



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SÄHKÖNLAADUN SELVITYS PONSSE OYJ:N VIEREMÄN TEHTAASSA

TEKIJÄ: Pasi Huttunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Pasi Huttunen			
Työn nimi Sähkönlaadun selvitys Ponsse Oyj:n Vieremän tehtaassa			
Päiväys	26.5.2017	Sivumäärä/Liitteet	43/42
Ohjaaja(t) lehtori Jari Ijäs ja lehtori Timo Savallampi			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Ponsse Oyj			
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Ponsse Oyj Vieremän tuotantotehtaan sähkönlaadua. Edellinen sähkönlaatumittaus oli suoritettu vuonna 2000 ja sen jälkeen tehdas on laajentunut useita kertoja, joten verkon nykytilanne oli syytä selvittää. Osa laitetuimittajista oli halukkaita tietämään tehtaan sähkönlaadun, jotta tiedävät minkälaisessa sähköverkossa toimitettavat laitteet tulevat toimimaan.</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin aluksi sähkönlaatuun ja siihen vaikuttaviin tekijöihin ja siihen, kuinka kompensointi vaikuttaa verkkoon ja minkälaisia kompensointivaihtoehtoja on olemassa. Käytännön osuudessa perehdyttiin sähkönlaatumittarin toimintaan ja sen liittämiseen mitattavaan kohteeseen. Sähkönlaadunmittauksia tehtaassa suoritettiin useisiin eri keskuksiin, käyttäen Fluke 435 II -verkkoanalysointia. Mittausjakson pituus oli neljä tuntia ja mittaukset suoritettiin työvuorojen aikana. Tulosten analysointiin käytettiin apuna Fluken PowerLog 5.2 -ohjelmaa. Näillä mittauksilla verkon todellinen tilanne saatiin selvitettyä. Mittausten ohella päivitettiin nousujohtokaaviot. Mittaustulosten perusteella arvioitiin sähkön laatua liittymispisteessä ja siinä esiintyviä ongelmia. Tässä työssä keskityttiin kahteen erilliseen pääkeskuksen mittaukseen ja tulosten analysointiin. Muista keskuksista tehdyt mittaukset tuloksineen koottiin Ponssen omaan käyttöön jatkoa varten. Laajoilla sähkönlaatumittauksilla saatiin selvitettyä tehtaan verkon tilanne ja paikallistettua mahdolliset ongelmat.</p> <p>Työn tilaajan kanssa on tehty salassapitosopimus, jonka takia opinnäytetyössä sähköverkkoa ja sen laitteita on käsitelty rajallisesti.</p>			
Avainsanat sähkönlaatu, kompensointi, yliaalto			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Pasi Huttunen			
Title of Thesis Report of the Quality of Electricity at Ponsse Plc Production Plant in Vieremä			
Date	26 May, 2017	Pages/Appendices	43/42
Supervisor(s) Mr. Jari Ijäs, Lecturer and Mr. Timo Savallampi, Lecturer			
Client Organisation /Partners Ponsse Oyj			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of the thesis was to find out the quality of electricity at Ponsse Plc, a forestry machinery production plant in Vieremä. The previous power quality measurements were carried out in 2000 and since then the plant has been expanded several times so the current state of the network should be investigated. Some of the equipment suppliers were eager to know the power quality of the plant in order to know in what kind of power network the equipment to be supplied will be used.</p> <p>First, the quality of electricity was studied and the factors influencing it, how the compensation affects the network and what kind of compensation options exist. In the practical part, the performance of the electricity meter and its attachment to the target to be measured was familiarized with. The measurements of the quality of electricity at the plant were carried out for a number of different centers using the Fluke 435 II network analyzer. The length of the measurement period was four hours and the measurements were performed during shifts. The Fluke power log 5.2 software was used to analyze the results. With these measurements, the actual situation of the network was clarified. In addition to the measurements, the correctness of the uplink charts was checked and the flaws were corrected. Based on the measurement results, the quality of electricity at the point of entry and the problems encountered there were assessed. This work focused on two separate main centers, their measurement and analysis of the results. The measurements made from the other centers with the results were collected for Ponsse's own use for further use.</p> <p>Because of the confidentiality agreement with the commissioner of the thesis the electricity grid and its equipment were not covered in greater detail.</p>			
Keywords electrical power quality, compensation, harmonics			

SISÄLTÖ

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT	6
YHTEISTYÖKUMPPANIT	6
1 JOHDANTO	7
2 SÄHKÖNLAATU.....	8
2.1 Standardit	8
2.2 Jännite	9
2.3 Taajuus.....	10
2.4 Yliaallot.....	10
2.4.1 Harmoniset yliaallot.....	11
2.4.2 Epäharmoniset yliaallot.....	12
2.4.3 Kolmella jaollinen pariton yliaalto	12
2.4.4 Yliaaltojen aiheuttajat.....	12
2.4.5 Yliaaltojen haitat	13
2.4.6 Yliaaltojen torjunta.....	14
2.5 Resonanssi	15
2.6 Epäsymmetrinen kuormitus	16
3 KOMPENSOINTI	17
3.1 Kompensoinnin tarkoitus	17
3.2 Kompensoinnin toteutustapoja.....	17
3.2.1 Kondensaattoriyksiköt	17
3.2.2 Keskitetty kompensointi.....	17
3.2.3 Ryhmäkohtainen kompensointi.....	18
3.2.4 Laitekohtainen kompensointi.....	19
3.3 Loistehokompensoinnin mitoittaminen.....	20
3.4 Estokelaparisto	21
3.5 Yliaaltosuodatin	22
3.6 Aktiivisuodatin	23
3.7 Kompensoinnin vaikutus verkkoon	23
4 SÄHKÖNLAATUMITTAUKSET	25
4.1 Mittaukset	25
4.2 Mittalaite.....	25

4.2.1	Mittauksen suoritus	26
4.3	Mittauskohde.....	27
4.4	Mittauksen tulokset.....	27
4.4.1	Pääkeskus SKA:n mittaustulokset ja analysointi.....	27
4.4.2	Pääkeskus SKB:n mittaustulokset ja analysointi.....	34
5	YHTEENVETO.....	42
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	43
	LIITE 1: SKA PÄÄKESKUKSEN MITTAUSTULOKSET	44
	LIITE 2: SKB PÄÄKESKUKSEN MITTAUSTULOKSET	65

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

PF	Tehokerroin, jossa mukana harmonisten yliaaltojen vaikutus
DPF	Perusaaltotaajuuden tehokerroin, $\cos\varphi$
W	Pätötehon yksikkö watti
VAr	Loistehon yksikkö vari
VA	Näennäistehon yksikkö
CF	Huippukerroin (Crest Factor)
Vn	Jännite-epäsymmetria
An	Virran epäsymmetria
φ	Vaihe-erokulma: perustaajuisen jännitteen/perustaajuisen virran vaihe-erokulma
THD	Harmoninen kokonaissärö
THD V	Jännitteen kokonaissärö
THD A	Virran kokonaissärö
I_L	Kuormitusvirta
I_{sc}	Oikosulkusuhde

YHTEISTYÖKUMPPANIT

Murtola, Mikko. Automaatioteknologia DI. Iisalmen Sähkö- ja automaatio suunnittelu Oy. Iisalmi Ponsse Oyj. Vieremä

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää Vieremällä sijaitsevan Ponsse Oyj tuotantotehtaan sähkönlaatua. Ponsse Oyj on perustettu vuonna 1970 aluksi metsäkoneyrittäjä Einari Vidgrenin omaan tarpeeseen. Tällä hetkellä Ponsse valmistaa metsäkoneita puunkorjuuseen eri puolille maailmaa, sekä on erikoistunut tuotannon lisäksi myyntiin, huoltoon ja tietojärjestelmiin. (Ponsse, ei pvm)

Sähkönlaatumittauksella on tarkoitus selvittää tehtaan nykyinen sähkönlaatu. Edellinen mittaus tehtaalla on suoritettu vuonna 2000 ja sen jälkeen tehdasta on laajennettu useita kertoja, samalla konekanta on moninkertaistunut vuosien aikana. Tehdastilat laajenevat edelleen, kun uusi laajennus valmistuu syyskuu 2017. Tehtaan sähkönsyöttö on hoidettu kolmen muuntajan kautta ja laajennuksen jälkeen mukaan tulee neljäs muuntaja. Kaikki käytössä olevat muuntajat ovat kooltaan 1000 kVA ja ne sijaitsevat eri puolilla tehdasaluetta.

Mittauksissa on käytössä Fluken energia- ja verkkoanalysointilaite 435 II-Series, mittalaite ja mittaus tulokset analysoidaan Fluken PowerLog 5.2 -ohjelmalla. Haluttuja mittausarvoja ovat jännite, virta, taajuus, yliaallot, epäsymmetria ja kuormitus. Mittausjakson pituus on neljä tuntia ja mittaus suoritetaan työvuoron aikana, jolloin tuotanto tehtaassa on mahdollisimman normaali.

Opinnäytetyössä käsitellään aluksi sähkönlaatua, mittaustuloksia ja niiden tulkintaa. Käytännön osuuteen kuuluvat mittaustapahtumat sekä niistä saatujen tulosten analysointi. Mittaustulosten analysoinnissa on mukana kaksi toisistaan poikkeavaa kohdetta vertailun helpottamiseksi. Loput mittaustulokset kirjataan mittauspöytäkirjaan ja luovutetaan työn tilaajalle. Työn tavoitteena on saada Ponssele raportti tuotantotehtaan nykyisestä sähkönlaadusta.

2 SÄHKÖNLAATU

Rakennusten sähköverkkojen huono sähkönlaatu aiheuttaa yhä useammin sekä yksittäisille sähkö- ja elektroniikkalaitteille, että kokonaisille järjestelmille laiterikkoja, toimintahäiriöitä, tuotantokatkoksia ja muita ongelmia. Sähkön laatu voi heikentyä useasta syystä ja vaikutukset ovat moninaiset. Rakennuksen sähkönlaatuun vaikuttavat toisaalta liittymiskohdan jännitteen ominaisuudet ja toisaalta rakennuksen sisäverkko ja siihen liitetyt laitteet. (Viitala, J, 2006a.)

2.1 Standardit

Sähkön laatustandardeja on useita ja ne käsittelevät sähkönlaatua ja sen mittaamista. Eri Standardit näkyvät alla olevasta taulukosta (1). Sähkönlaatua koskeissa standardeissa IEC (1000-2-2/4), Cenelec (EN50160) ja SFS-EN 50160 määrittellään jännitteen pääominaisuudet sähkökäyttäjän liittymiskohdassa normaaleissa käyttöolosuhteissa. Standardi SFS EN-50160 antaa rajat tai arvot, joiden sisällä sähkökäyttäjä voi olettaa liittymiskohdan jännitteen ominaisuuksien pysyvän. (Viitala, J, 2006a.)

