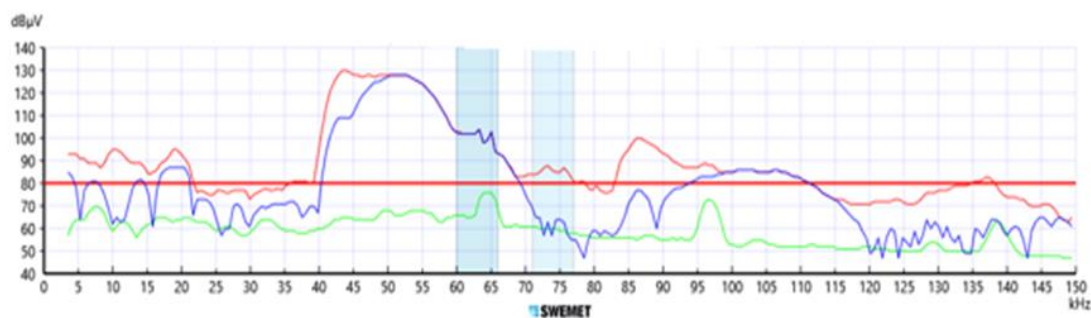
Kuva 11. Ulkoisen virtalähteen (muuntajan) aiheuttama häiriö



Kuva 12. PC:n virtalähteen aiheuttama häiriö



Kuva 13. Antennivahvistimen aiheuttama häiriö



Kuva 14. LED-valon aiheuttama häiriö

4.2.2 LED-valojen elektronisten liitälaitteiden EMC-vaikutukset

Yksinkertaisimmat elektroniset liitälaitteet sisältävät ainoastaan kokoaaltotasasuuntaajan, joka muuttaa vaihtojännitteen tasajännitteeksi ilman tehokertoimen korjausta. Ilman tehokertoimen korjausta toimiva tasasuuntaaja aiheuttaa verkkoon päin runsaasti parittomia yliaaltovirtoja, jotka saattavat häiriöiden lisäksi saman vaiheisina nollajohtimeen summautuessaan ylikuormittaa nollajohdinta. Laadukkaammilla komponenteilla varustetuissa lamputta häiriöpäästöihin on panostettu mm. tehokertoimen korjauskytkennällä. (Pakonen, Pikkarainen, Bashir & Verho 2013, 13-14)

4.2.3 EMC-suotimet

Häiriölähteen ja sähköverkon väliin on mahdollista asentaa EMC-suodin, joka suodattaa ja vaimentaa häiriöpäästöjä, jos ensisijaisesti laite on muuten kunnossa ja oikein asennettu. Suurin osa markkinoilla olevista suotimista on tarkoitettu yli 150 kHz johdettujen häiriöiden suodattamiseen, mutta joidenkin niistä suodatus yltää myös alemmalle

taajuudelle vaimentamaan PLC-tekniikan käyttämän taajuusalueen häiriöitä. (Pakonen, Pikkarainen, Bashir & Verho 2013, 4)

Ainakin Swemet (kuva 15) ja Ensoar (kuva 16) -nimisiltä valmistajilta löytyy juuri PLC:n käyttämälle taajuusalueelle 3 - 148,5 kHz sopivat 1-vaiheiset suotimet. Swemetin suodin kestää 16 A virran ja se on valmiiksi koteloitu. Ensoarin versio on pistotulpamallinen ja kestää teholtaan 900 W kuorman. Taajuusmuuttajille on olemassa myös omia EMC-suotimia, joissa on kiinnityspaikat valmiina taajuusmuuttajille. Taajuusmuuttaja asennetaan suotimen päälle eli suodin jää taajuusmuuttajan ja asennusseinän väliin. Myös suojaerotusmuuntajilla on mahdollista poistaa laitteen aiheuttamat häiriöt verkkoon päin galvaanisen erotuksen ansiosta.



Kuva 15. Suodin Swemet



Kuva 16. Suodin Ensoar

5 SÄHKÖN LAATU

5.1 Standardi

Standardi SFS-EN 50160 antaa raja-arvot jännitteen tasolle, taajuudelle, harmonisille ja epäharmonisille yliaalloille, välkynnälle sekä verkkokäskytaajuuksille. Nämä sähkön laatuun liittyvät raja-arvot liittyvät kohtaan, jossa verkon käyttäjä liittyy yleiseen jakeluverkkoon eli asiakkaan liittämiskohdassa. (Elovaara & Haarla 2011, 435)

Standardi määrittelee vain normaaliolosuhteissa tapahtuvia tilanteita, joihin sähköntoimittaja voi vaikuttaa. Standardi ei koske siis poikkeusolosuhteita, kuten esimerkiksi luonnonilmiöitä tai ulkopuolisten tahojen aiheuttamia häiriöitä. Pien- ja keskijänniteverkoille on omat vaatimuksensa. Nimellinen tehollisarvo pienjänniteverkossa on korkeintaan 1 kV ja keskijänniteverkossa 1 - 36 kV. (Energiateollisuus 2014, 13)

5.2 Sähkön laatu

Yleisimpiä laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat jännite- ja virtapiikit, yliaallot ja jännite-tason vaihtelut. Sähkön huono laatu voi pahimmassa tapauksessa katkaista teollisuuden koko tuotannon tai aiheuttaa laaturvirheitä. Kuluttajat voivat nähdä sähkön laadun ongelmat laitevaurioina tai toimintahäiriöinä, kuten esimerkiksi tietokoneiden näyttöjen välkkymisenä. Jatkuva verkon kuormitus lisää sähkön laadun merkitystä, ja näistä yleisimpiä laatuun vaikuttajia tekijöitä ovat mm. epälineaarinen kuormitus, tietokoneet, taajuusmuuttajat ja kaksimuunnostekniikalla toimivat UPS-laitteet. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 1-2)

Asiakaspalvelu, sähkön toimitusvarmuus ja jännitteen laatu on CEER (The Council of European Energy Regulators) määritellyt kuuluvaksi laajaan tulkintaan sähkön laadusta. (Elovaara & Haarla 2011, 419)

5.3 Sähkön laatuun vaikuttavia tekijöitä

5.3.1 Häiriöilmiöt

Lisääntyvät tehoelektronikkalaitteet ja niiden pienempi häiriönsietokyky ja yleinen kuormituksen kasvu sähköverkoissa luovat ongelmia sähkön laadulle. Myös verkkojen ja muuntajien sekä muiden verkon laitteiden huollolla on suuri merkitys tässä asiassa. Sähkön laatuun vaikuttavat häiriöilmiöt voidaan jakaa galvaanisesti ja sähkömagneettisesti johtuviin häiriöihin. Galvaanisesti johtuvia häiriöitä ovat transienttiylijännitteet, maadoitusviat, yliaallot, jännitekatkokset ja jännitetason vaihtelut sekä epäsymmetria ja sähkömagneettisia häiriöitä ovat virtojen ja jännitteiden luomat magneetti- ja sähkökentät sekä radiotaajuiset häiriöt. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 1-2)

5.3.2 Jakelu- ja siirtoverkon taajuus

Taajuus tarkoittaa tietyltä aikaväliltä mitattua jakelujännitteen perusaallon jaksomäärää. Suomessa nimellistaajuus jakelujännitteessä on 50 Hz. Kantaverkosta määräytyy yleisten jakeluverkkojen taajuus. Standardin mukaan pien- ja keskijänniteverkon perustaajuuden keskiarvon mitattuna 10 sekunnin aikavälillä normaaleissa käyttöolosuhteissa tulee olla

yhteiskäyttöverkoissa:

- 99,5 % vuodesta 50 Hz \pm 1 %
- 100 % ajasta 50 Hz -6 % / +4 %

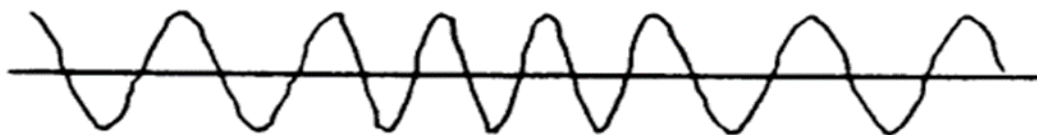
ja erillisverkoissa:

- 95 % viikosta 50 Hz \pm 2 %
- 100 % ajasta 50 Hz \pm 15 %

(Energiateollisuus 2014, 13)

Erillisverkoilla tarkoitetaan esimerkiksi jakelujärjestelmiä tietyillä saarilla. Erillisverkkojen raja-arvoja voidaan soveltaa esimerkiksi tilapäisille varavoimakonekäyttöille, joille ei erikseen standardissa määritellä omia raja-arvoja ja joiden käyttö on usein lyhytaikaista, kestoltaan alle viikon. (Energiateollisuus 2014, 13-14)

Taajuuspoikkeamia esiintyy harvoin suurempien sähkölaitosten jakelualueilla, vaan yleensä niitä ilmenee verkon saarekekäytössä, pienillä jakelualueilla ja varavoimakonekäytöissä. Taajuuspoikkeamia aiheutuu nopeista kuormitusmuutoksista yksittäisillä generaattoreilla ja näiden huonoista ohjaus- ja säätölaitteista sekä ylikuormitetusta ja epävakaasta maaseutuverkosta. Taajuuspoikkeaman käyrämuoto on esitetty kuvassa 17. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 2)



Kuva 17. Taajuuspoikkeama (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 2)

5.3.3 Jakelujännite

Standardin mukaan Suomessa pienjänniteverkon nimellisjännite on 230 V. Jakelujännitteen laatu mitataan jännitteen tehollisarvoina 10 minuutin keskiarvoista. Standardin mukaan normaaleissa käyttöolosuhteissa jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvojen tulee viikon ajalta mitattuna olla

pienjänniteverkossa:

- 95 % välillä ± 10 % nimellisjännitteestä
- 100 % välillä $+10$ % / -15 % nimellisjännitteestä

keskijänniteverkossa:

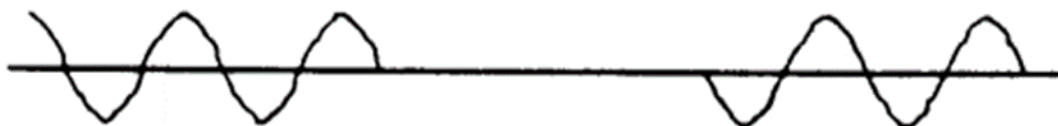
- 99 % välillä ± 10 % jakelujännitteestä
- 100 % välillä ± 15 % jakelujännitteestä

(Energiateollisuus 2014, 14)

5.3.4 Keskeytykset

Yksi yleisimmistä häiriöistä etenkin keskijänniteverkon avojohtolinjoilla on sähkönjakelun keskeytys, joka voi olla ongelmasta johtuva suunnittelematon keskeytys tai huoltoa tai muuta työtä varten tehty suunniteltu keskeytys, josta sähkökäyttäjille yleensä ilmoitetaan etukäteen. Ongelmista aiheutuvat keskeytykset johtuvat usein

luonnonilmiöistä, eläimistä tai verkon vikatilanteista ja ne jaetaan keskeytyksen keston mukaan pitkiin ja lyhyisiin keskeytyksiin. Pitkän ja lyhyen keskeytyksen välinen raja-aika on 3 minuuttia. Sähkön toimitusta voidaan myös joutua rajoittamaan tilanteissa, joissa sähköverkossa on ongelmia esimerkiksi kapasiteetissa. Keskeytystä esittävä käyrämuoto on kuvassa 18. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 1-2)

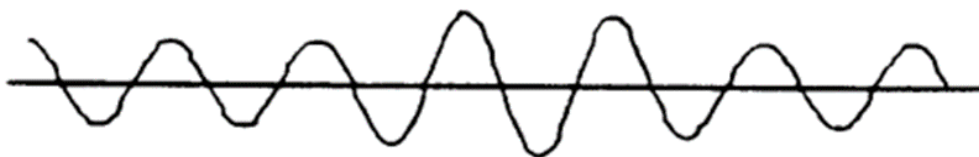


Kuva 18. Keskeytys (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 2)

5.3.5 Nopeat jännitteen muutokset ja välkyntä

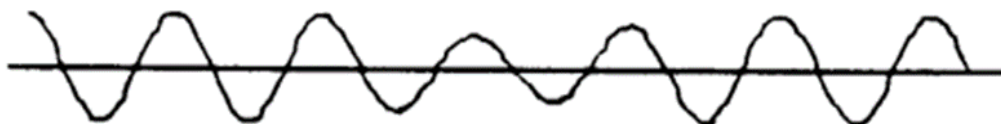
Nopea jännitteenmuutos tarkoittaa tehollisarvon nopeaa muutosta, joka saa olla korkeintaan $\pm 10\%$ nimellisjännitteestä. Tämä aiheutuu yleensä asiakkaiden laitteiden tai järjestelmän kytkennöistä. Standardissa ei ole tarkkoja rajoja yksittäisille nopeille jännitteen muutoksille. Siinä kerrotaan vain, että pienjänniteverkossa arvo pysyttelee yleensä tasolla $\pm 5\%$ nimellisjännitteestä, mutta joissakin olosuhteissa lyhytaikaisia arvon ylityksiä, suuruudeltaan jopa 10% , voi tapahtua muutamia kertoja päivässä. (Energiateollisuus 2014, 15)

Jännitteen muutoksia eli sen suuruutta ja vaihtelua voidaan hallita keskijänniteverkossa oikeastaan ainoastaan verkon oikealla suunnittelulla ja käytöllä. Jännitteen muutoksiin vaikuttavat sähköasemien jännitteensäätäjät ja verkon kuormitus sekä liittymiskohdan sijainti. Nopeat jännitteen muutokset aiheuttavat ongelmia herkille laitteille, kuten tietokoneille. Kuva 19 esittää nopean jännitteen nousun aiheuttamaa käyrämuotoa (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 2-3)



Kuva 19. Nopea jännitteen nousu (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 3)

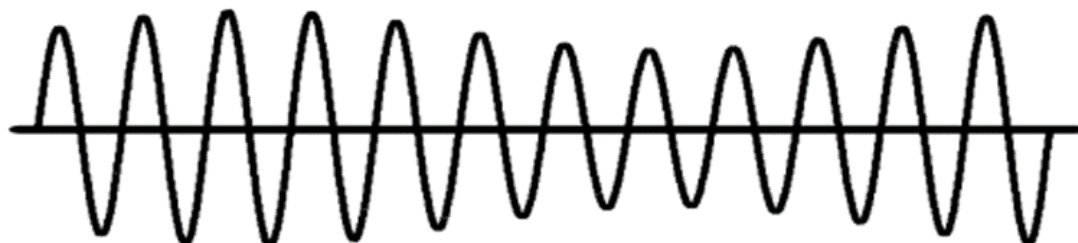
Jännitekuopaksi sanotaan tilannetta, jossa jännite laskee alle 90 %:iin nimellisjännitteestä. Jännitekuopan kesto on 0,01s – 3 min ja ne johtuvat yleensä verkossa tai asiakkaan asennuksissa tapahtuvista vioista tai suurien kuormien kytkennöistä jakeluverkossa. Jännitekuopan käyrämuoto on esitetty kuvassa 20. (Energiateollisuus 2014, 18)



Kuva 20. Jännitekuoppa (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 3)

Yleisimpiä välkyntää aiheuttavia laitteita ovat laitteet, joilla on huomattavan epätasainen kuormitusvirta. Näitä ovat mm. lämpöpumput. Välkyntä johtuu useasta peräkkäisestä nopeasta jännitetason muutoksesta ja se saattaa näkyä kotona valojen välkkymisenä. (Energiateollisuus 2014, 15)

Välkyntänsä ärsyttävyyttä mitataan lyhytaikaisella (Pst) ja pitkäaikaisella (Plt) häiritsevyyksillä. Lyhytaikainen häiritsevyyksindeksi mitataan 10 minuutin aikaväliltä ja sen avulla saadaan laskettua 12:sta kahden tunnin mittausaikaväliltä saadusta Pst-arvosta pitkäaikainen häiritsevyyksindeksi. Jakelujännitteen välkyntänsä Plt-arvon tulisi viikon mittausjaksolla pien- ja keskijänniteverkossa 95 % ajasta olla standardin mukaan enintään 1. Välkyntänsä käyrämuotoa esittää kuva 21. (Energiateollisuus 2014, 15-16)



Kuva 21. Välkyntä (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 3)

5.3.6 Transienttiylijännitteet

Transienttiylijännite on lyhytaikainen ylijännite. Transienttiylijännitteet jaotellaan pitkiin, keskipitkiin ja lyhyisiin transientteihin niiden keston perusteella. Pitkien transienttien kesto on yli $100\mu\text{s}$ ja ne syntyvät yleensä sulakkeen palamisesta ja kompensointikondensaattorin kytkennästä. Katkaisijan toiminnasta tai salamaniskusta syntyvät keskipitkät transientit ja ne ovat kestoaltaan $1\text{-}100\mu\text{s}$. Paikallisten kuormien kytkennästä syntyvät lyhyet transientit, joiden kesto on alle $1\mu\text{s}$. Myös ylijännitesuojien laukeaminen ja eristeiden läpilyönnit aiheuttavat transientteja. Transienttiylijännitteistä koituu usein haittaa tietokoneille tietojen tuhoutumisena tai laitevaurioina. Tietokoneet myös saattavat käynnistyä itsestään transienteista. Transienttiylijännitteen käyrämuoto on esitetty kuvassa 22. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 3)



Kuva 22. Transienttiylijännite (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 4)

5.3.7 Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot

Harmoninen yliaaltojännite tarkoittaa sinimuotoista jännitettä, jonka taajuus on perusaallon taajuus kokonaisluvulla kerrottuna. Harmonisella kokonaissäröllä (THD) voidaan kuvata yksittäiset harmoniset yliaaltojännitteet yhdessä. (Energiateollisuus 2014, 16)

Standardin mukaan 95 % yksittäisten yliaaltojännitteiden 10 minuutin tehollisarvoista tulee olla viikon tarkastelujaksolla pienempiä tai yhtä suuria kuin arvot taulukossa 2. Lisäksi huomioitaessa kaikki harmoniset yliaallot järjestyslukuun 40 saakka, tulee jakelijännitteen harmonisen kokonaissärön THD 10 minuutin tehollisarvon olla 95 % ajasta pienempi tai yhtä suuri kuin 8 %. (Energiateollisuus 2014, 16)

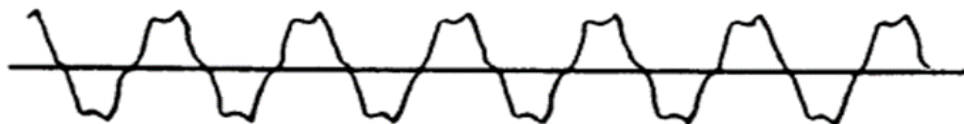
Taulukko 2. Harmonisten yliaaltojännitteiden arvot prosentteina nimellisjännitteestä liittämiskohdassa järjestyslukuun 25 saakka (Energiateollisuus 2014, 17)

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 %				

Epäharmonisen yliaaltojännitteen taajuus ei ole kokonaisluvulla kerrottu perusaallon taajuus. Epäharmoniset yliaallot ovat harmonisten yliaaltojen välissä ja ne voivat esiintyä yksittäin tai laajakaistaisena spektrinä ja niitä aiheuttavat enimmäkseen taajuusmuuttajat ja muut säätölaitteet. Nämä saattavat aiheuttaa myös välkyntää ollessaan lähellä perustaajuutta. Epäharmonisille yliaalloille ei ole asetettu raja-arvoja. (Energiateollisuus 2014, 18)

Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot ovat lisääntyneet verkossa erilaisten säätölaitteiden lisääntyessä. Niitä aiheuttavat yleensä ylikuormitetut muuntajat, epäsymmetriset kuormat, hakkuriteholähteet, tasasuuntaajat, taajuusmuuttajat, tyristorikäytöt sekä purkauslamput. Yliaaltojen tuomia haittoja ovat muun muassa verkon häviöiden kasvaminen, muuntajien ja nollajohtimien ylikuormittumiset ja äänihäiriöt. Harmonisen ja epäharmonisen yliaallon käyrämuodot on esitetty kuvissa 23 ja 24. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 4)

Yliaaltoja on mahdollista vähentää rakenteellisilla muutoksilla tai ulkoista suodatusta käyttämällä. Rakenteellisilla muutoksilla tarkoitetaan syötön vahvistamista, 12- tai useampipulssisen käytön tai säädetyn tasasuuntaajan käyttämistä tai käytön sisäisen suodatuksen parantamista. (ABB:n tekninen opas nro 6, 17)



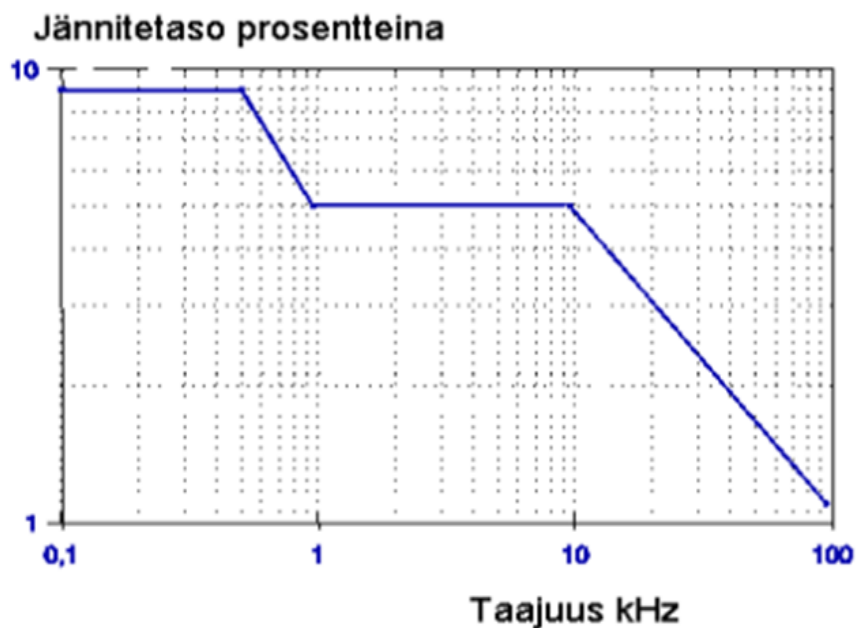
Kuva 23. Harmonisen yliaallon säröyttämä jännite (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 4)



Kuva 24. Epäharmonisen yliaallon säröyttämä jännite (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 4)

5.3.8 Verkon signaalijännitteet

Sähköverkkoa voidaan käyttää viestisignaalien siirtoon. Tällöin verkkojännitteeseen lisätään signaali viestin kuljettamiseksi. Standardin mukaan signaalijännitteen tulee olla yli 99 % päivästä pienempi tai yhtä suuri kuin kuvaajan (kuva 25) osoittamat arvot pienjänniteverkon liittämiskohdassa kolmen sekunnin keskiarvona mitattuna. (Energiateollisuus 2014, 17)



Kuva 25. Yleisen jakeluverkon signaalijännitteiden suositellut maksimitasot (Energiateollisuus 2014, 17)

Signaalijännitteet, 3-350 kHz, summautuvat verkon perustaajuuteen ja ne voivat kulkea verkkoa pitkin ja häiritä verkon muita laitteita. Signaalijännitteitä synnyttävät mm. verkon kantoaalto-signaalit sekä tutka- ja radiosignaalit. Kuvassa 26 on esitetty verkon perusaaltoon summautuneen signaalijännitteen käyrämuoto. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 4)



Kuva 26. Signaalijännite summautunut verkon perusaaltoon (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 5)

5.3.9 Jakelujännitteen epäsymmetria

Jännite-epäsymmetria aiheutuu pienjänniteverkossa yleensä epäsymmetrisestä kuormasta vaiheiden välillä. Epäsymmetriaa voi aiheuttaa maasulkutilanne tai yhden vaiheen sulakkeen palaminen verkossa tai kompensointiparistossa. Epäsymmetria saattaa häiritä elektronisia laitteita ja myös aiheuttaa ongelmia sähkömoottoreille aiheuttaen suurempia roottorihäviöitä ja momentin pienenemistä. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4, 5)

Standardin mukaan normaaleissa käyttöolosuhteissa viikon tarkastelujaksolla 95 % jakelujännitteen vastakomponentin 10 minuutin tehollisarvoista tulee olla välillä 0 - 2 % myötäkomponentista. (Energiateollisuus 2014, 16)

6 MITTALAITTEET

6.1 PLAN-analysaattori

PLAN-analysaattoria käytetään keskittimen ja mittauspisteen välisen PLAN-signaalin voimakkuuden ja signaalin aikaisen verkon kohinatason voimakkuuden mittaamiseen. Siinä on pistotulpallinen pää, joten se on helppo asentaa mittauskohteessa pistorasiaan. Signaalitasot on jaettu signaalin voimakkuuksien mukaan neljään osaan:

- Limit (alle 61 dBuV)
- Enough (61 dBuV – 80 dBuV)
- Good (81 dBuV – 100 dBuV)
- Perfect (101 dBuV – 118 dBuV)

(Landis+Gyr koulutusmateriaali)

Pelkästään signaalitason voimakkuus ei kerro, toimiiko sähkömittarin etäohjaus vai ei, vaan pitää myös huomioida verkon kohinatason lisäksi että, onko jossain häiriöitä ja katkeako mittaus välillä. Häiriöt analysaattori osoittaa punaisen ledin palamisena analysaattorin CRC-ilmaisimessa. Vihreänä palava ledi tarkoittaa, että kommunikaatio on häiriötön. (Landis+Gyr koulutusmateriaali)

PLAN-analysaattori ilmoittaa normaalissa mittaustilanteessa (näytöllä 1st received ja 2nd received) vasemmassa sarakkeessa ylhäältä alas luettuna kommunikaation modulointityypin (FSK tai ASK), signaalitason sekä toistojen määrän. Oikeassa sarakkeessa näkyy keskittimen MAC-osoite ja kommunikoiva vaihe sekä kummankin 63,3 kHz:n ja 74 kHz:n luentataajuuden signaalin voimakkuus ja kohinataso. (Landis+Gyr koulutusmateriaali)

Analysaattorin Crosstalk-tilassa voidaan myös mitata eri muuntopiireissä olevien keskittimien ylikuuluvuuksia, jotka aiheuttavat luentaongelmia. Analysaattori näyttää löydettyjen keskittimien MAC-osoitteet ja niiden signaalinvoimakkuudet. Ylikuuluvuustilanteessa sähkömittarit kommunikoivat eri muuntopiirissä olevan ”väärän” keskittimen kanssa, mikä sekoittaa sähkömittareiden toiminnan etäluennan ja -ohjausten osalta. (Landis+Gyr koulutusmateriaali)

Kahdella analysaattorilla on mahdollista tehdä esiselvitystä PLAN-signaalin toimivuudesta tietyssä paikassa ennen kuin lähdetään asentamaan keskitintä. Toinen analysaattori asetetaan ”Sending Requests” –tilaan lähettämään keskittimen paikalle ja toisella vastaanotetaan normaalitilassa ”1st Frame Received” sijainnissa, jonne PLAN-signaali olisi tarkoitus saada. (Landis+Gyr koulutusmateriaali)

PLAN-analysaattorilla tallentaminen tapahtuu valitsemalla joko ”Real Time” (tallentaa jokaisen vastaanotetun pyynnön ja kohinatason voimakkuuden) tai ”Long Time” (tallentaa 10 minuutin välein ilman kohinatason voimakkuuden mittaamista) ja painamalla sen jälkeen ”Rec” –painiketta, jolloin nauhoitus alkaa ja kestää siihen saakka, kunnes pysäyttää tallennuksen painamalla uudelleen samaa painiketta. Kuvassa 27 on kuva PLAN-analysaattorista. (Landis+Gyr koulutusmateriaali)



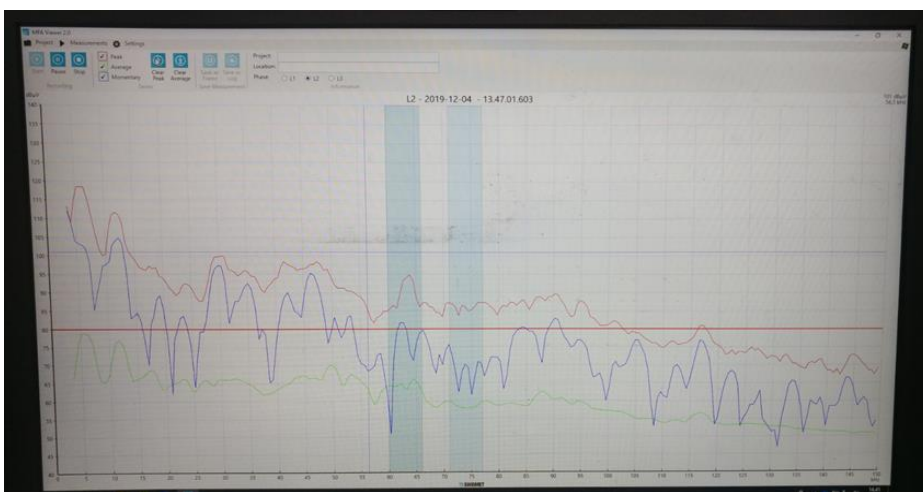
Kuva 27. PLAN-analysaattori

6.2 Swemet MFA 400 -monitaajuusanalysaattori

Swemetin valmistamalla MFA 400 –monitaajuusanalysaattorilla (kuva 28) mitataan sähköverkon signaali-kohinasuhdetta halutussa mittauspisteessä. MFA 400 -analysaattorin (Multi Frequency Analyser) mitattava taajuusalue on 3-150 kHz CENELEC 50065-1 -standardin mukaisesti. Tietokoneeseen yhdistettynä ja laitteen omaa analyysiohjelmaa käyttäen, pystyy sillä visuaalisesti näkemään koko taajuusalueen spektrin ja mittauskuvien perusteella voi jopa päätellä mahdollista häiriöiden aiheuttajaa. Signaali-kohinasuhdetta mitattaessa, sillä pystyy mittaamaan huippuarvon, hetkellisarvon sekä keskiarvon koko taajuusalueen spektristä. Kuvassa 29 on kuvattuna koko mitattavan taajuusalueen signaali-kohina MFA Viewer –analyysiohjelmalla. (Tholen 2012)



Kuva 28. MFA 400 –monitaajuusanalysaattori



Kuva 29. MFA Viewer –analyysiohjelma tietokoneella

6.3 Fluke 435 –sähkönlaatuanalysaattori

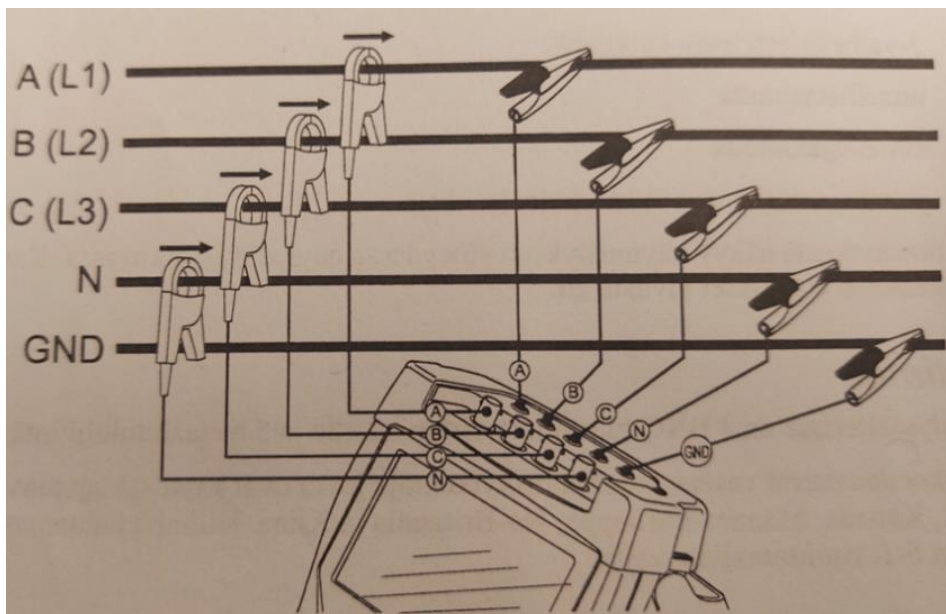
Fluke 435 (kuva 31) on kolmivaiheinen sähkönlaatuanalysaattori sähkönjakelujärjestelmän tarkasteluun. Analysaattorilla on mahdollista erilaisten mittausten avulla nähdä sähköverkossa tapahtuvat pienimmätkin muutokset yksityiskohtaisesti. Oskilloskoopinäytön aaltomuoto- ja vektorinäyttöjen avulla saa varmistettua jännite- ja virtamittapäiden oikeinkytkennot. Vektorinäytöllä tunnistamisen helpottamiseksi, virran nuolet on merkitty ohuina ja jännitteet paksuina. Yleisen kuvan saamiseksi sähkönjakelujännitteen laadusta, on analysaattorissa ”MONITOR”-toiminto, jonka avulla saa esiin pylväsnäytön jakelujännitteen laadusta. Pylvään väri muuttuu vihreästä punaiseksi, jos jokin mitattu arvo on raja-arvojen ulkopuolella. Numeraaliset arvot saa näkyville ”Volts/Amps/Hertz” –tilassa, jolloin näytöllä näkyvät senhetkiset jännitearvot, virta-arvot sekä taajuus- ja huipukerroinarvot vaihekohtaisesti ja ”TREND”-painikkeella näkee piirturinäytöllä nämä arvot. (Fluke 434/435 käyttöohje. Luku 3, 1)

Analysaattorilla suoritettavia mahdollisia mittaustoimintoja ovat:

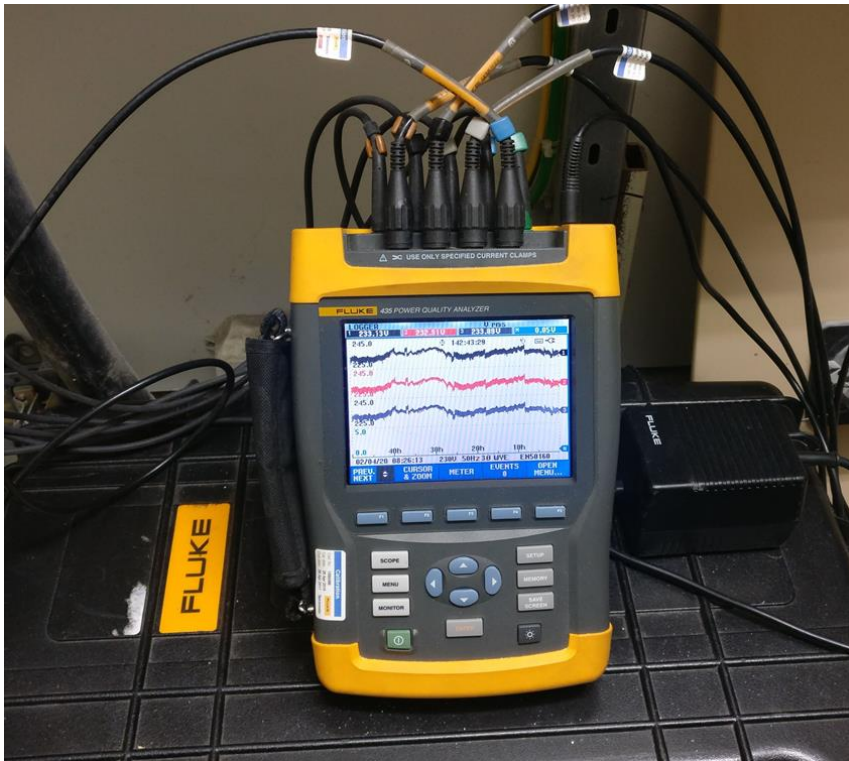
- vaihekohtaiset jännitteet
- vaihekohtaiset virrat
- tehokerroin
- harmoniset yliaallot
- välkyntä
- kuopat ja kohoumat
- taajuus
- epäsymmetria
- verkon signaalijännitteet
- loggeri

(Fluke 434/435 käyttöohje. Luku 3, 2)

Fluke 435 sähkönlaatuanalysaattorissa on 4 BNC-tuloa virtapihdeille ja 5 banaanituloa jännitemittauksille. Kolmivaiheisessa sähkönjakelujärjestelmässä kytketään ensiksi virtapihdit vaihejohtimiin L1, L2 ja L3 sekä nollaan (N). Pihteihin on merkitty virran kulkusuunta. Tämän jälkeen kytketään jänniteliitännät järjestyksessä PE, N, L1, L2 ja L3. Ennen mittausten suorittamista, on analysaattorin asetuksista asetettava nimellisjännite, taajuus ja johdotusjärjestelmä vastaamaan mitattua sähköverkkoa. Kuvassa 30 on havainnollistettu kytkentäohje. (Fluke 434/435 käyttöohje. Luku 6, 2)



Kuva 30. Fluke 435 -sähkönlaatuanalysaattorin kytkeminen kolmivaihejärjestelmään (Fluke 434/435 käyttöohje. Luku 6, 2)