Standardeissa käsitellään pääosin vain jännitteen ominaisuuksia. Jotta laatuhäiriötekijät pystyttäisiin paikallistamaan, on kiinnitettävä huomiota myös virran laatuun. ANSI ja IEEE-standardeissa tämä on otettu huomioon. (ABB TTT-käsikirja, 2000b, s. 7)

Standardin SFS-EN 50160 tarkoitus on määrittellä seuraavien jakelujännitteen ominaisuuksien vaatimukset: taajuus, suuruus, aaltomuoto ja kolmivaiheisen jännitteen symmetrisyys. Näihin ominaisuuksiin vaikuttavat jakelujärjestelmän normaalissa käytössä kuormitusmuutokset, eräiden laitteiden aiheuttamat häiriöt sekä pääasiassa ulkopuolisten tapahtumien aiheuttamat viat. (SFS-EN 50160, 2010)

Standardien lisäksi Suomessa on käytössä Sähköenergialiiton (Sener) jakeluverkon sähkön laadun arviointi-suositus. Sähköenergialiiton jakeluverkon suosituksessa annetaan jakeluverkkoyhtiölle vapaaehtoiset Suomen oloihin sopivat sähkön laatuluokat: hyvä laatu, normaali laatu sekä standardin SFS-EN 50160 mukainen laatu. (Pikkarainen, 2010., s. 11)

TAULUKKO 1. Sähkön laatu ja sen mittaamisen standardeja (ABB TTT-käsikirja, 2000b)

IEC	CENELEC	SFS	Standardin sisältö
IEC 60050(301)			Sähkön mittaukseen liittyviä yleisiä käsitteitä
	EN 50160	SFS-EN 50160	Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet
IEC 60060	EN 60060	SFS-EN 60060	Suurjännitetestaustekniikat
IEC 60068	EN 60068	SFS-EN 60068	Ympäristöttestaus
IEC 60085			Sähköisen eristeen terminen arviointi ja luokittelu
IEC 60186 ja IEC 60186A			Jännitemuuntajat
IEC 60255	EN 60255	SFS-EN 60255	Apureleet
IEC 60529	EN 60529	SFS-EN 60529	Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP-koodi)
IEC 60695	EN 60695	SFS-EN 60695	Palavuustestaus
IEC 60868	EN 60868	SFS-EN 60868	Välkyntämittaus
Amendment 1			
IEC 60801-2	EN 60801-2	SFS-EN 60801-2	Sähköstaattisiin purkauksiin liittyvät vaatimukset
IEC 61000			Sähkömagneettinen yhteensopivuus
IEC 61000-1			Yleistä sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta
IEC 61000-1-1			Peruskäsitteiden soveltaminen ja tulkinta
IEC 61000-2			Sähkömagneettinen ympäristö
IEC 61000-2-1			Sähkömagneettinen ympäristö sähkönjakelujärjestelmässä, erilaiset häiriötyypit
IEC 61000-3			Häiriöiden päästörajat
IEC 61000-4			Häiriönsietotestaus ja häiriöiden mittaus
IEC 61000-4-7	EN 61000-4-7	SFS- EN 61000-4-7	Yleisiä ohjeita harmonisten ja epäharmonisten yliaaltojen mittaamiseen sekä sähkönjakelujärjestelmien ja niihin liittyvien laitteiden instrumentointiin
IEC 61036	EN 61036	SFS-EN 61036	Staattiset pätöenergiamittarit (luokat 1 ja 2)
CISPR 22	EN 55022	SFS-EN 55022	Tietotekniikan laitteiden radiohäiriöiden raja-arvot ja mittaamenetelmät

2.2 Jännite

Standardin SFS-EN 50160 mukainen nimellisjännite U_n on yleisessä pienjänniteverkossa $U_n = 230$ V, vaiheen ja nollan välillä. Standardi määrittelee pienjännitteeksi PJ-jännitteen, jonka pääjännitteen nimellinen tehollisarvo on $U_n \leq 1$ kV. Keskeytysjaksoja lukuun ottamatta normaaleissa käyttöolosuhteissa jännitetaso vaihtelee eivät saisi ylittää ± 10 %:a nimellisjännitteestä U_n . Jännitteenmittaukset normaaleissa olosuhteissa suoritetaan viikon pituisena mittausjaksona, jolloin jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin jaksoilta mitatuista keskiarvoista 95 % tulee olla välillä $U_n \pm 10$ % sekä kaikkien jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvojen tulee olla välillä $U_n +10$ % / - 15 %.

(SFS-EN 50160, 2010, s. 20)

TAULUKKO 2. Jännitteen laatukriteerit (ABB TTT-käsikirja, 2000b)

Hyvä laatu:	$U_n \pm 4 \%$ ja keskiarvo $U_n \pm 2,5 \%$.
Normaalilaatu:	$U_n \pm 10 \%$
Standardilaatu:	95 % välillä $U_n \pm 10 \%$
Mittaus:	10 min jaksoina viikon ajan

2.3 Taajuus

Standardi SFS-EN 50160 mukaan verkkotaajuuden nimellistaajuus tulee olla 50 Hz. Normaleissa käyttöolosuhteissa perustaajuuden keskiarvon 10 s aikavälillä mitattuna tulee olla yhteiskäyttöverkoissa välillä:

50 Hz \pm 1 %	(eli 49,5 Hz ... 50,5 Hz)	99,5 % vuodesta.
50 Hz + 4 % / -6 %	(eli 47 Hz ... 52 Hz)	100% ajasta.

Erillisverkoissa sallitaan suurempi taajuuspoikkeama:

50 Hz \pm 2 %	(eli 49 Hz ... 51 Hz)	95 % viikosta.
50 Hz \pm 15 %	(eli 42,5 Hz ... 57,5 Hz)	100 % ajasta.

(SFS-EN 50160, 2010)

TAULUKKO 3. Taajuuden laatukriteerit (ABB TTT-käsikirja, 2000b)

Hyvä laatu:	50 Hz \pm 1%
Normaalilaatu:	50 Hz \pm 1%
Standardilaatu:	95 % mittauksista välillä 50 Hz \pm 1% ja kaikki 50 Hz + 4% / -6 %. Saareke- tai varavoimakäytössä 95 % välillä 50 Hz \pm 2 % ja kaikki 50 Hz \pm 15 %.
Mittaus:	10 s jaksoina viikon ajan. Mittausjaksoille lasketaan keskiarvo.

2.4 Yliaallot

Yliaaltoja synnyttävät sähköjakeluverkkoon virran tai jännitteen suhteen epälineaariset virtapiirin osat. Niiden verkosta ottama virta on epäsinimuotoista. Epälineaaristen kuormien aiheuttamat virran yliaallot eivät ole ongelma vain niiden aiheuttajille, sillä ne leviävät verkossa myös muille käyttäjille aiheuttaen ongelmia, joihin ei ole osattu varautua. (Korpinen;Mikkola;Keikko;& Flack, ei pvm, s. 3)

Yksinkertaistettu ajattelu yliaalloille voidaan perustaa ns. virtalähdeajatteluun. Yliaaltolähde voidaan ajatella toimivan ideaalisena yliaaltovirtoja vaihtoverkkoon syöttävänä lähteenä, esim. suuntaajat ovat tällaisia lähteitä. Kun yliaaltovirtalähde syöttää verkkoon virtayliaaltoja, jotka sitten kohtaavat taajuuksien perusteella määräytyvät yliaaltoimpedanssit, syntyy jännitehäviöitä. Näin syntyvät jännitteen yliaallot, jotka jännitteen perusaaltoon summautuessaan aiheuttavat jännitekäyrän vääristy-

misen eli säröytymisen. Virran särö taas on yleensä jännitteen säröä suurempi johtuen verkon impedanssin pienuudesta. (Korpinen;Mikkola;Keikko;& Flack, ei pvm, s. 5)

2.4.1 Harmoniset yliaallot

Harmoniset yliaallot ovat perustaajuuden kerrannaisia. Ne summautuvat verkkotaajuuden päälle ja aiheuttavat ylimääräisiä häviöitä laitteissa. Harmoniset yliaallot muodostuvat epälinearisista kuormista, joiden ottama virta ei ole sinimuotoista. Tällöin säröytynyt virta aiheuttaa verkon yliaaltoimpedanssissa myös jännitteen säröytymisen. (Alanen & Hätönen, 2006.)



KUVA 1. Jännite joka on säröytynyt harmonisen yliaallon vuoksi (ABB TTT-käsikirja, 2000b)

Harmonisille yliaaltojännitteille standardin EN50160 mukaan normaaleissa käyttöolosuhteissa viikon pituisen mittausjakson aikana, 95 % jakelujännitteen kunkin yksittäisen harmonisen yliaaltojännitteen 10 minuutin keskimääräisistä tehollisarvoista tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin taulukossa 4 annettu arvo. Resonanssit taas voivat aiheuttaa suurempia jännitteitä yksittäisille harmonisille. Lisäksi jakelujännitteen kokonaissärökertoimen, THD tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin 8 %. (SFS-EN 50160, 2010)

TAULUKKO 4. Harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot liittymiskohdassa järjestyslukuun 25 saakka (SFS-EN 50160, 2010, s. 22)

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset			
Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

HUOM. Järjestysluvultaan yli 25 harmonisille ei anneta arvoja, koska ne ovat tavallisesti pieniä ja hyvin arvaamattomia resonanssitilanteiden vuoksi.

Standardi IEEE 519 määrittelee yleisten 120 V... 69 kV jakelujärjestelmien virtasäröille taulukon 5 mukaiset rajat. Standardin periaatteena on, että loppuasiakas vastaa virran harmonisia tuottavista teholaitteista ja sähköjakelija taas vastaa jännitteen laadusta. (ABB TTT-käsikirja, 2000b)

TAULUKKO 5. Standardin IEEE 519 mukaiset virtasärön rajat 120 V... 69 kV jakelujärjestelmille (Association, 2014)

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{SC}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 ^c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

2.4.2 Epäharmoniset yliaallot

Epäharmoniset yliaallot eivät ole perustaajuuden kerrannaisia niin kuin harmoniset yliaallot. Summautessaan verkkotaajuuden päälle ne aiheuttavat verkkotaajuuden sinimuotoon joko alle tai yli 50 Hz:n jaksollista vaihtelua. Epäharmoniset yliaallot ovat kuitenkin hyvin harvinaisia eivätkä aiheuta mainittavaa ongelmaa nykypäivän verkossa. (Alanen & Hätönen, 2006.)



KUVA 2. Jännite, joka on säröytynyt epäharmonisen yliaallon vuoksi (ABB TTT-käsikirja, 2000b)

2.4.3 Kolmella jaollinen pariton yliaalto

Kun puhutaan kolmannesta yliaallosta, tarkoitetaan sillä kolmella jaollisia parittomia yliaaltoja. 150 Hz kolmas yliaalto lukeutuu harmonisiin yliaaltoihin ja yleisesti voidaan sanoa, että 1-vaiheiset kuormitukset tuottavat juurikin kolmannen yliaallon. Tällaisia laitteita ovat mm. purkauslamput, tietokoneet ja muut elektroniset laitteet. Näiden epälineaaristen laitteiden käyttö lisääntyy koko ajan ja näin ollen myös ongelmat sähköverkoissa kasvavat sen mukana.

Kolmas yliaalto aiheuttaa suuren nollavirran nollajohtimeen, sillä kolmas yliaalto on kolmivaihejärjestelmän kaikissa vaiheissa saman vaiheisena ja näin ollen niiden aiheuttama virta summautuu nollajohtimeen. Sellaisissa asennuksissa joissa nollajohtimen poikkipinta-ala on puolet vaihejohtimen poikkipinta-alasta, on selvää, että nollajohdin ylikuormittuu. Tällaisissa tapauksissa on suuri tulipalon vaara, koska nollajohdinta ei ole suojattu sulakkeilla. (ABB control Oy, ei pvm)

2.4.4 Yliaaltojen aiheuttajat

Yliaaltojen aiheuttajia ovat muun muassa tasa- ja vaihtosuuntaajakäytöt, hakkuriteholähteet, energiasäästölamput, puolijohdekytkimet, tyristorisäätimet, kodin ja toimistotilojen elektroniikka,

purkauslamput, hitsauslaitteet, valokaariuunit sekä vikaantuneiden muuntajien ja moottorien magneettipiirit. Pääsääntöisesti yliaaltojen aiheuttaja on tehoelektroniikka. Myös osa UPS-laitteistoista aiheuttaa paljon yliaaltoja, vaikka näitä käytetään parantamaan sähkön laatua. Varsinkin huoltamattomat UPS-laitteet kuivahtaneine akkuineen ovat monesti merkittäviä häiriön aiheuttajia. Myös suuri-tehoiset akkulaturit tai muut tasasuuntaajat ollessaan välillä melkein tyhjäkäynnillä ja hetken kuluttua täydellä teholla ovat ongelmallisia sähkön laadun kannalta. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006.)