Kuva 31. Fluke 435 –sähkönlaatuanalysointilaite

6.4 EQL Laatuvahti2 –mittari

EQL Laatuvahti2 –mittaria (kuva 32) käytetään pienjänniteverkon laadun mittaamiseen. Sen avulla saadaan mitattua erilaiset jännite-, virta- ja tehoarvot sekä muut arvot, kuten jännitekatkot, taajuus ja vaihteittaiset tehokertoimet. Mittarin tallennuskapasiteetti on 10 päivää 10 minuutin mittausjaksoilla mitattuna. (Electrix www-sivut)



Kuva 32. EQL Laatuvahti2 –mittari (Electrix www-sivut)

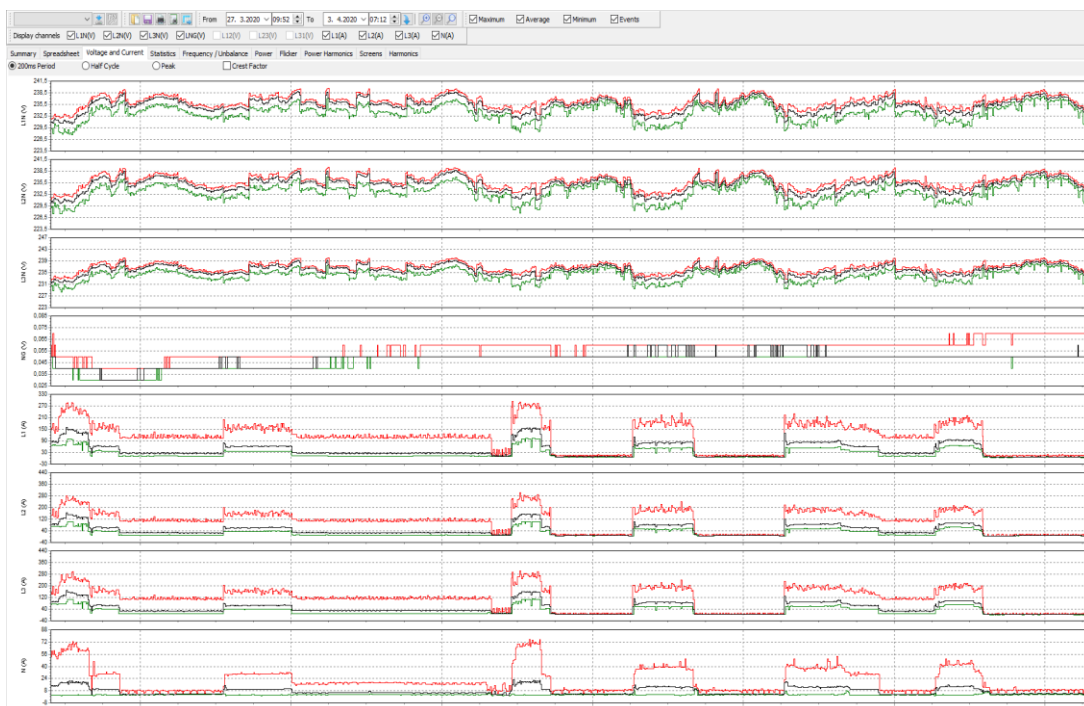
7 MITTAUKSET

7.1 Mittaus 1 (teollisuuskiinteistö)

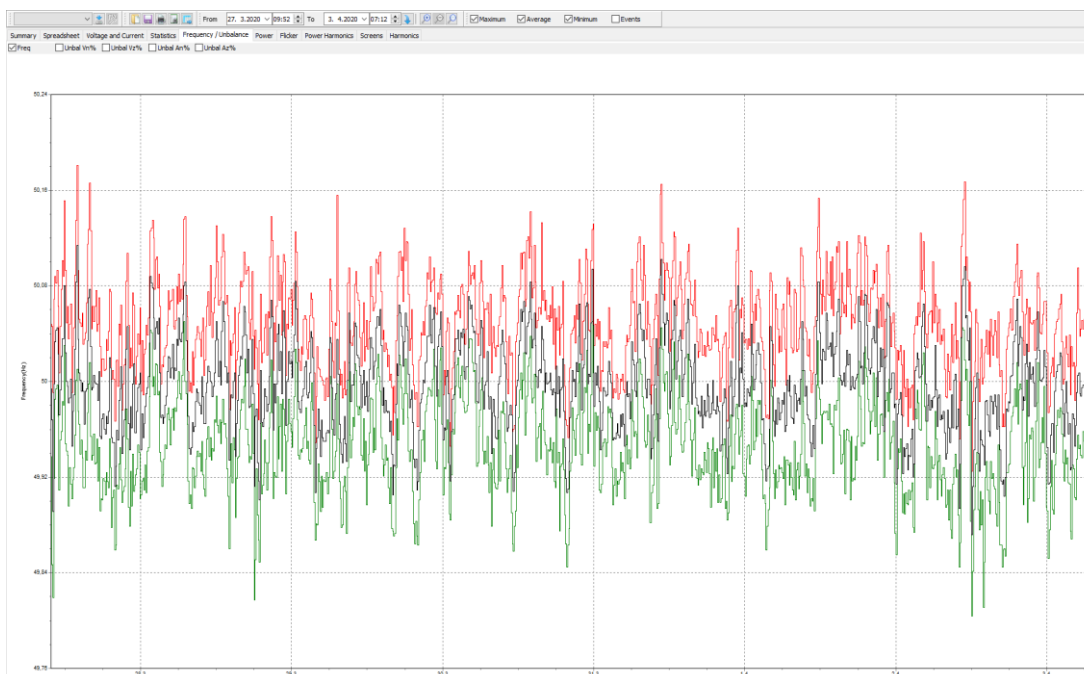
Tässä kohteessa mitattiin erään teollisuuskiinteistön sähkön laatua asiakkaan pyynnöstä, koska tämä epäili, että kiinteistössä tapahtunut laitevaurio olisi aiheutunut huonosta sähkön laadusta. Ensin tehtiin viikon mittaiset mittaukset (kuvat 33-40) kiinteistön sähköpääkeskuksessa Fluke 435 –sähkönlaatuanalysointilaitteella, minkä jälkeen Fluke siirrettiin noin vuorokaudeksi mittaamaan sähkön laatua muuntamolle teollisuuskiinteistön lähtökaapeleihin (kuvat 41-43). Muuntamomittauksen rinnalla käytettiin teollisuuskiinteistön sähköpääkeskuksessa PLAN-analysointilaitetta, jonka avulla mitattiin PLC-signaalin ja verkon kohinan voimakkuutta (kuvat 44 ja 45).

Mittaustuloksia tutkittuani totesin, että sähkön laatu pysyy standardien mukaisella tasolla, joten laitevaurio on aiheutunut jostakin muusta kuin huonosta sähkönlaadusta. Myöskään etäluennan kanssa tässä kohteessa ei ollut ongelmia. Signaali-kohinasuhteesta (kuvat 45 ja 46) näkee, että PLAN-signaalin voimakkuus pysyi vähintään tasolla ”good” eli signaalin voimakkuus oli vähintään 81 dBuV koko mittausjakson ajan eikä signaali katkennut missään kohtaa.

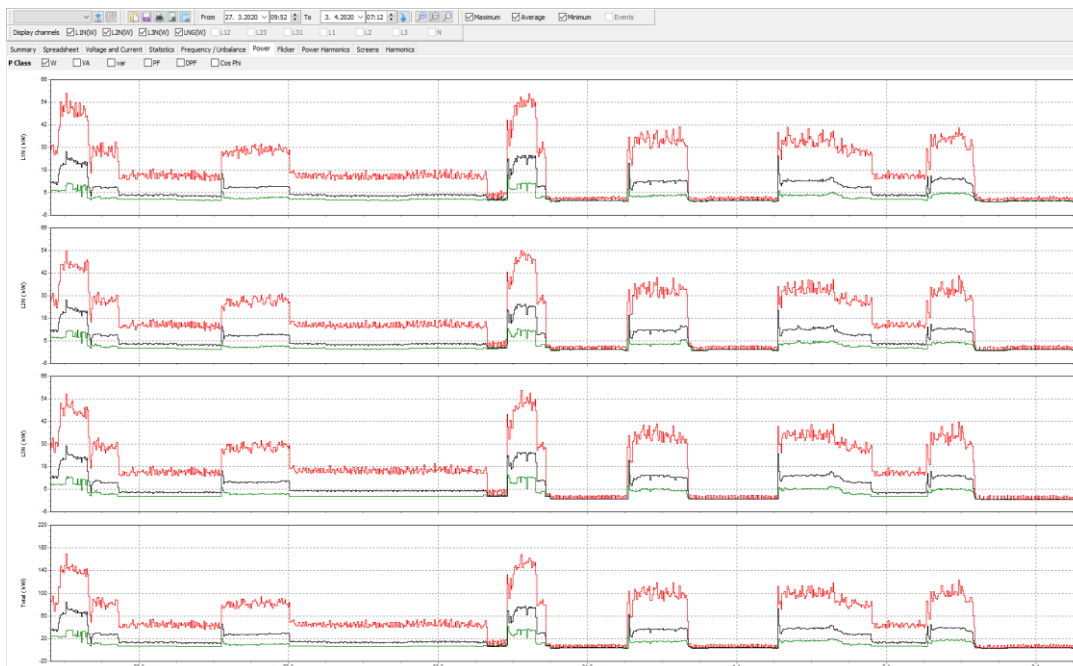
7.1.1 Fluke 435 teollisuuskiinteistön sähköpääkeskus



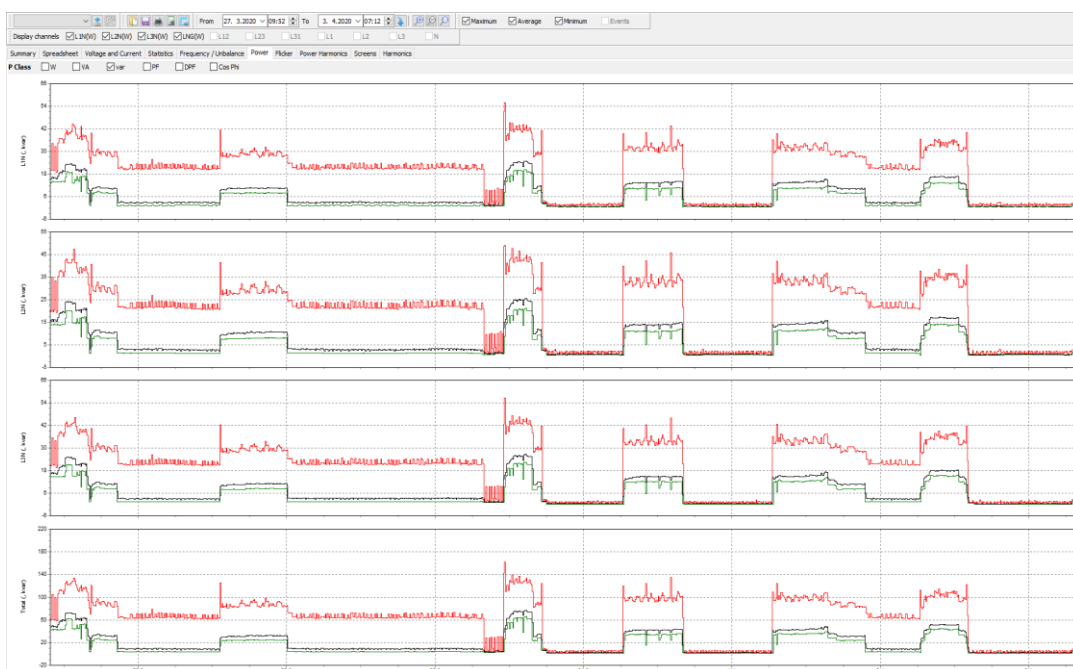
Kuva 33. Jännite ja virta (L1, L2, L3 ja N)