2.4.5 Yliaaltojen haitat

Yliaaltojen aiheuttamia haittoja ovat häviöiden kasvu sähköverkossa ja sähkönkäyttäjien laitteissa. Häviöiden kasvun seurauksena laitteiden kuormitettavuus pienenee. Yliaallot aiheuttavat myös mitareiden virhenäyttämiä sekä automaatiolaitteiden ja suoja-areiden virhetoimintoja. Laitteiden toiminnan häiriöiden takana ovat yleensä käyttäjien omien laitteiden synnyttämät yliaaltovirrat ja muut häiriöt. Edellä mainitut tilanteet korostuvat etenkin resonanssitilanteissa, joissa jännite säröytyy huomattavasti. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006., s. 30)

Pienitaajuiset yliaallot ovat merkityksellisiä sähköverkon komponenttien ja sähkölaitteiden lämpenemisen kannalta. Suuremmat yliaaltotaajuudet aiheuttavat etupäässä ääni- ja radiotaajuisia häiriöjännitteitä, jotka leviävät säteilemällä ja ovat hankalasti selvitettävissä (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006., s. 31)

2.4.5.1 Haitat energianmittauksessa

Yliaallot aiheuttavat laskutusmittauksessa pätö-, loisteho- ja energialukemien muutoksia. Muutoksiin vaikuttaa myös yliaaltojen vaihekulma perusaaltoon nähden. Pätöteholla lisäysten ja vähennysten kokonaisvaikutus on kuitenkin hyvin pieni. Induktioimittareihin yliaallot aiheuttavat mekaanista haittaa, kuten värähtelyä. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006., s. 31)

2.4.5.2 Nollajohtimen kuormittuminen

Pienjänniteverkossa nollajohdot mitoitetaan yleensä vaihejohtimien suuruiseksi. Symmetrisessä lineaarisessa kolmivaihekuormituksessa nollajohdossa ei kulje virtaa, sillä vaihevirtojen summa on nolla. Tilanne on täysin toinen, jos kolmivaiheisessa nelijohtoisessa järjestelmässä on kytkettynä suuri määrä yksivaiheista epälineaarista kuormaa. (Korpinen;Mikkola;Keikko;& Flack, ei pvm)

Järjestelmässä, jossa on paljon epälineaarisia kuormia, voi nollajohdossa kulkeva kolmas yliaaltovirta olla jopa 1,7-kertainen vaihevirtaan verrattuna. Tästä aiheutuu ylikuumentumis- ja tulipalovaara, sillä nollajohtimessa ei ole sulakesuojausta. Nollajohdossa kulkeva suuri virta aiheuttaa myös normaalia suuremman jännitehäviön maadoitusnavan ja nollajohdon välille. (Korpinen;Mikkola;Keikko;& Flack, ei pvm, s. 29)

2.4.5.3 Muuntajan ylikuormittuminen

Normaalisti muuntajan kuormitus nimellisarvoilla edellyttää, että jännite ja virta ovat sinimuotoisia. Jännitekäyrän yliaallot suurentavat muuntajan tyhjäkäyntihäviöitä, mutta tämän vaikutus jakeluverkossa on niin pieni, että sitä ei tarvitse ottaa huomioon. Virran yliaallot suurentavat kuormitushäviöitä, joten tämä saattaa jakeluverkossa olla jo niin merkittävä, että yliaallot on syytä huomioida. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006., s. 34)

Suurin vaikutus kuormitusvirran sisältämällä yliaalloilla on muuntajan resistansseissa syntyviin virtalämpöhäviöihin. Niiden kasvu johtuu käämeissä syntyvän virranahdon aiheuttamana resistanssin suurenemisena korkeammilla taajuuksilla. Käytännössä on todettu, että jos järjestelmässä on paljon yliaalloja, niin muuntajan kuormitusta pitäisi vähentää noin 20 - 30 % nimellisestä, ettei muuntaja ylikuumentaisi. (Korpinen;Mikkola;Keikko;& Flack, ei pvm, s. 26)

2.4.5.4 Moottorien ylikuormittuminen

Yliaallot aiheuttavat moottoreissa ylimääräistä lämpenemistä, eri taajuisia momentteja sekä ääni- ja värähtelyilmiöitä. Moottorien ylikuormittumista tapahtuu harmonisten yliaaltojen aiheuttamista magneettikentistä. Harmoniset yliaallot luokitellaan pyörittävän ominaisuuden osalta taulukon 7 mukaisesti. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006., s. 34)

TAULUKKO 6. Harmonisten yliaaltojen luokitusmalli symmetrisellä kolmivaihekuormalla

Yliaalto	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Taajuus Hz	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Suunta	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Positiivinen suunta tarkoittaa, että harmoniset yrittävät pyörittää moottoria nopeammin kuin perustaajuus ja se aiheuttaa lisälämpenemistä. Negatiivinen suunta taas yrittää jarruttaa moottorin pyörimistä ja aiheuttaa lisähäviöitä sekä lämpenemistä. Nolla suunta on ns. tasakenttä, jossa vaihekulma on kaikilla vaiheilla sama, jolloin yliaallot eivät pyöri. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006., s. 35)

2.4.6 Yliaaltojen torjunta

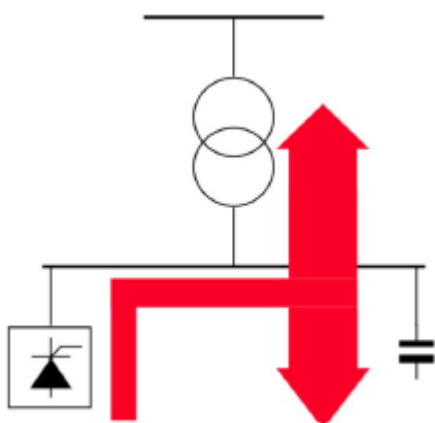
Yliaaltojen torjuntaan käytetään kompensointiparistoja. Niitä on olemassa sekä passiivisia että aktiivisia ja ne kytketään rinnan kuorman kanssa. Paras tulos saadaan aikaan, kun kompensointiparisto viedään mahdollisimman lähelle yliaaltolähdettä, jolloin yliaaltovirrat eivät pääse kulkemaan verkossa pitkiä matkoja. Passiivinen kompensointi koostuu normaalisti säädettävästä kompensointiparistosta, joka viritetään asennettaessa halutulle taajuudelle. Käytännössä se muodostaa verkon impedanssin rinnalle, tietylle taajuudelle hyvin pienen impedanssin, joka poistaa kyseisen taajuuden. Aktiivinen kompensointi taas syöttää verkkoon vastakkaisvaiheisina samoja yliaalloja, joita sillä on. Näin ollen yliaallot kumoutuvat ja summajännitteestä muodostuu perustaajuinen sinifunktio. Aktiivisella kom-

pensoinnilla on hyvänä puolena sen muuntuvuus verkon eri tilanteisiin. Aktiivisella kompensoinnilla on myös mahdollista kompensoida epäharmonisia yliaaltoja toisin kuin passiivisella kompensoinnilla. (Alanen & Hätönen, 2006.)

2.5 Resonanssi

Resonanssi syntyy, kun jonkin yliaallon taajuus on lähellä verkon resonanssitaajuutta. Tällöin yliaaltovirrat tai jännitteet usein moninkertaistuvat normaaliin tilanteeseen verrattuna. Resonanssi syntyy jonkin verkon osan kapasitanssien ja induktanssien välille. Resonanssi voi olla joko sarja- tai rinnakkaisresonanssi. (Korpinen;Mikkola;Keikko;& Flack, ei pvm, s. 22)

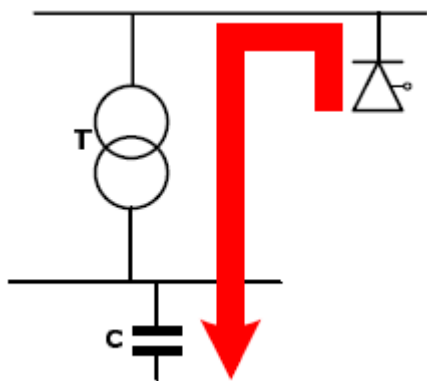
Yleisin resonanssitilanne verkossa on rinnakkaisresonanssi. Rinnakkaisresonanssi tilanteessa kompensoinnin ja muuntajan reaktanssit ovat yhtä suuret, mutta vastakkaisvaiheiset. Tämän seurauksena näiden välillä yliaaltovirta vahvistuu, eli yliaaltolähteen syöttämä virta resonanssitaajuudella on pienempi kuin resonoivien komponenttien välillä kulkeva virta. Isoksi kasvanut resonanssivirta aiheuttaa kondensaattoriparistojen ylikuormittumista. Induktiivinen moottorikuorma muuttaa resonanssitaajuutta ja resistiivinen kuorma puolestaan vaimentaa vahvistusta. (Savonia, 2016., s. 3)



KUVA 3. Virran vahvistuminen rinnakkaisresonanssissa (Savonia, 2016., s. 4)

Sarjaresonanssi syntyy, kun sarjaan kytkettyjen kapasitanssien ja induktanssien reaktanssit ovat yhtä suuria. Tämän seurauksena vastakkaisvaiheiset reaktanssit kumoavat toisensa ja piirin resistanssi on ainut virtaa rajoittava komponentti. Tätä ilmiötä käytetään hyväksi imupiireissä, joilla suodetaan yliaaltoja. Näin saadaan ohjattua yliaaltovirrat pieni-impedanssiselle reitille, jossa syntyvät yliaaltajännitteet ovat hyvin pieniä. (Savonia, 2016.)

Sarjaresonanssin muodostuminen kuormittaa muuntajan alajännitepuolella olevaa kompensointiparistoa, jos yläjännitepuolelle syntyy yliaaltovirta. Sarjaresonanssi aiheuttaa verkossa epämääräisiä sulakepaloja ja ylivirtasuojauksen tai ylikuormituksesta johtuvien yllämpöjen aiheuttamia laitevaurioita. (Savonia, 2016., s. 5)



Kuva 4. Sarjaresonanssin muodostuminen (Savonia, 2016., s. 5)

2.6 Epäsymmetrinen kuormitus

Epäsymmetrinen kuormitus johtuu epätasaisesta kuorman jaosta eri vaiheiden välillä. Epäsymmetrinen kuormitus aiheuttaa jännite-epäsymmetriaa. Tämän ilmiön aiheuttaja voi olla yhden vaiheen palanut sulake verkossa tai kompensointiparistossa. Epäsymmetria suurentaa taas moottorien roottori-häviöitä ja näin ollen pienentää niiden momenttia. Epäsymmetrinen kuormitus aiheuttaa N-johtimeen virran kasvua. (ABB TTT-käsikirja, 2000b, s. 5)

Sähkönlaatua koskevassa standardissa SFS-EN 50160 suurin sallittu vinokuormitus vaiheitten kesken on $\pm 10\%$. Tämä tarkoittaa sitä, että kunkin vaiheen virta saisi poiketa enintään 10% vaihevirtojen keskiarvosta. (Viitala, 2006b., s. 1)

3 KOMPENSOINTI

3.1 Kompensoinnin tarkoitus

Kompensoinnin tärkeimpänä tarkoituksena on poistaa kuluttajan tuottama loisteho. Verkkoyhtiö perii loistehosta loistehomaksua, joka on huomattavan suuri verrattuna muuhun energiamaksuun. Oikein säädettynä kompensointia voidaan hyödyntää suodattamaan elektronisten laitteiden verkolle aiheuttamia yliaaltoja ja niiden häiriövaikutuksia. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006., s. 81)

3.2 Kompensoinnin toteutustapoja

Kompensointia toteutetaan kolmella eri tavalla ja niitä on keskitetty, ryhmä- ja laitekohtainen kompensointi. Näistä suositeltavin tapa on keskitetty ja toteutus voidaan tehdä rinnakkais-, esto-ke-lasuodatinparistoilla tai aktiivisuodattimilla.

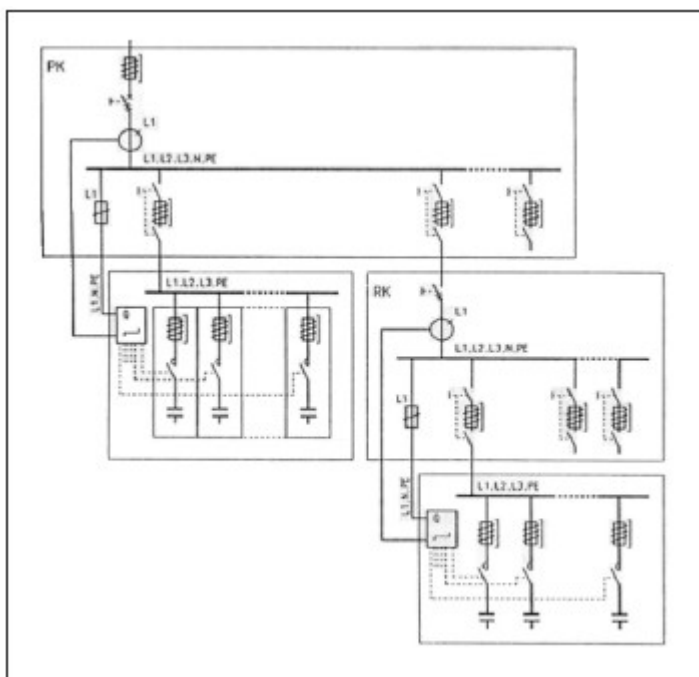
3.2.1 Kondensaattoriyksiköt

Pienjännitekompensointikondensaattorit ($U \leq 1000$ V) valmistetaan pääasiassa itseparantuvasta metalloidusta polypropyleenikalvosta. Elementin rakenteet ovat kuivia eivätkä näin sisällä mitään kyllästynestettä. Jokaisessa yksittäisessä elementissä on sisäinen suoja ylivirtaa, yllämpöä ja ylipainetta vastaan. Pienjänniteyksikkö koostuu useasta rinnankytketystä elementistä, jotka ovat usein kolmi-vaiheisia ja ovat sisäisesti kolmioon tai tähteen kytkettyjä. Nimellisjännitteeltään ne ovat 400 V, 525 V tai 690 V. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006., s. 48)

3.2.2 Keskitetty kompensointi

Keskitetyssä kompensoinnissa kompensointiparistot on sijoitettu pääkeskukseen tai ryhmäkeskukseen, josta niille on varattu sulakkeelliset lähdöt. Keskitetty kompensointi hoidetaan pääasiassa automaattiparistoilla. Automaattiparistoissa loistehonsäädin ohjaa tarvittavan määrän kondensaattoriportaita käyttöön aina senhetkisen tilanteen mukaan. Tämä automatiikka estää myös ylikompensoinnin. (ABB TTT-käsikirja, 2000a., s. 4)

Kompensointiparistoa käytetään silloin, kun verkossa ei esiinny yliaaltoja, mutta jos yliaaltoja esiin-tyy, kompensointi hoidetaan estokelaparistolla. Lähes kaikki kompensoinnit joudutaan toteuttamaan estokelaparistolla, sillä kaikissa kohteissa esiintyy jonkin verran yliaaltoja. (Uusimäki & Lavi, 2016., s. 5)

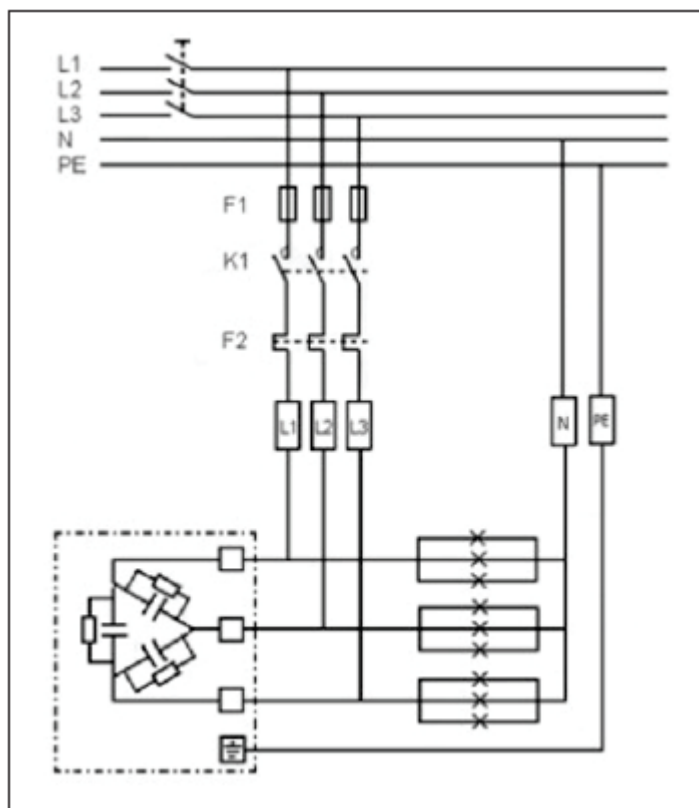


KUVA 5. Keskitetyn kompensoinnin periaatekytkentä (Uusimäki & Lavi, 2016.)

3.2.3 Ryhmäkohtainen kompensointi

Ryhmäkohtainen kompensointi sopii parhaiten kojeryhmille, joissa loistehon vaihtelut ovat pienehköjä ja kojeiden etäisyydet keskuksesta ovat pienet verrattuna keskusta syöttävään johtoon. Kompensointiparisto sijoitetaan ryhmäkeskuksen läheisyyteen ja varustetaan kytkimellä ja sulakkeilla. (ABB TTT-käsikirja, 2000a., s. 4)

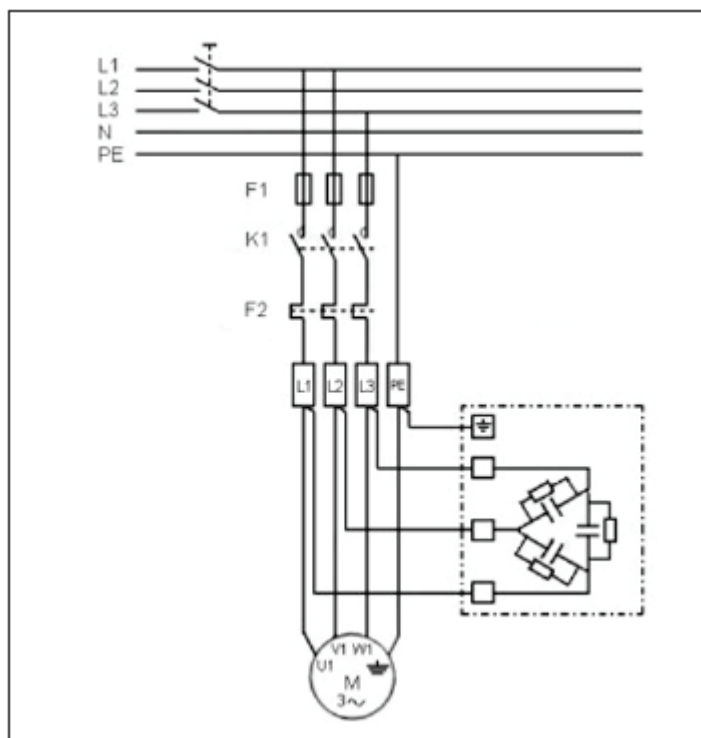
Ryhmäkompensointia voidaan käyttää sellaisille valaistusryhmille, jotka ovat kolmivaiheisia ja kontaktoriohjattuja tai moottoreille, jotka käynnistyvät samanaikaisesti. Niin sanotussa itseherätystapauksessa kompensointi aiheuttaa ylijännitteen. Kondensaattoripariston vaikutukset on huomioitava ryhmäjohtoa suojaavan johdonsuoja-automaatin valinnassa, koska sen kautta saattaa kulkea huomattavasti pienempi virta kuin ryhmäjohtossa. Ryhmäkohtaisesta kompensoinnista tulisi kuitenkin vanhoissa asennuksissa pyrkiä eroon niiden hankalan ylläpidon vuoksi. Uusissa asennuksissa ryhmäkohtaista kompensointia ei tulisi käyttää ollenkaan. (Uusimäki & Lavi, 2016., s. 5)



KUVA 6. Kolmivaiheinen valaistusryhmän kompensoinnin periaatekuva (Uusimäki & Lavi, 2016.)

3.2.4 Laitekohtainen kompensointi

Laitekohtaisessa kompensoinnissa loistehoa tuottava laite varustetaan kondensaattorilla, yleisimmin kyseessä on purkausvalaisin tai epätahtimoottori. Moottorikäytöissä liian suureksi mitoitettu kompensointiparisto aiheuttaa ylikompensointia ja näin ollen moottori muuttuu generaattoriksi sen sammutusvaiheessa ja tästä aiheutuu ongelmia ylijännitteissä sekä yliaalloissa. Laitekohtaisessa kompensoinnissa on sama tilanne kuin ryhmäkohtaisessa kompensoinnissa, että näistä mallista tulisi pyrkiä vanhoissa asennuksissa eroon ja uusiin näitä ei edes suositella. (Uusimäki & Lavi, 2016., s. 4)



KUVA 7. Moottorikohtaisen kompensoinnin periaate (Uusimäki & Lavi, 2016.)

3.3 Loistehokompensoinnin mitoittaminen

Loistehokompensoinnin mitoittamiseen voidaan käyttää menetelmiä, joita ovat mittaus, laskenta ja mitoitus taulukoiden avulla. Olemassa olevissa rakennuksissa yksinkertainen tapa on mitata loistehokulutus. Mittausjakson ajankohta määritellään sellaiseksi, jolloin loistehokulutus on suurimmillaan. Mittaukset kannattaa tehdä sähkönlaatuanalysointilaitteella, jolla on mahdollista tallentaa mittaustuloksia pidemmältä ajanjaksolta, jolloin kuormituksen käyttäytyminen saadaan selville. (Uusimäki & Lavi, 2016.)

Loistehokompensointi voidaan mitoittaa myös laskemalla. Tarvittavia tietoja laskentaan on tehokerroin ennen kompensointia sekä haluttu tehokerroin. (ABB TTT-käsikirja, 2000b, s. 1)

$$Q = \frac{P}{\eta} (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (1)$$

jossa

- Q = loistehon tarve
- P = kuormituksen pätöteho
- η = kuormituksen hyötysuhde
- φ_1 = tehokerroin ennen kompensointia
- φ_2 = tehokerroin kompensoinnin jälkeen.

Kompensoinnin tarve voidaan määrittellä myös taulukon 8 mukaan. Taulukossa on esitetty $\cos \varphi_1$, joka kuvaa kuormituksen tehokerrointa ennen kompensointia, ja $\cos \varphi_2$ kuvaa haluttua tehokerrointa kompensoinnin jälkeen. Tehokertoimen $\cos \varphi_1$ perusteella taulukosta saadaan kerroin, jolla kuor-

mituksen pätöteho kerrotaan halutun tehokertoimen $\cos \varphi_2$ saavuttamiseksi. Saatu tulos kertoo kompensoinnin tarpeen kVAR:a. (Uusimäki & Lavi, 2016.)

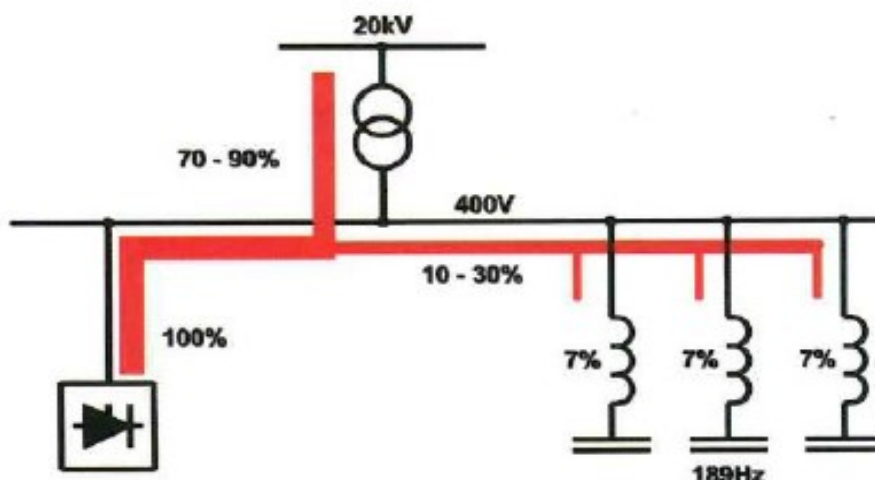
TAULUKKO 7. Kompensointitarpeen (kvar/kW) määrittäminen, kun tehokerroin nostetaan $\cos \varphi_1$:stä $\cos \varphi_2$:een (Uusimäki & Lavi, 2016.)