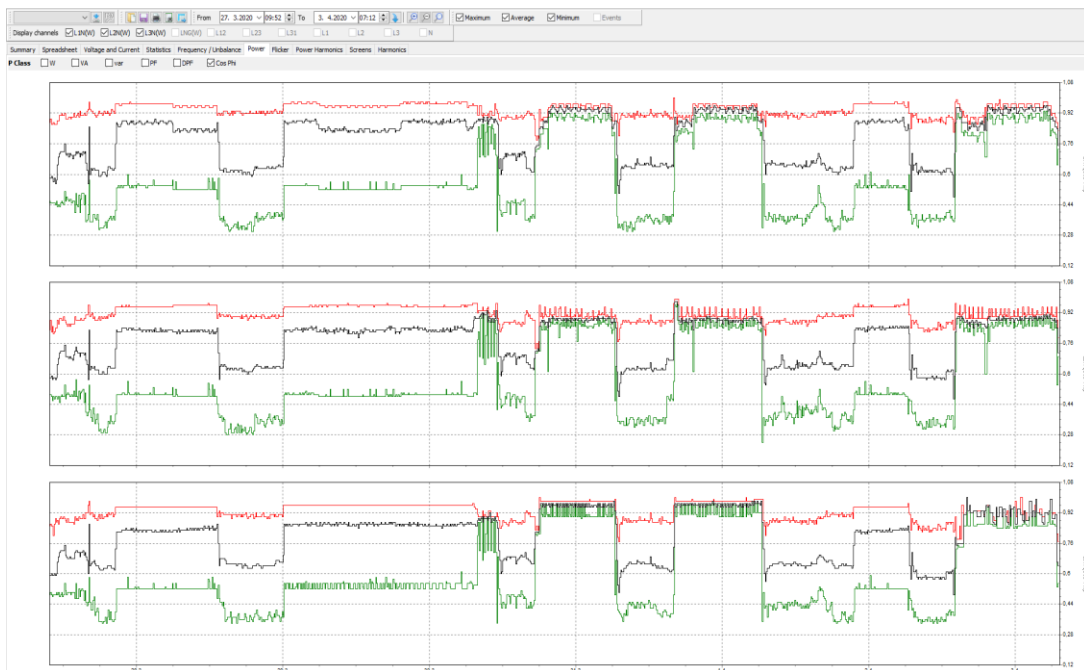
Kuva 34. Taajuus



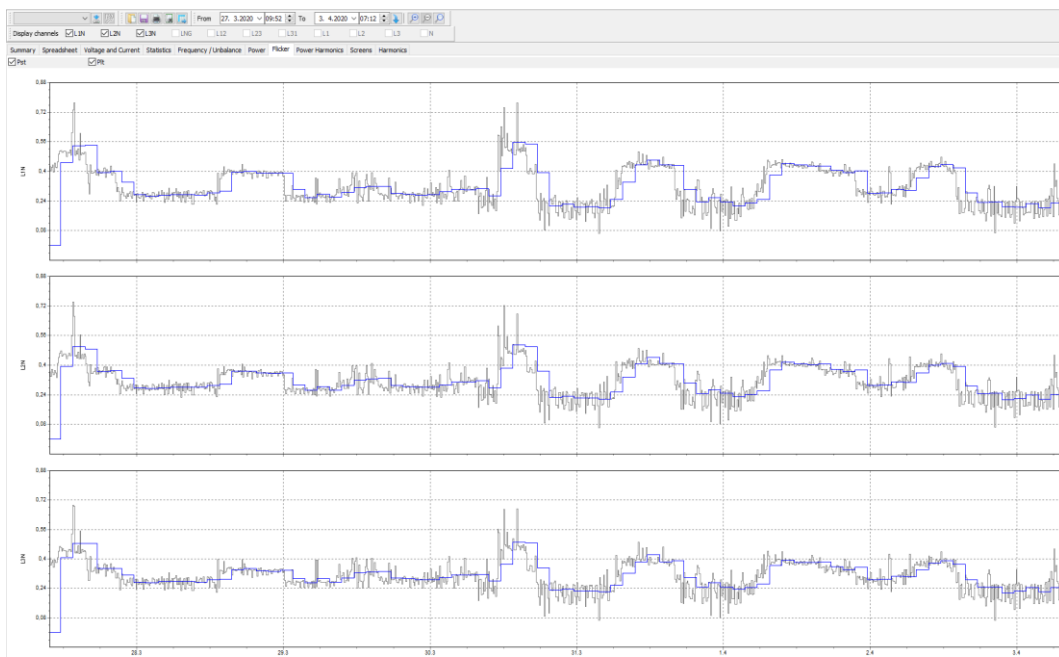
Kuva 35. Pätöteho (L1, L2, L3 ja kokonaispätöteho)



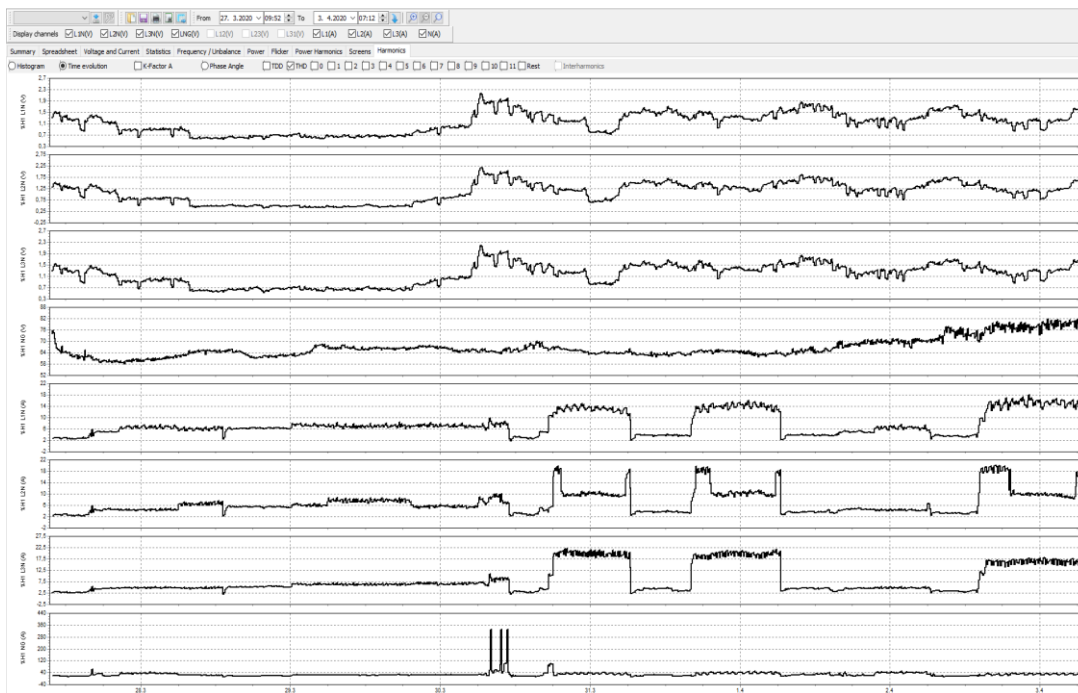
Kuva 36. Loisteho (L1, L2, L3 ja kokonaisloisteho)



Kuva 37. Tehokerroin (L1, L2 ja L3)



Kuva 38. Välkyntä Pst ja Plt (L1, L2 ja L3)

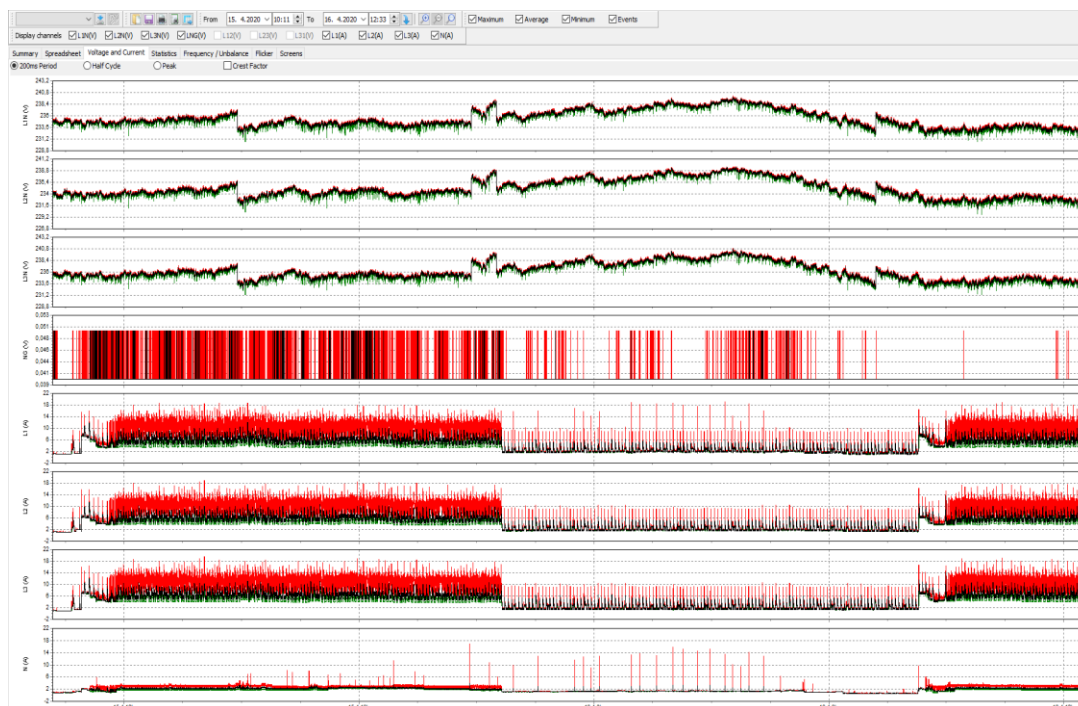


Kuva 39. Jännitteen ja virran yliaaltojen THD-arvot (L1, L2, L3 ja N)

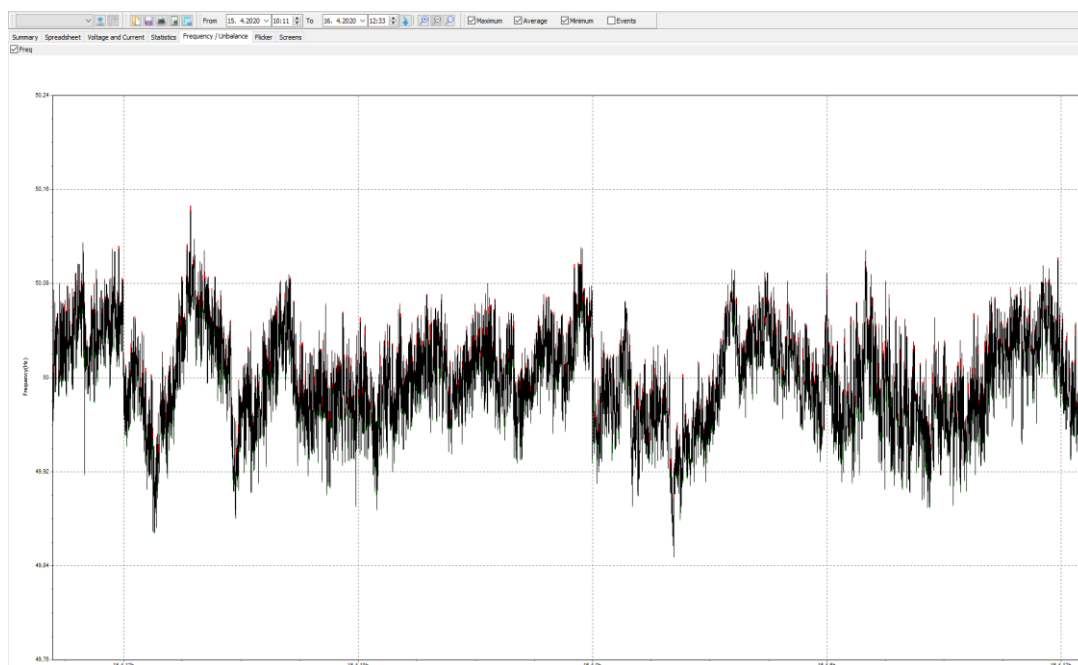


Kuva 40. Jännitteen ja virran yliaallot (THD, 3., 5., 7., 9. ja 11.)