$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$							
	1	0,99	0,98	0,97	0,95	0,90	0,85	0,80
0,50	1,73	1,59	1,53	1,48	1,40	1,25	1,11	0,98
0,53	1,60	1,46	1,40	1,35	1,27	1,12	0,98	0,85
0,55	1,52	1,38	1,32	1,27	1,19	1,03	0,90	0,77
0,58	1,40	1,26	1,20	1,15	1,08	0,92	0,78	0,65
0,60	1,33	1,19	1,13	1,08	1,00	0,85	0,71	0,58
0,63	1,23	1,09	1,03	0,98	0,90	0,75	0,61	0,48
0,65	1,17	1,03	0,97	0,92	0,84	0,68	0,55	0,42
0,68	1,08	0,94	0,88	0,83	0,75	0,59	0,46	0,33
0,70	1,02	0,88	0,82	0,77	0,69	0,54	0,40	0,27
0,73	0,94	0,79	0,73	0,69	0,61	0,45	0,32	0,19
0,75	0,88	0,74	0,68	0,63	0,55	0,40	0,26	0,13
0,78	0,80	0,66	0,60	0,55	0,47	0,32	0,18	0,05
0,80	0,75	0,61	0,55	0,50	0,42	0,27	0,13	
0,83	0,67	0,53	0,47	0,42	0,34	0,19	0,05	
0,85	0,62	0,48	0,42	0,37	0,29	0,14		
0,86	0,59	0,45	0,39	0,34	0,26	0,11		
0,87	0,57	0,42	0,36	0,32	0,24	0,08		
0,88	0,54	0,40	0,34	0,29	0,21	0,06		
0,89	0,51	0,37	0,31	0,26	0,18	0,03		
0,90	0,48	0,34	0,28	0,23	0,16			
0,91	0,46	0,31	0,25	0,20	0,13			
0,92	0,43	0,28	0,22	0,18	0,10			
0,93	0,40	0,25	0,19	0,14	0,07			
0,94	0,36	0,22	0,16	0,11	0,03			
0,95	0,33	0,19	0,13	0,08				
0,96	0,29	0,15	0,09	0,04				
0,97	0,25	0,11	0,05					
0,98	0,20	0,06						
0,99	0,14							

3.4 Estokelaparisto

Estokelaparistollista kompensointia käytetään sellaisessa verkossa, jossa tarvitaan loistehon kompensointia ja kyseisessä verkossa esiintyy yliaaltoja. Estokelaparistolla vältetään haitallisten resonanssien syntyminen kondensaattorin kapasitanssin ja syöttävän verkon induktanssin välille. Kompensoinnin kapasitanssi ja verkon induktanssi voivat muodostaa rinnakkaisresonanssin tilanteessa, jossa viritystaajuus sattuu olemassa olevan yliaaltotaajuuden kohdalle. Tämän seurauksena saman taajuiset virrat voivat kasvaa jopa 20-kertaiseksi. Resonanssi aiheuttaa noustessaan virtasäröä sekä jännitesärön nousua minkä takia perinteisellä kondensaattoriparistolla ei ole mahdollista kompensoida loistehoa yliaaltopitoisessa verkossa. Estokelaparistoa suositellaankin käytettäväksi, jos jännitteen harmoninen kokonaissärö on yli 3 %. Estokelaparisto suodattaa myös jokin verran yliaaltoja ja siihen voidaan vaikuttaa viritystaajuuden valinnalla. Yleisesti käytetään 189 Hz viritystaajuutta ja sillä suodattava vaikutus on 10-30 % viidennen yliaaltovirran määrästä. Viritystaajuus tulee valita verkossa

esiintyvien merkittävimpien yliaaltojen mukaa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006., ss. 52,53)

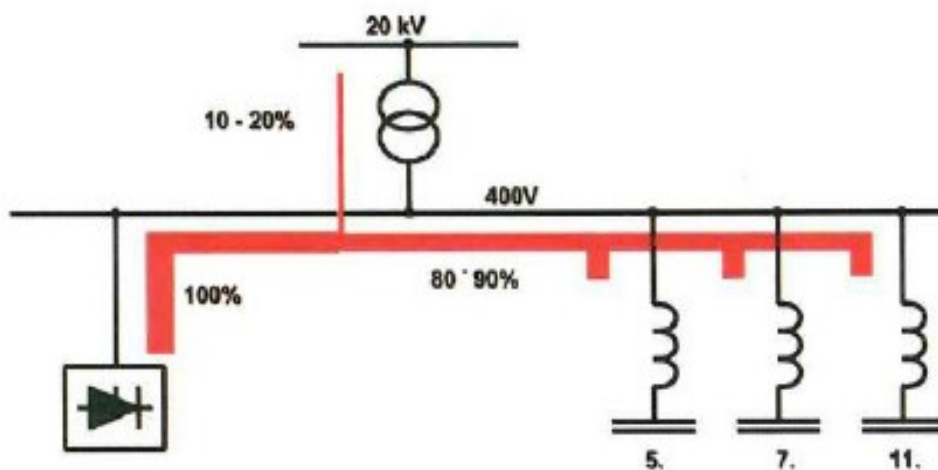


KUVA 8. Estokelapariston suodatusvaikutus (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006.)

3.5 Yliaaltosuodatin

Yliaaltosuodattimia käytetään samoin kuin estokelaparistoja, verkoissa joissa esiintyy yliaaltoja. Yliaaltosuodatin tuottaa tarvittavan loistehon sekä poistaa yliaaltovirtoja verkosta ja näin ollen parantaa sähkönlaatua pienentämällä verkon jännitesäröä. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006.)

Yliaaltosuodatin rakentuu kondensaattoreista ja niiden kanssa sarjaan kytketystä kuristimesta. Tyyppillinen yliaaltosuodatin koostuu kolmesta sarjaresonanssipiiristä, jotka on viritetty tavanomaisille yliaaltotaajuuksille. Yliaaltosuodattimia käytetään pienjänniteverkossa yleensä keskitettynä kompensointina. On tärkeää tunnistaa se verkon osan tila, johon yliaaltosuodattimia käytetään. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006., s. 55)



KUVA 9. Yliaaltosuodattimen suodatusvaikutus (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006.)

3.6 Aktiivisuodatin

Aktiivisuodatin vastaa verkon yliaaltotilanteen muutokseen, johon passiivisilla komponenteilla ei päästä. Aktiivisuodatin mittaa yliaaltokomponenttien virrat ja tuottavat niiden kanssa 180° :n vaihe-siirrossa olevan virran, joka kumoo alkuperäisen yliaaltovirran. Aktiivisuodatin on ohjattu virtalähde, joka ei voi ylikuormittua. Tilanteessa, jossa yliaaltovirrat ylittävät aktiivisuodattimen kapasiteetin, aktiivisuodatin ei huomioi yli meneviä yliaaltovirtoja vaan jatkaa toimintaansa kapasiteettinsa mukaan. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006.)

Aktiivisuodattimen etuina ovat mm. mahdollisuus valita useita suodatettavia taajuuksia, mahdollista tehdä suodatusta ilman loistehon tuotantoa, rinnakkaisresonanssin vaaran välttäminen ja pienempi tilantarve. Isona etuna aktiivisuodattimella on mahdollisuus kompensoida kolmella jaolliset parittomat yliaallot, jotka summautuvat nollajohtoon, kuten 3. harmoninen yliaalto. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006.)

Aktiivisuodattimen asennuspaikka käytännössä valikoituu kustannustehokkuuden ja säröä aiheuttavien kuormien vaikutuksesta. Aktiivisuodatin on kytkettävä verkossa kompensoitavan verkon osan rinnalle niin, että kytkentäpisteessä voidaan mitata suodattimen ohi kompensoitavaan verkkoon menevä ja tuleva virta. Suodatin on riippumaton kompensoitavan virran suunnasta, käyrämuodosta ja virtamuutoksen dynamiikasta. Vaihesiirto voi olla induktiivinen tai kapasitiivinen ja kuorma voi olla epäsymmetristä, eikä verkon impedanssi ja jännitteen laatu vaikuta suodattimen toimintaan. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006., s. 62)

3.7 Kompensoinnin vaikutus verkkoon

Lisääntynyt tehon tarve liittymässä aiheuttaa monesti liittymäluokan kasvattamisen ja jossain tilanteessa jopa liittymiskaapelin ja pääkeskuksen uusinnan. Kompensoinnin asennuksella saatetaan saada sen verran lisäkapasiteettia, että suurentamistarve siirtyy useilla vuosilla eteenpäin. Lisäksi tällaisella investoinnilla saavutetaan pienenevät tai kokonaan poistuvat loistehomaksut. Kompensoinnilla saavutetaan kiinteistöiden sisäverkossa myös siirtokapasiteetin kasvua, kun kuormitusvirrasta poistuu loiskomponentti niin verkon pätötehon siirtokapasiteetti kasvaa. (Viljanen, 2009.)

Kompensointi pienentää loisvirtaa, jolloin myös jännitteenalenema pienenee. Kiinteistön pääkeskuksella sallitaan $+6\%/-10\%$ ero nimellisjännitteestä. Tämän lisäksi kiinteistön sisäverkossa sallitaan 4% jännitealenema. Teollisuuslaitoksien sisäverkoissa voidaan sallia jonkin verran suurempi jännitehäviö. Pienillä johdinpoikkipinnoilla reaktanssi on pieni ja kompensoinnista aiheutuva jännitteenalenema on merkityksetön. Vastaavasti suurilla johtopoikkipinnoilla ja pitkillä siirtoetäisyyksillä merkitys on vaikuttava. (Viljanen, 2009.)

Yliaaltosuodatus kompensoinnissa pienentää verkon säröä, ja näin sähkönlaatu paranee. Jännitesärön pienentyminen vähentää verkossa esiintyviä häiriöitä sekä vaurioiden todennäköisyys piene-

nee. Yliaaltosuodatuksen etuna on myös verkkokomponenteista häviöiden pieneneminen. Joissakin verkoissa yliaaltosuodattimet ovat välttämätön häiriöttömän käytön edellytys. (Viljanen, 2009.)

4 SÄHKÖNLAATUMITTAUKSET

4.1 Mittaukset

Sähkölaatumittauksia suoritetaan verkossa ilmenneiden häiriöiden, laiterikkojen tai kohonneiden loistehomaksujen vuoksi. Mittauksilla saadaan selvitettyä häiriöiden aiheuttajat, johtuvatko häiriöt sähköjakeluverkossa vai kiinteistön omassa verkossa. Etenkin teollisuuslaitoksissa häiriöt saattavat aiheuttaa tuotantokatkoja, jotka voivat pahimmissa tapauksissa vaikuttaa tuotettavan tuotteen laatuun. Mittauksen etuna on, että saadaan mahdollinen häiriö selvitettyä ja siihen pystytään puuttamaan oikeanlaisella ratkaisulla. Laitetoimittajat ovat myös halukkaita tietämään, minkälaiseen sähköverkkoon laitteet tullaan liittämään teollisuusympäristössä

4.2 Mittalaite

Sähkölaatumittauksissa on paras käyttää hyvälaatuista sähkölaatuanalysointilaitetta, jolla saadaan kaikki tärkeimmät sähkölaatuun kuuluvat suuret mitattua yhdellä mittauksella. Tässä työssä mittalaitteena oli käytössä Fluken 435 II -verkkoanalysointilaitte. Fluken 453 II -verkkoanalysointilaitte on monipuolinen mittalaite, jossa on laaja valikoima erilaisia mittaustilanteita sähköjärjestelmän tarkastamiseksi.