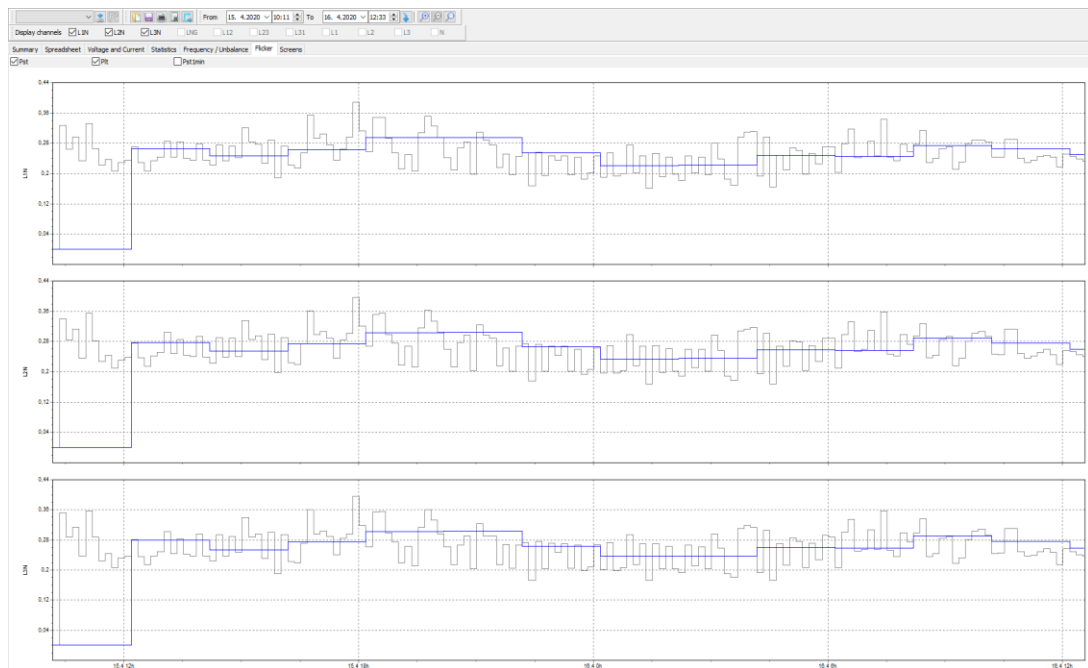
7.1.2 Fluke 435 teollisuuskiinteistön muuntamolähdöt



Kuva 41. Jännite ja virta (L1, L2, L3 ja N)

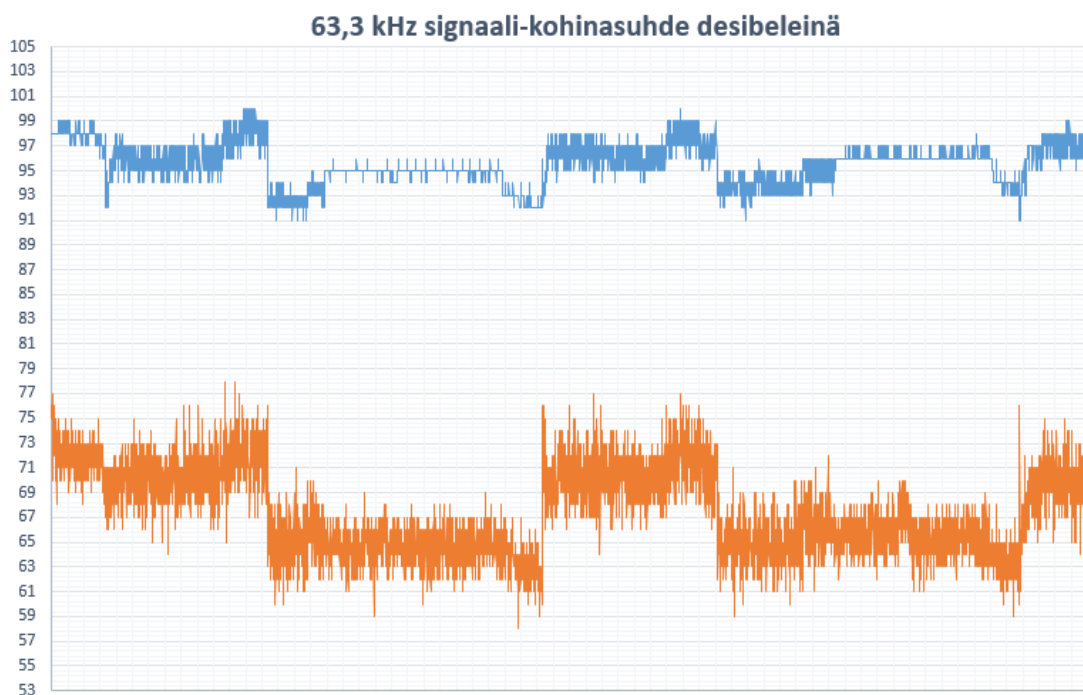


Kuva 42. Taajuus

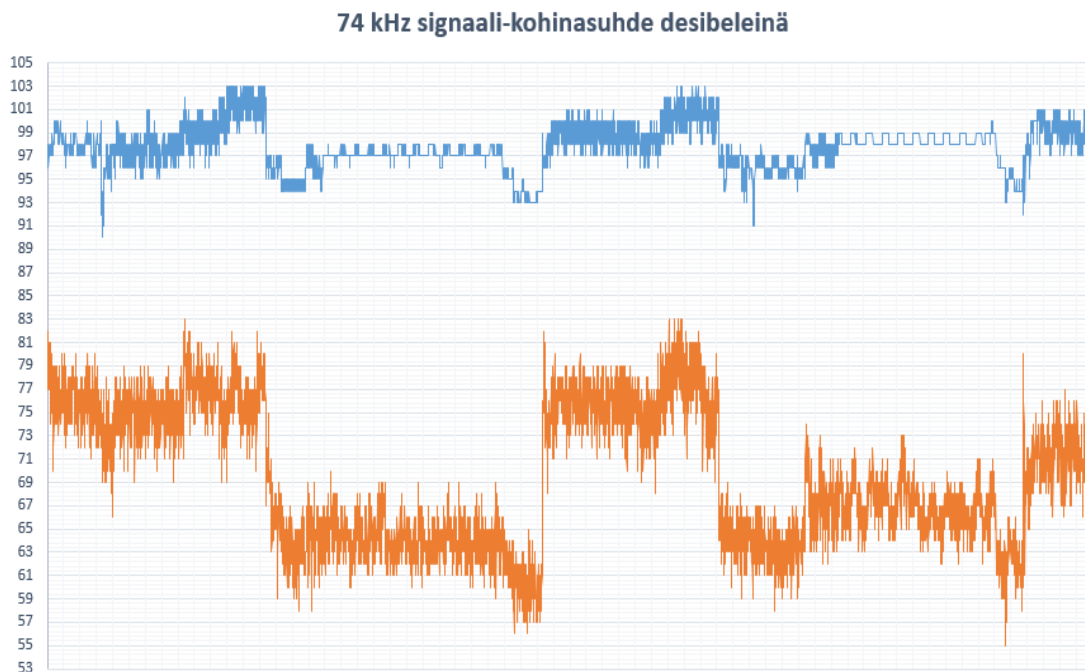


Kuva 43. Välkyntä Pst ja Plt (L1, L2 ja L3)

7.1.3 Signaali-kohinasuhde



Kuva 44. PLAN-analysointorilla mitattu taajuuden 63,3 kHz PLC-signaalin ja kohinan voimakkuus desibeleinä mittausjakson funktiona



Kuva 45. PLAN-analysoijalla mitattu taajuuden 74 kHz PLC-signaalin ja kohinan voimakkuus desibeleinä mittausjakson funktiona

7.2 Mittaus 2 (omakotitalo)

Omakotitalo sijaitsee haja-asutusalueella ja sen sähkön laadun kanssa on ollut ongelmia ja tämän takia muuntopiirin alueelle on suunniteltukin jakorajojen muutoksia sähkön laadun parantamiseksi. Tässä kohteessa oli tarkoitus selvittää, vaikuttaako sähkön huono laatu energiamittareiden etäluentaan eli PLC-tiedonsiirtoon. Mittauksiin käytettiin eQL Laatuvahti2 -mittaria sähkön laadun mittaamiseen (kuvat 46-51) sekä PLAN-analysoijaa signaali-kohinasuhteen ja PLAN-signaalin voimakkuuden mittaamiseen (kuvat 52 ja 53).

Mittaustuloksista selvisi, että kohteessa on sallittujen raja-arvojen ylittävää välkyntää L2-vaiheella (kuva 51) huomattavasti enemmän kuin standardien raja-arvo 1 sallisi. Tässä tapauksessa välkyntän arvo oli tiettyinä aikoina yli 2. Lisäksi kohteessa havaittiin olevan myös jännitekuoppia L2-vaiheella (kuva 47) eli jännite laskee alle standardin vaatiman raja-arvon 207 V. Nämä eivät kuitenkaan vaikuttaneet PLC-tiedonsiirtoon, sillä PLAN-signaalin voimakkuus vaihteli välillä ”good” (81 dBuV – 100 dBuV) ja ”perfect” (101 dBuV – 118 dBuV) eikä signaali katkennut missään kohtaa eli verkon kohina oli pienempää kuin signaalin voimakkuus.

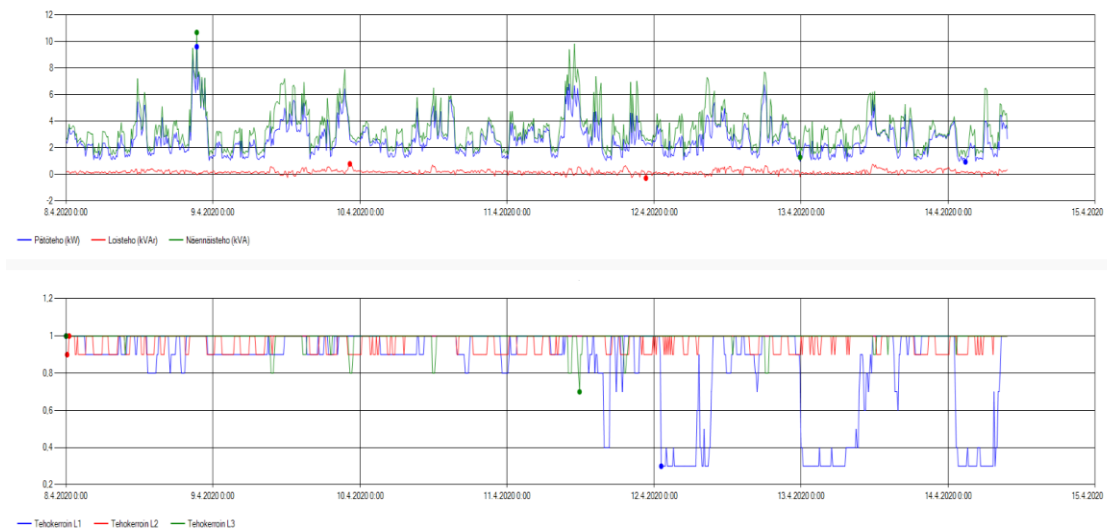
7.2.1 EQL Laatuvahti2 -mittaukset



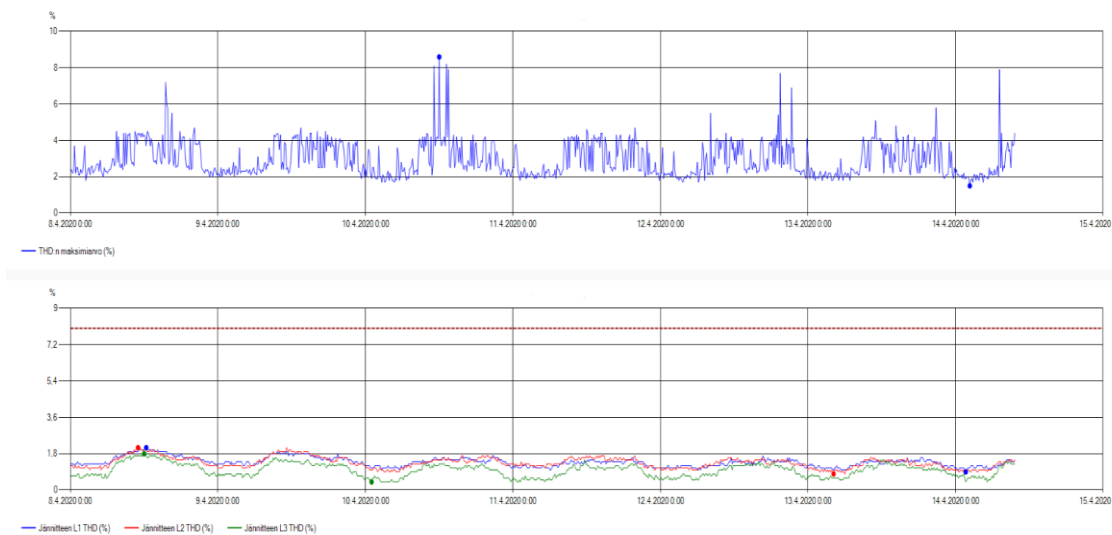
Kuva 46. Jännite (L1, L2 ja L3)



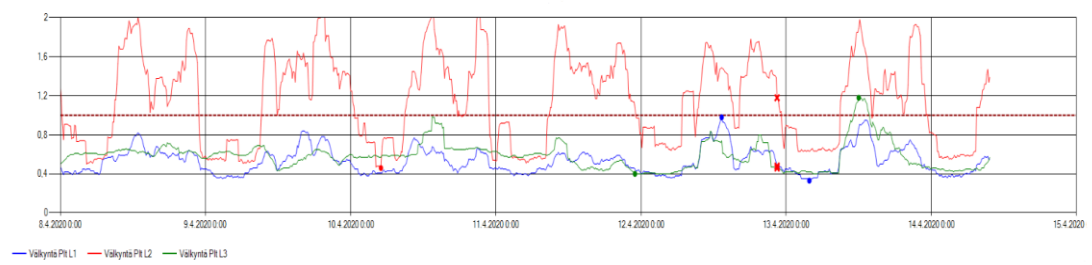
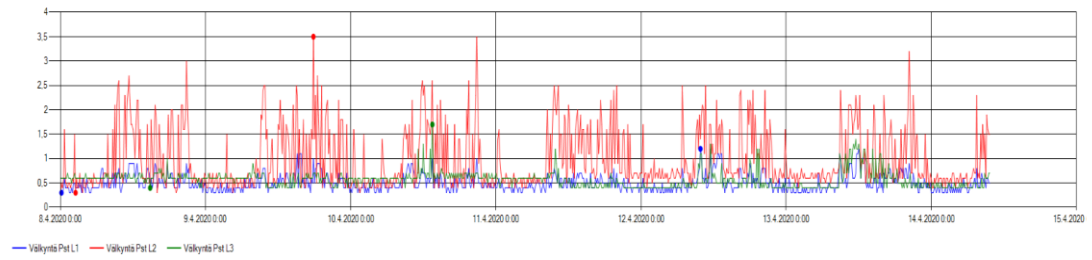
Kuva 47. Virta (L1, L2 ja L3)



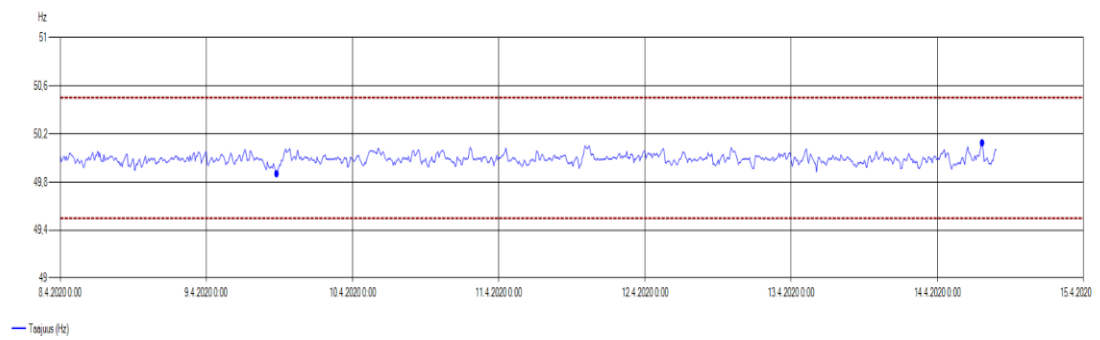
Kuva 48. Pätö-, lois ja näennäisteho sekä tehokerroin (L1, L2 ja L3)



Kuva 49. Jännitteen THD-arvot (THD max sekä THD L1, THD L2 ja THD L3)



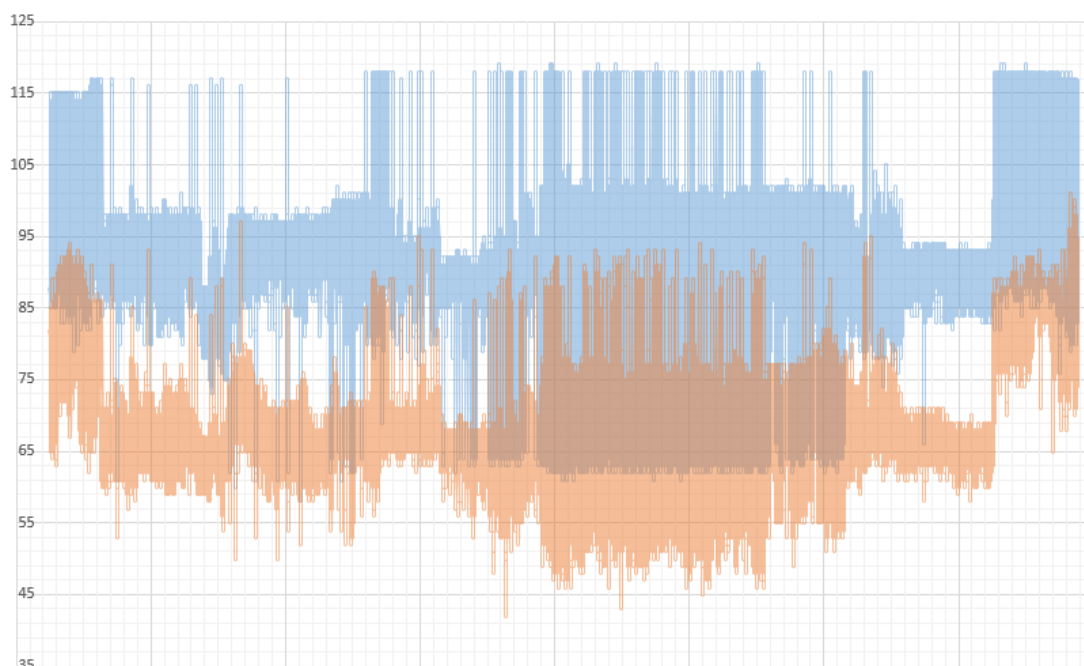
Kuva 50. Välyntä Pst (L1, L2 ja L3) sekä Plt (L1, L2 ja L3)



Kuva 51. Taajuus

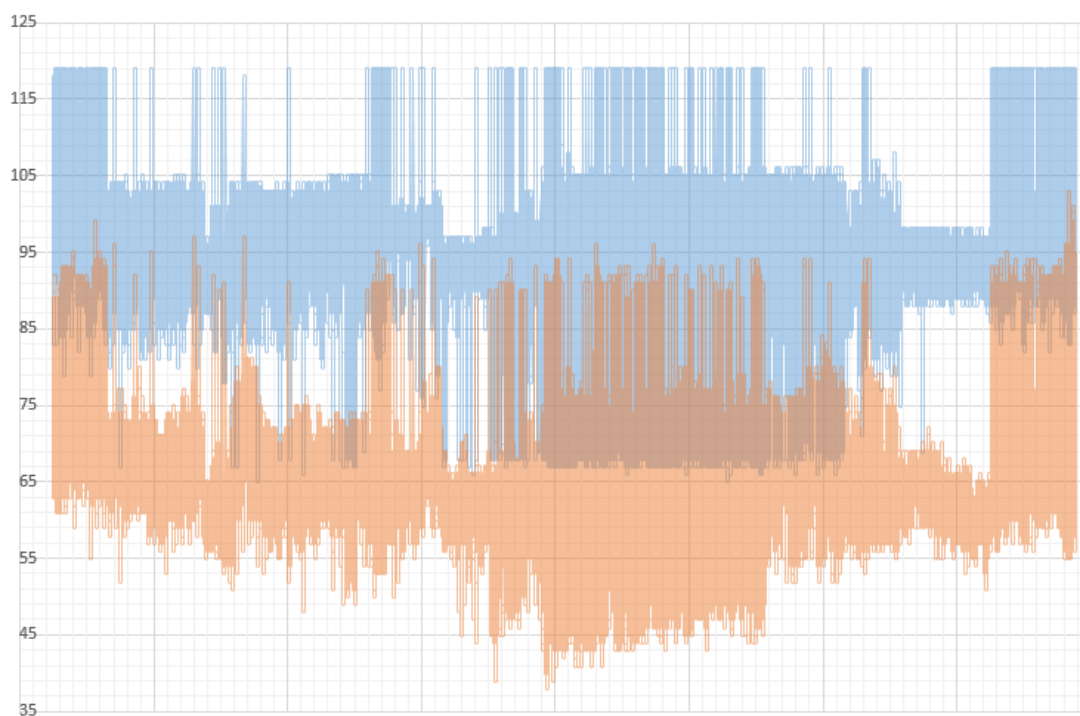
7.2.2 Signaali-kohinasuhde

63,3 kHz signaali-kohinasuhde desibeleinä



Kuva 52. PLAN-analysointilaiteilla mitattu taajuuden 63,3 kHz PLC-signaalin ja kohinan voimakkuus desibeleinä mittausjakson funktiona

74 kHz signaali-kohinasuhde desibeleinä



Kuva 53. PLAN-analysointilaiteilla mitattu taajuuden 74 kHz PLC-signaalin ja kohinan voimakkuus desibeleinä mittausjakson funktiona

7.3 Mittaus 3 (sähkölaboratorio)

Tämä mittaus suoritettiin Turku Energia Sähköverkot Oy:n sähkölaboratoriossa. Apuna käytettiin vanhaa digiboksia, joka tuottaa valtavat EMC-häiriöt sähköverkkoon päin. Digiboksin aiheuttamat häiriöt pystyvät lamaannuttamaan koko kerrostalon tai omakotitaloalueen PLC-tiedonsiirron täysin. Tämän lyhyen mittauksen avulla pyrittiin selvittämään, vaikuttavatko EMC-häiriöt sähkönlaatuun. Digiboksin mittausjärjestelyt näkyvät kuvassa 54.

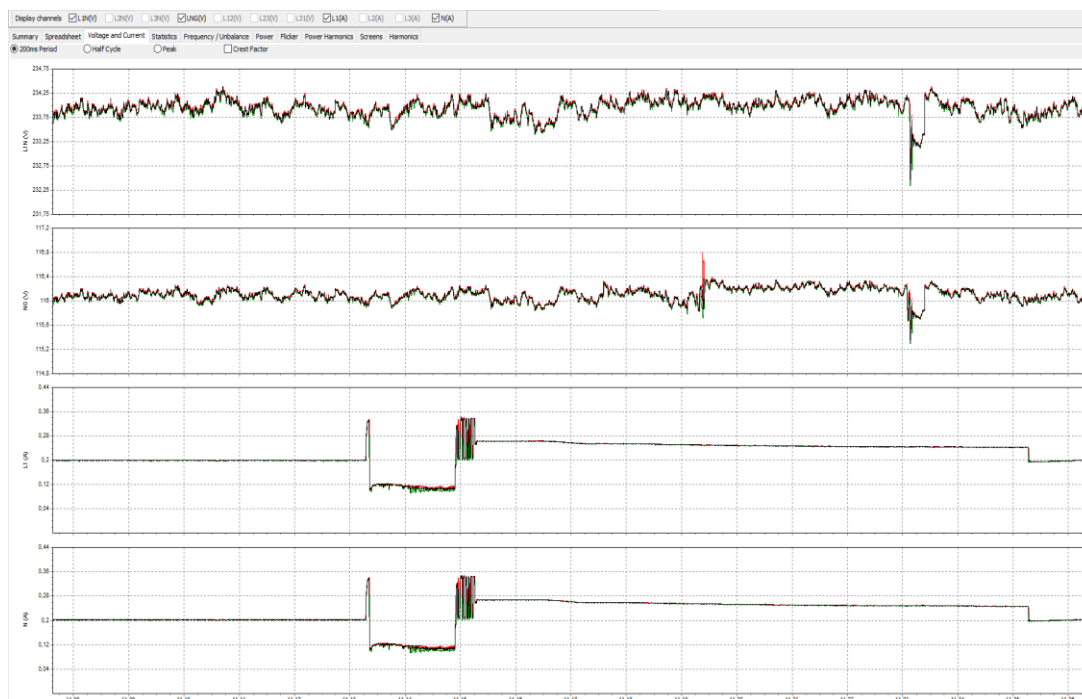
Mittauksista selvisi, että EMC-häiriöt eivät vaikuta sähkön laatuun, koska sähkön laatu mitataan 50 Hz taajuudella ja EMC-häiriöt näkyvät vasta paljon korkeammalla, kilohertsien taajuuksilla. Sähkön laadun mittaustulokset löytyvät kuvista 55-57 ja MFA Viewer -ohjelmalla mitattu verkon signaali-kohina taajuuksialueelta 3-150 kHz kuvasta 58.

Kuvassa 55 näkyvä virran heilahdus johtuu siitä, kun testimielessä sammutin digiboksin ja hetken päästä taas käynnistin sen.