Fluke 435 II -verkkoanalysointilaitte sisältää seuraavanlaisia mittaustoimintoja:

- Jännite/Virta/Taajuus (Volts/Amps/Hertz)
- Kuopat ja kohoumat (Dips & Swells)
- Harmoniset yliaallot (Harmonics)
- Teho & Energia (Power & Energy)
- Energia hävikkilaskuri (Energy loss calculator)
- Invertterin tehokkuus (Power inverter efficiency)
- Epäsymmetria (Unbalance)
- Käynnistysvirta (Inrush)
- Sähkölaatumittaus (Monitor)
- Välkyntä (Flicker)
- Piikit (Transients)
- Power Wave
- Verkon signaalilähteet (Mains Signaling)

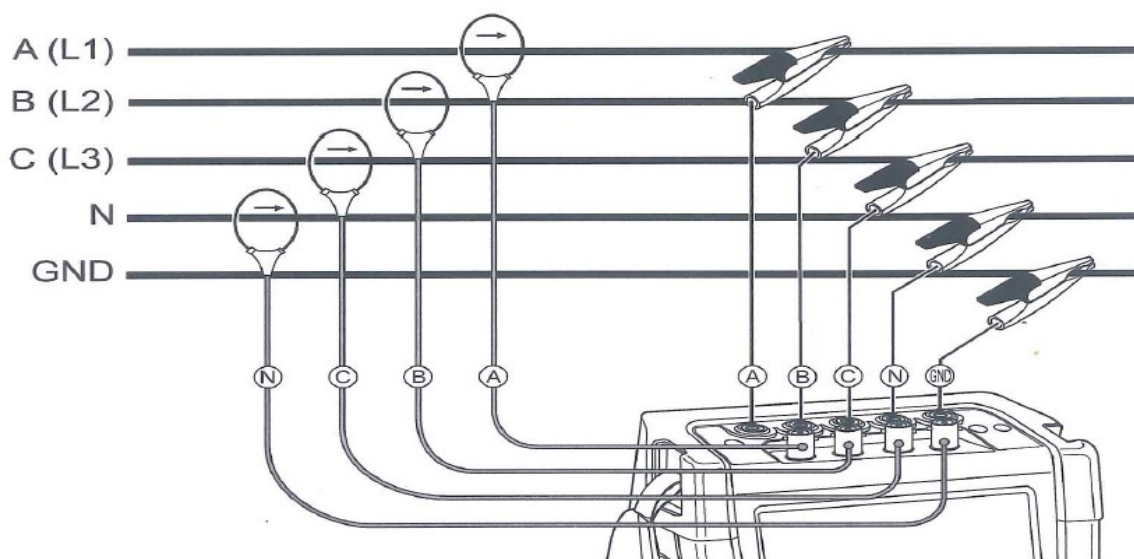
Monitor-toiminnolla saadaan paras yleiskuva sähköjakelujännitteen laadusta. Toiminnon avulla saa mittarin näytölle näkyviin pylväsnäkymän, joka kertoo jakelujännitteen laadun, kahdella eri värillä. Arvojen ollessa raja-arvojen sisällä pylväät ovat vihreänä ja mikäli arvot ylittyvät vaihtuu väri punaiseksi. (Fluke, 2012.)

Analysaattorissa on Logger tiedonkeruutoiminto millä on mahdollista tallentaa monia eri lukemia samanaikaisesti suurella erottelukyvyllä. Lukemat tallentuvat mittarin muistiin käyttäjän asetteleman

aikavälin mukaan. Tallennettava mittausdata voidaan nimetä tallennusta varten, vaikka mitattavan keskuksen mukaan, näin tulokset ovat helposti löydettävissä. Tallennettavia suureita pystyy valitsemaan pääkategorioista, joita ovat jännite, virta, teho, energia, jänniteylläallot, virtaylläallot, tehoylläallot, taajuus, välkyntä, epäsymmetria ja verkon signaalijännitteet. Valittujen suureiden jälkeen tiedonkeruumittauksen pystyy aloittamaan. Mittarinäytöltä pystyy seuraamaan mitattavia suureita hetkellisarvoina, mittauksen aikana. Kuitenkin parhaan tulkinnan mittausjakson tapahtumista saa, kun tuloksia tarkastelee Fluken PowerLog -ohjelman avulla. (Fluke, 2012.)

4.2.1 Mittauksen suoritus

Fluken 435 -verkkoanalysoitsijan kytkentä mittauskohteeseen on tehtävä ohjeiden mukaisesti. Analysoitsija ohjeistaa näytöllä oikeanlaisen kytkennän. Jotta kytkentä voidaan tehdä ohjeiden mukaan, on mittausajan tunnettava kohteena oleva verkon rakenne. Mittalaite kytketään kohteeseen alla olevan kuvan 10 mukaan.



KUVA 10. Analysoitsijan kytkeminen kolmivaihejärjestelmään (Fluke, 2012.)

Ennen mittauskytkentöjen suorittamista tulisi mittauskohde tehdä jännitteettömäksi, jos se on mahdollista. Kytkennän suorituksessa on syytä käyttää henkilökohtaisia suojarusteita ja noudattaa erityistä varovaisuutta. Ensimmäisenä kytketään virtamittauksen lenkit vaihejohtimiin ja nollajohtimen ympärille. On tärkeää huomioida virtamittausilmukoiden asennuksessa virran kulkusuunta. Seuraavana jännitemittauksen kytkentä, joka aloitetaan maajohtimen kytkennällä ja vasta sen jälkeen vaihejohtimet A (L1), B (L2), C (L3). Ennen mittauksen suorittamista asetetaan analysoitsijaan oikea nimellisjännite ja taajuus. Oskilloskooppi ja osoitinnäyttö ovat hyvä tapa tarkistaa mittauskytkentöjen oikeellisuus. Osoitinnäytöltä näkyy oikein kytkettynä, kuinka vaihevirratt ja jännitteet ovat myötäpäivään kiertävässä järjestyksessä. (Fluke, 2012.)

4.3 Mittauskohde

Tehdasta syöttää kolme 20/0,4 kV muuntajaa, jotka kaikki ovat tehoiltaan 1000 kVA. Jokaisella muuntajalla on oma pääkeskuksensa, joka on nimetty muuntajan mukaan. Tehdasalue on jaettu näiden muuntajien mukaan kolmeen selvään alueeseen. Jokaisen pääkeskuksen alla on muutamia nousukeskuksia ja kymmeniä ryhmäkeskuksia. Kompensointikeskuksia on jokaisen pääkeskuksen yhteydessä ja muutamia kompensointikeskuksia on sijoitettu nousukeskusten yhteyteen.

Sähkönlaatumittauksia on tarkoitus tehdä jokaiselle pääkeskukselle ja niiden nousukeskuksille. Pienimmät ryhmäkeskukset jätetään näiden mittauksen ulkopuolelle, niiden vähäisen merkityksen takia. Mittaushaasteiden vuoksi osa mittauksista on suoritettu vain yhdelle syöttävälle kaapelille. Mittaustulosten kirjausvaiheessa tämä on otettu huomioon virta- ja tehoarvojen kohdalla. Mittausjakson pituudeksi katsottiin riittävän neljä tuntia. Mittausjakson ajankohta sijoitetaan aamu- tai iltavuoron kanssa päällekkäin, jotta saadaan verkon todellinen tilanne tallennettua mittauksiksi.

4.4 Mittauksen tulokset

Mittauksista arvioitiin verkon nykytilannetta. Tulosten arvioinnissa on tässä raportissa mukana kaksi pääkeskusta, verkon muut keskuksia mittauksista dokumentoitiin vain Ponsen omaan käyttöön.

Saaduista mittauksista laadittiin Excel-pohjainen mittauspöytäkirja, johon koottiin mittauksesta saadut arvot keskuksittain. Tuloksista kirjattiin pöytäkirjaan maksimi-, minimi- ja keskiarvo sekä keskiarvon hajonnasta 5 % ja 95 % pisteet. Taulukoiden vieressä on sallitut arvot mitä standardi vaatii sähköverkolta liittymispisteessä, näin tuloksia on helpompi analysoida. Tuloksia tarkasteltaessa on kuitenkin muistettava, että mittausjakso ei ole standardin mukainen ja tuloksiin on suhtauduttava suuntaa antavina.

Mittauksen ohella tarkistettiin keskusten dokumentaation ajantasaisuus. Poikkeamat kirjattiin ja niistä tieto menee myöhemmin suunnittelijalle päivitystä varten. Tarkasteltavia asioita ovat lähtöjen syöttävät kaapelit, sulakkeiden koko ja keskusmerkinnät.

4.4.1 Pääkeskus SKA:n mittauksien tulokset ja analysointi (LIITE 1)

SKA-keskuksella sähkönlaatu on hyvä. Jännitetaso on keskuksella sallituissa rajoissa, kuitenkin mitattu maksimiarvo on noin 4,8 % nimellisjännitettä korkeampi (taulukko 8), kun standardi EN 50160 sallii ± 10 % eroavaisuuden nimellisjännitteestä. Jännitteen hyvä laatu johtuu verkonhaltijan jäykästä verkosta ja muuntajan käyttöasteesta, joka jäi 1000 kVA:n nimellistehon muuntajalla noin 50 prosenttiin.

Mittausjakson tapahtumista on liitteessä 1 yksityiskohtaisemmat tulokset. Liitteessä olevat mittauksien tulokset on saatu yhdeltä syöttävältä kaapelilta, joten virtojen ja tehojen arvot eivät suoraan vastaa todellista. Taulukkoarvoihin on otettu huomioon tarvittavat korjauslaskennat.

TAULUKKO 8. SKA:n jännitetasot

Suure		Tunnus	Mitatut arvot			
			L1	L2	L3	N
Sulakkeet		A	5*315	5*315	5*315	
Jännitetaso	max	U, max	241	241	241	0,07
	min	U, min	236	236	235	0,06
	keskiarvo	U	238	239	238	0,06
	5 % prosenttipiste		236	237	237	0,06
	95 % prosenttipiste		240	241	240	0,07

Jännitteessä epäsymmetriaa ei juurikaan ole havaittavissa. Korkeimmillaan jännitteen epäsymmetria 0,28 %, kun sallittu arvo on 2 % (taulukko 9).

TAULUKKO 9. SKA:n jännite epäsymmetria

Jännite		Vn		Sallittu 0...2 %
epäsymmetria	max	%,max	0,28	
	min	Vn %,min	0,02	
	keskiarvo	Vn %	0,08	
	5 % prosenttipiste		0,03	
	95 % prosenttipiste		0,14	

Jännitesärö jää reilusti alle raja-arvon mittausjakson aikana. Jännitesärö on suurimmillaan 2 % ja keskiarvo on noin 1,5 %, standardin raja-arvon ollessa 8% (taulukko 10).

TAULUKKO 10. SKA:n jännitesärö

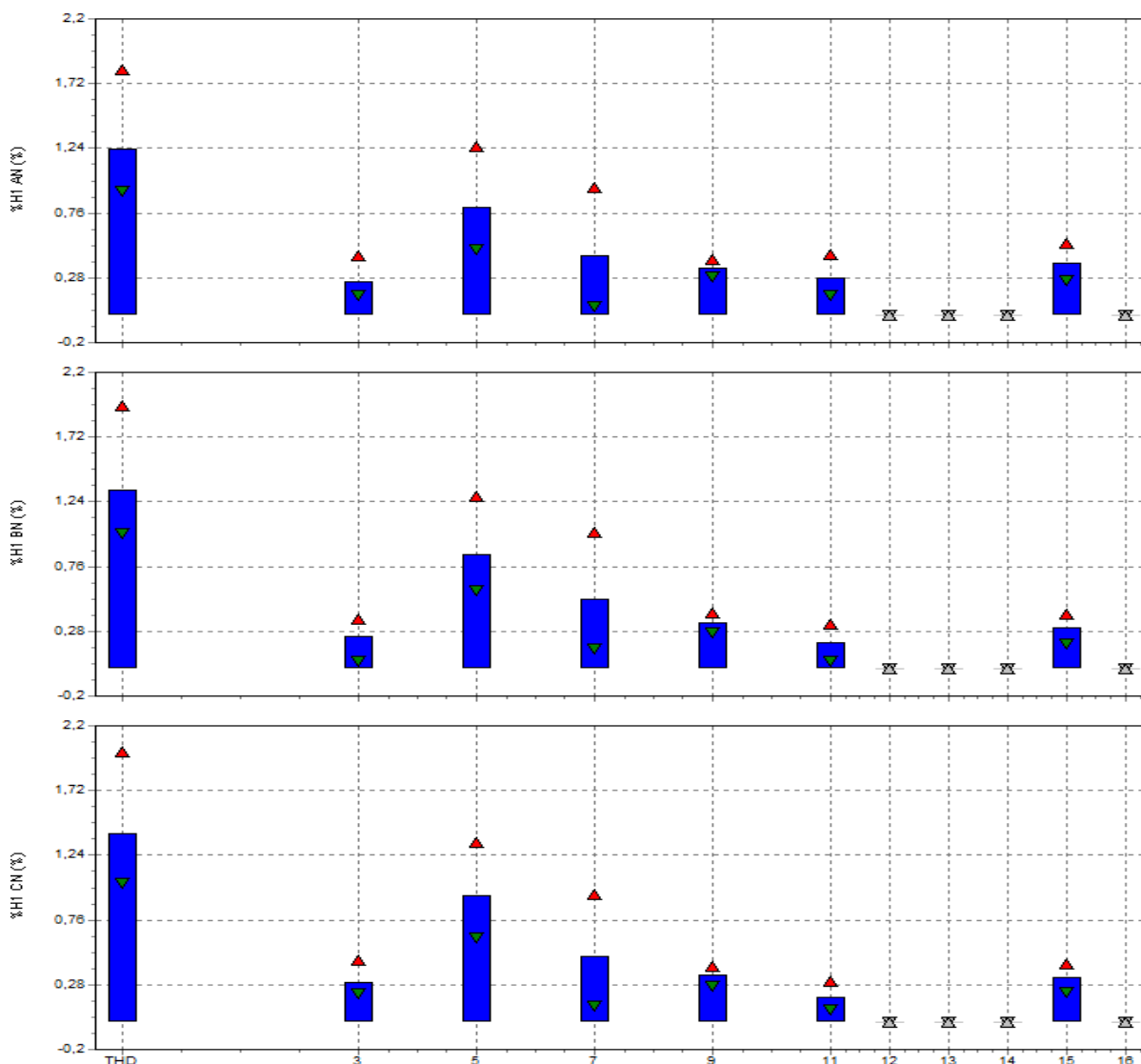
Suure		Tunnus	Mitatut arvot			Standardi raja-arvo
			L1	L2	L3	
Jännitesärö	max %	THD V, max	1,82	1,95	2,01	8 %
	min %	THD V, min	0,92	1	1,03	
	keskiarvo %	THD V	1,23	1,32	1,4	
	5 % prosenttipiste		0,97	1,05	1,1	
	95 % prosenttipiste		1,6	1,71	1,77	