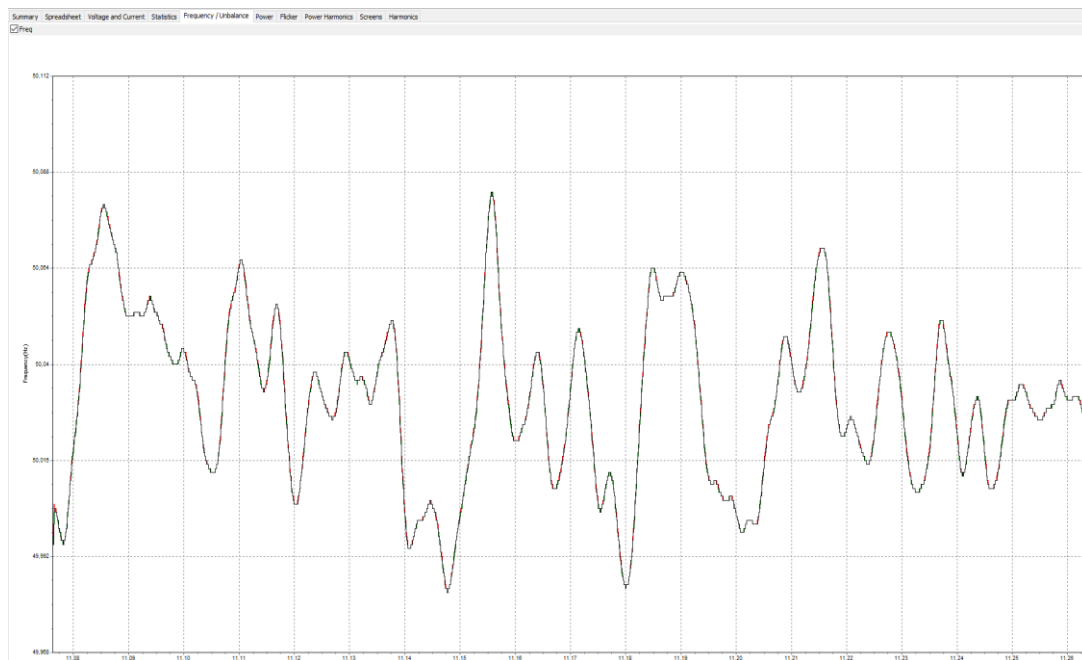


Kuva 54. Digiboksin mittausjärjestelyt

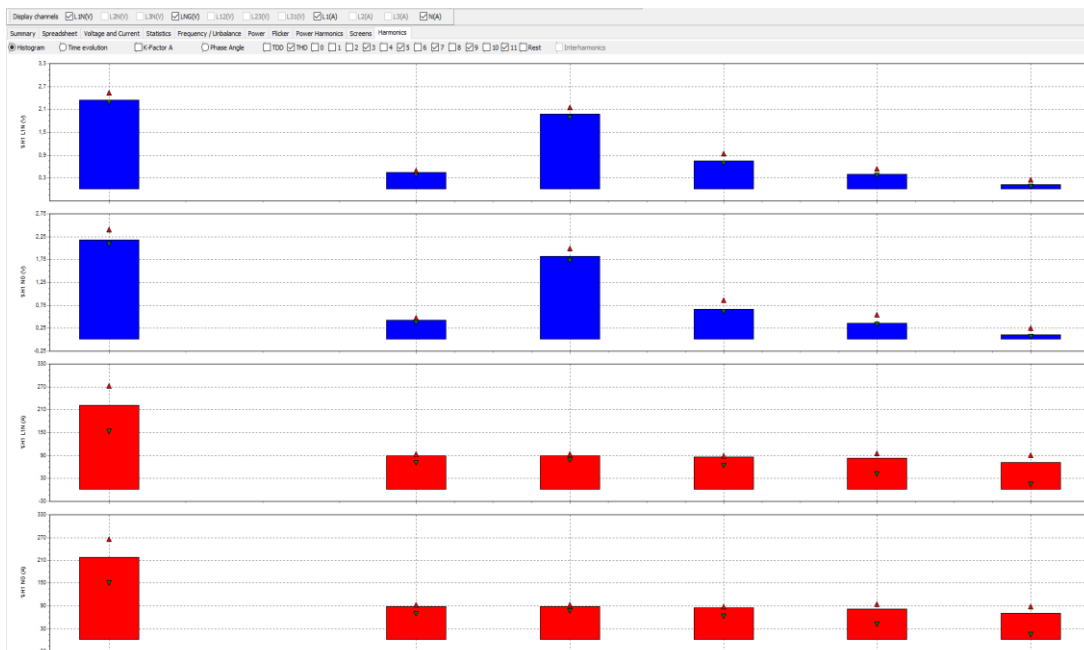
7.3.1 Fluke 435 –sähkönlaatuanalysoijan mittaukset



Kuva 55. Jännite ja virta (L1 ja N)

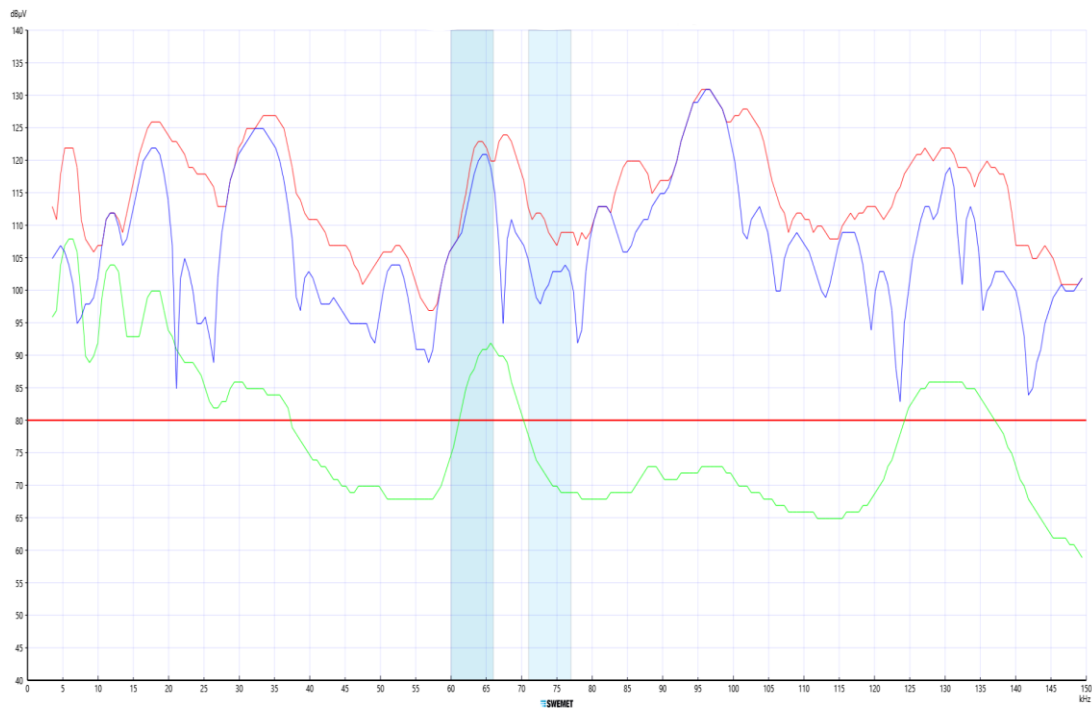


Kuva 56. Taajuus



Kuva 57. Jännitteen ja virran yliaallot (THD, 3., 5., 7., 9. ja 11.)

7.3.2 MFA 400 –monitaajuusanalysointin mittaus



Kuva 58. Digiboksin aiheuttamat häiriöt tietokoneen MFA Viewer –ohjelmalla

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää sähkön laadun vaikutusta PLC-tiedonsiirtoon ja vertailla mittausten avulla tuloksia keskenään. Tulosten avulla selviää, että näillä asioilla ei ole vaikutusta toisiinsa, koska sähkön laatua mitataan 50 Hz taajuudella ja PLC-tiedonsiirto tapahtuu huomattavasti korkeammilla taajuuksilla 3 – 148,5 kHz. Myöskään PLC-tiedonsiirtoa lamaannuttavilla saman taajuusalueen EMC-häiriöillä ei ole vaikutusta sähkön laatuun.

PLC-tiedonsiirron ongelmana on häiriöpäästöjen raja-arvojen puuttuminen standardeista alle 150 kHz taajuudella. Hyvänä puolena tekniikassa on, että signaalin siirtämiseen ei vaadita uusien kaapelireittien rakentamista, vaan jo olemassa olevat sähkönsiirtoverkot käyvät tähän ja on siten kustannustehokas ratkaisu.

Sähkön laatuun vaikuttavien laitteiden jatkuva lisääntyminen ja verkon kuormittaminen tulevat tulevaisuudessa asettamaan yhä enemmän haasteita sähkön hyvän ja tasaisen laadun ylläpitämiseksi.

Työssä sai käyttää monenlaisia sähkön laadun mittaamiseen tarkoitettuja mittalaitteita ja sovellutuksia, joiden avulla mittaustuloksista saa tutkittua laadun kannalta oleellisia asioita. Mittalaitteiden ja sovellusten opettelu oli mielenkiintoista ja työn aikana myös teoriapohja työn aiheista kehittyi jatkuvasti. Työ siis opetti minulle tutkituista aiheista paljon.

Opinnäytetyö onnistui omasta mielestäni hyvin, koska sain tehtyä työssä vaadittavat mittaukset eri ympäristöissä ja todellisissa tilanteissa, pois lukien viimeinen laboratoriomittaus. Kaikki mittaukset myös osoittivat teoriaa apuna käyttäen samaa tulosta eli mittaustulokset tukivat toisiaan ja se vahvisti päätelmää, että sähkön laadulla ei ole vaikutusta PLC-tiedonsiirtoon.

LÄHTEET

ABB:n Tekninen opas nro 6. Vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas. Viitattu 20.4.2020.
https://library.e.abb.com/public/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/Tekninen_opas_nro_6.pdf

ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: Sähkön laatu. Viitattu 3.4.2020.
http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/04_0_S%84hk%94n%20laatu.pdf

Ahola, J. 2003. Applicability of power-line communications to data transfer of on-line condition monitoring of electrical drives. Thesis for the degree of Doctor of Science. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 13.1.2020.
<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/31175/TMP.objres.311.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

EETimes www-sivut. 2011. What is Power Line Communication. Viitattu 13.1.2020.
<https://www.eetimes.com>

Energiateollisuus. 2014. Sähkötöimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovel-lusohje. Viitattu 3.4.2020.
https://energia.fi/files/881/Sahkontoimituksen_laatu_ja_toimitustapavirheen_sovel-lusohje_2014.pdf

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot 1. Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta. Helsinki: Otatieto.

Elprocus www-sivut. Know about FSK modulation and demodulation with circuit di-agram. Viitattu 2.2.2020.
<https://www.elprocus.com>

Electrix www-sivut. EQL Laatuvahti2 –mittari. Viitattu 19.5.2020.
<https://www.electrix.fi>

Fluke 434/345 kolmivaiheinen sähkönlaatuanalysointilaite. Käyttöohje.

Jääskeläinen, T. 2018. AMR-mittarilta saatavan mittaustiedon hyödyntäminen. Dip-lomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 13.1.2020.
https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158525/diplomityo_jaaskelainen_tuo-mas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Landis+Gyr. 2013. Koulutusmateriaali.

Sesko www-sivut. Sähkömagneettinen yhteensopivuus – EMC. Viitattu 18.1.2020.
<https://www.sesko.fi>

Sähköala.fi www-sivut. 2008. Rakennusten sähköasennusten EMC-vaatimukset. Vii-tattu 3.4.2020.
<http://www.sahkoala.fi>

Tholen, E. 2012. Swemet's MFA 400 – the solution for PLC network troubleshooting. Viitattu 20.4.2020.

<https://www.smart-energy.com/wp-content/uploads/i/Swemet.pdf>

Tukes www-sivut. Sähkömagneettinen yhteensopivuus – EMC. Viitattu 8.12.2019.

<https://tukes.fi>

Turku Energia www-sivut. 2020. Viitattu 23.4.2020.

<https://www.turkuenergia.fi>

Tutorialspoint www-sivut. Amplitude Shift Keying. Viitattu 2.2.2020.

<https://www.tutorialspoint.com>

Pakonen, P., Pikkarainen, M., Bashir S. & Verho, P. 2013. Energiensäästölamppujen verkostovaikutukset ja elektronisten kuormien ja mittariluentajärjestelmien välinen yhteensopivuus – Vaihe 2. Loppuraportti. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 20.11.2019.

https://energia.fi/files/1013/Energiansaastolamppujen_verkostovaikutukset_Loppuraportti_2013-05-22.pdf