Harmoniset jänniteyliaallot ovat pääsääntöisesti standardiarvojen sallimissa rajoissa. Ainut poikkeama sallituista arvoista ilmeni jännitteen 15:ssä yliaallossa, maksimiarvossa, joka ylittää standardin raja-arvon 0,04 %. Poikkeama näkyy taulukossa punaisella (taulukko 11). Mittausjakson keskiarvot jännitteenyliaalloista ovat kaikki sallituissa rajoissa.

TAULUKKO 11. SKA:n jänniteyliaallot prosentteina perustaajuisesta jännitteestä

Suure	Tunnus	Mitatut arvot			Standardi raja-arvo 100 < 1000 A	
		L1	L2	L3		
Jänniteyliaallot						
H3	max	H3 %, max	0,44	0,37	0,46	5,0 %
	min	H3 %, min	0,15	0,06	0,21	
	keskiarvo	H3 %	0,25	0,24	0,29	
H5	max	H5 %, max	1,25	1,28	1,34	6,0 %
	min	H5 %, min	0,49	0,58	0,63	
	keskiarvo	H5 %	0,8	0,84	0,94	
H7	max	H7 %, max	0,95	1,01	0,95	5,0 %
	min	H7 %, min	0,07	0,15	0,12	
	keskiarvo	H7 %	0,44	0,52	0,49	
H9	max	H9 %, max	0,42	0,42	0,42	1,5 %
	min	H9 %, min	0,29	0,27	0,27	
	keskiarvo	H9 %	0,35	0,34	0,34	
H11	max	H11 %, max	0,45	0,33	0,31	3,5 %
	min	H11 %, min	0,15	0,06	0,09	
	keskiarvo	H11 %	0,27	0,19	0,18	
H15	max	H15 %, max	0,54	0,41	0,43	0,5 %
	min	H15 %, min	0,26	0,19	0,22	
	keskiarvo	H15 %	0,38	0,3	0,33	

Kuviossa 1 näkyy pylväsdiagrammina harmoniset yliaaltojännitteet prosentteina perustaajuisesta jännitteestä. Kuvioista näkee kuinka jännitteen yliaallot jakautuvat tasan eri vaiheiden kesken. Kuviossa 1 näkyvä punainen kolmio kertoo jokaisen yliaaltojännitteen mittausjakson aikaisen maksimi kohdan. Lähemmin numeroarvoja pystyy tarkastelemaan taulukosta 11.



KUVIO 1. Harmoniset yliaaltojännitteet prosentteina perustaajuisesta jännitteestä

Virtamittaus on suoritettu yhdestä syöttökaapelista mittausteknisistä syistä. Mittausarvot on kerrottu kaapeleiden lukumäärällä, jolloin tulokset saatiin vastaamaan todenmukaista tilannetta (taulukko 12). Syöttökaapeleita muuntajalta keskukselle on viisi kappaletta ja kaikki kaapelit ovat poikkipinnaltaan saman suuruisia. Syöttökaapeleiden oletetaan myös olevan samanpituisia keskenään niin kuin kuuluisi olla. Rinnakkaisten kaapeleiden tasainen virran jakautuminen varmistettiin mittaamalla jokaisen kaapelin vaihevirratt. Vaihekohtaista epäsymmetriaa kaapeleiden kesken oli suurimmillaan noin 4,5 A ja pienimmillään noin ampeerin. Mitatuissa virta-arvoissa oli kuormituseroja ja suurin eroavaisuus löytyi L1 ja L2 vaiheiden välillä noin 55 A keskiarvoista laskettuna. Suurin kuormitus kohdistui L1-vaiheelle ja pienin kuormitus taas L2-vaiheella.

TAULUKKO 12. SKA:n mitatut virrat

Suure		Tunnus	Mitatut arvot			
			L1	L2	L3	N
Virta	max	A, max	711	664,5	686,5	105,5
	min	A, min	479,5	420,5	429,5	51
	keskiarvo	A	577,6	523	534,7	72

Mittausjakson aikana virran epäsymmetria oli maksimissaan 6 % ja keskiarvo oli 3,2 % (taulukko 13). Suurin sallittu virran epäsymmetria suositus on ± 10 % vaiheiden kesken. Tämä tarkoittaa, että kunkin vaiheen virta saisi poiketa enintään 10 % vaihevirtojen keskiarvosta. Mitatuissa arvoissa jää-
dään alla suosituksen, kuitenkin epäsymmetriaa oli havaittavissa.

TAULUKKO 13. SKA:n virran epäsymmetria

Virran epäsymmetria	max	An %, max	6
	min	An %, min	1,38
	keskiarvo	An %	3,2
	5 % prosenttipiste		1,93
	95 % prosenttipiste		4,65

Virtasärö mittausjakson aikana oli korkeimmillaan 13,8 %, kun suositeltava raja-arvo on 20 % ja keskiarvoltaan virtasärö jäi korkeimmillaan vajaaseen 10 % (taulukko 14). Eroavaisuutta vaiheiden kesken suurimmillaan oli noin 2 % keskiarvoja tarkasteltaessa.

TAULUKKO 14. SKA:n virtasärö

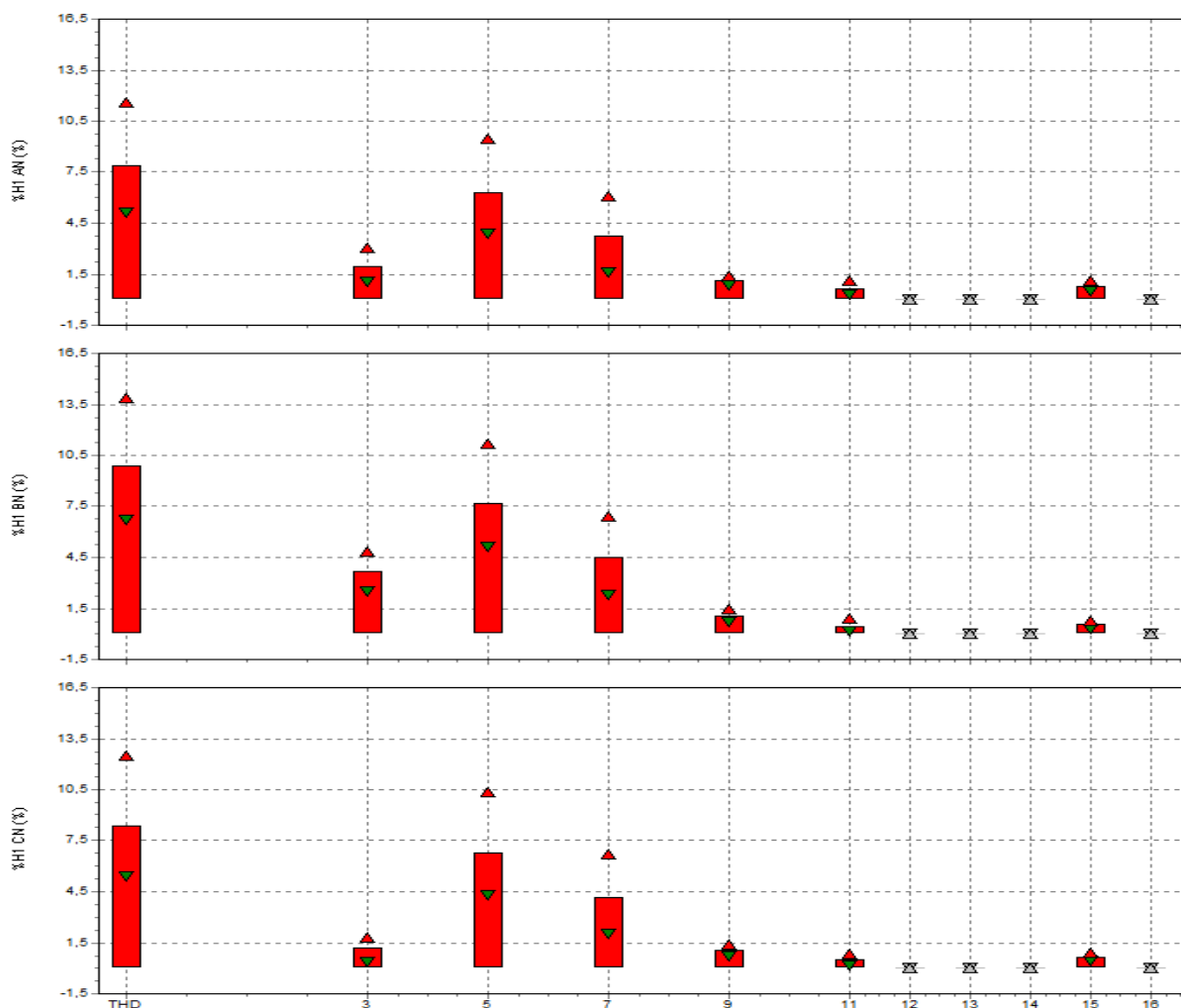
Suure	Tunnus	Mitatut arvot			Standardi raja-arvo	
		L1	L2	L3		
Virtasärö	max %	THD A, max	11,61	13,86	12,48	20 %
	min %	THD A, min	5,14	6,7	5,43	
	keskiarvo %	THD A	7,87	9,86	8,36	
	5 % prosenttipiste		6,08	8	6,48	
	95 % prosenttipiste		10,16	12,23	10,63	

Harmoniset virtayliaallot jäävät suositusten mukaisten arvojen alapuolelle. Kolmatta virtayliaaltoa esiintyy eniten L2-vaiheella, maksimissaan noin 5 %, keskiarvo jää jo alle 4 %. Viidettä yliaaltoa esiintyykin eniten kaikista virtayliaalloista. L2-vaiheella sitä esiintyi noin 11 % maksimissaan mikä jäi 4 % alle sallitusta arvosta. Seitsemättä virtayliaaltoa mittauksissa esiintyi maksimissaan noin 7 %. Loput mitatuista virtayliaalloista jäivät selvästi alle sallittujen arvojen (taulukko 15).

TAULUKKO 15. SKA:n virtayliaallot prosentteina perustaajuisesta virrasta

Suure	Tunnus	Mitatut arvot			Sallittu raja-arvo 100 < 1000 A	
		L1	L2	L3		
Virtayliaallot						
H3	max	H3 %, max	3,04	4,86	1,78	15 %
	min	H3 %, min	1,07	2,53	0,38	
	keskiarvo	H3 %	1,93	3,65	1,17	
H5	max	H5 %, max	9,49	11,21	10,35	15 %
	min	H5 %, min	3,86	5,13	4,29	
	keskiarvo	H5 %	6,3	7,64	6,78	
H7	max	H7 %, max	6,1	6,9	6,71	15 %
	min	H7 %, min	1,63	2,28	2,04	
	keskiarvo	H7 %	3,74	4,48	4,18	
H9	max	H9 %, max	1,39	1,45	1,43	15 %
	min	H9 %, min	0,83	0,72	0,73	
	keskiarvo	H9 %	1,09	1,02	1,03	
H11	max	H11 %, max	1,14	0,88	0,85	7 %
	min	H11 %, min	0,31	0,13	0,17	
	keskiarvo	H11 %	0,66	0,45	0,49	
H15	max	H15 %, max	1,13	0,77	0,88	7 %
	min	H15 %, min	0,47	0,29	0,42	
	keskiarvo	H15 %	0,77	0,55	0,65	

Kuviossa 2 näkyy pylväsdigrammina harmoniset yliaaltovirrat prosentteina perustaajuisesta virrasta. Kuviossa näkee kuinka virranyliaallot jakautuvat tasan eri vaiheiden kesken. Suurin poikkeama on nähtävissä kolmannella virranyliaallolla, jossa L2-vaiheella on suurin arvo noin 4 % ja L3:n pienin noin 1,5 %. Kuviossa 2 näkyvä punainen kolmio kertoo yliaaltovirran maksimikohdan mittausjakson ajalta, vihreä kolmio ilmaisee vastaavasti minimikohdan. Lähemmin numeroarvoja pystyy tarkastelemaan taulukosta 16.



KUVIO 2. SKA:n harmoniset yliaaltovirrat prosentteina perustaajuisesta virrasta

Mittausjakson aikana saatujen tehojen tilanne on mitä ihanteellisinkin, koska pätö- ja näennäisteho ovat lähes yhtä suuret ja loistehon osuus on pieni. Mittaustuloksista voi päätellä loistehon kompensoinnin olevan kunnossa ja oikein mitoitettu (Taulukko 16). Vaihekohtaisesti L1 ottaa on noin 10 kW enemmän tehoa kuin vaiheet L2 ja L3. Kuorman jakaminen ykkösvaiheelta, kakkoselle ja kolmoselle tasaisi tehoja keskenään. Keskustilaan on sijoitettu estokelapariestollinen kompensointi, joka on teholtaan 300 kvar.

TAULUKKO 16. SKA:n mitatut tehot

Suure	Tunnus	Mitatut arvot				
		L1	L2	L3	Total	
Pätöteho	max	kW, max	167,2	156,5	161,7	485,4
	min	kW, min	113,85	99,4	103,1	317,5
	keskiarvo	kW	136,99	124,2	126,9	388,1
Loisteho	max	kvar, max	28,45	23,7	27	79,2
	min	kvar, min	-1,7	-7,65	-3,85	-13,2
	keskiarvo	kvar	6,79	3,4	5,67	15,89
Näennäisteho	max	kVA, max	168,2	157,6	162,75	488,7
	min	kVA, min	168,2	100,05	103,35	319,95
	keskiarvo	kVA	137,65	124,96	127,56	390,61

Mittaustuloksista selviää, että taajuuspoikkeamia ei ole havaittavissa ja tulokset pysyvät standardin SFS-EN 50160 raja-arvojen sisällä.

TAULUKKO 17. SKA:n taajuus

Taajuus	max	f, max	50,1
	min	f, min	49,88
	keskiarvo	f	49,98

Tehokertoimella saadaan selville pätötehon suhde näennäistehoon. Mitä lähempänä ykköstä ollaan sitä parempi, koska silloin häviöt ovat pienimmät. Mittaustapahtuman aikana tehokerroin pysyi jatkuvasti lähellä ykköstä, paria poikkeusta lukuun ottamatta. Muutokset heijastuvat loistehon puolelta ja näkyvät hyvin liitteestä 1.

TAULUKKO 18. SKA:n tehokerroin

Suure		Tunnus	Mitatut arvot			
			L1	L2	L3	Total
Tehokerroin	max	$\cos\varphi$, max	1	1	1	1
	min	$\cos\varphi$, min	0,97	0,97	0,97	0,97
	keskiarvo	$\cos\varphi$	0,99	0,99	0,99	0,99

Tehokertoimen vertailua varten alla olevassa taulukossa 20 on mitatut arvot PF tehokertoimesta. PF tehokerroin sisältää myös harmoniset yliaallot. Eroavaisuuksia tehokertoimien välillä ei ole tai ne ovat hyvin pieniä, jotka eivät näy taulukko arvoissa. Kun tehokertoimet ovat samat tai lähes samat, se kertoo verkon sisältävän melko vähän yliaaltoja. Näiden mittausarvojen perusteella voidaan todeta, että mitatussa verkossa yliaaltosisältö on vähäistä.

TAULUKKO 19. PF tehokerroin, jossa mukana harmoniset yliaallot

Suure		Tunnus	Mitatut arvot			
			L1	L2	L3	Total
PF	max	PF, max	1	1	1	1
	min	PF, min	0,97	0,97	0,97	0,97
	keskiarvo	PF	0,99	0,99	0,99	0,99

4.4.2 Pääkeskus SKB:n mittaustulokset ja analysointi (LIITE 2)

SKB keskuksella sähkönlaatu on hyvä. Jännitetaso on keskuksella sallituissa rajoissa, kuitenkin mitattu maksimiarvo on 5,3 % nimellijännitettä korkeampi (taulukko 20), kun standardi EN 50160 sallii ± 10 % eroavaisuuden nimellijännitteestä. Jännitteen hyvä laatu johtuu verkonhaltijan jäykästä verkosta ja muuntajan käyttöasteesta, joka jäi 1000 kVA:n nimellistehon muuntajalla noin 50 prosenttiin. Mittausjakson tapahtumista on liitteessä 2 yksityiskohtaisemmat tulokset.

TAULUKKO 20. SKB:n jännitetasot

Suure		Tunnus	Mitatut arvot			
			L1	L2	L3	N
Katkaisin		In/A	1600			
Jännitetaso	max	U, max	241,4	240,0	242,2	1,8
	min	U, min	237,7	236,0	238,0	1,5
	keskiarvo	U	239,4	237,8	240,2	1,5
	5 % prosenttipiste		238,0	236,6	238,9	1,5
	95 % prosenttipiste		240,7	239,2	241,6	1,7

Jännitteessä epäsymmetriaa ei juurikaan ole havaittavissa. Korkeimmillaan jännitteen epäsymmetria on 0,38 %, kun sallittu maksimiarvo on 2 % (taulukko 21).

TAULUKKO 21. SKB:n jännite epäsymmetria

				Sallittu
Jännite epäsymmetria	max	Vn %,max	0,38	0...2 %
	min	Vn %,min	0,01	
	keskiarvo	Vn %	0,08	
	5 % prosenttipiste		0,02	
	95 % prosenttipiste		0,17	

Jännitesärö jää alle standardin raja-arvon, joka on 8 %. Jännitesärö oli maksimissaan noin 4,5 % ja keskiarvo on noin 2,5 % (taulukko 22). Tuloksia tarkasteltaessa on muistettava, että jo 3 % jännitesärö voi aiheuttaa ongelmia.

TAULUKKO 22. SKB:n jännitesärö

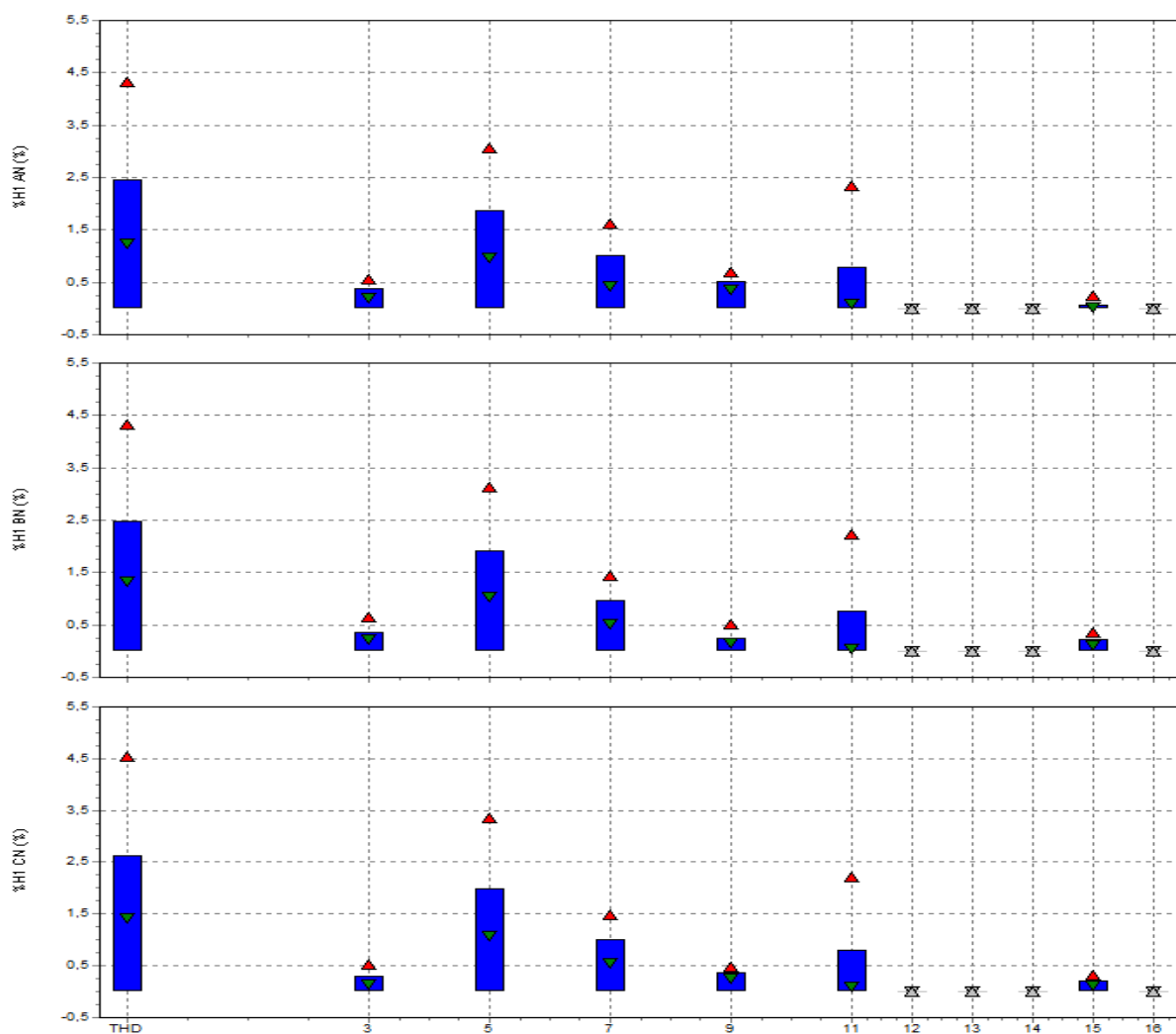
Suure		Tunnus	Mitatut arvot			Standardi raja-arvo
			L1	L2	L3	
Jännitesärö	max	THD V, max	4,33	4,32	4,54	8 %
	min	THD V, min	1,24	1,33	1,41	
	keskiarvo	THD V	2,46	2,47	2,62	
	5 % prosenttipiste		1,63	1,67	1,8	
	95 % prosenttipiste		3,75	3,69	3,87	

Harmoniset jänniteyliaallot ovat standardiarvojen sallimissa rajoissa. Jänniteyliaalloja tarkasteltaessa vaihekohtaisesti ei isoa eroavaisuutta näiden kesken ole. (taulukko 23).

TAULUKKO 23. SKB:n jänniteyliaallot prosentteina perustaajuisesta jännitteestä

Suure	Tunnus	Mitatut arvot			Standardi raja-arvo 100 < 1000 A	
		L1	L2	L3		
Jänniteyliaallot						
H3	max	H3 %, max	0,56	0,65	0,52	5,0 %
	min	H3 %, min	0,2	0,22	0,15	
	keskiarvo	H3 %	0,37	0,35	0,3	
H5	max	H5 %, max	3,06	3,13	3,35	6,0 %
	min	H5 %, min	0,96	1,03	1,08	
	keskiarvo	H5 %	1,86	1,91	1,98	
H7	max	H7 %, max	1,63	1,45	1,49	5,0 %
	min	H7 %, min	0,43	0,52	0,55	
	keskiarvo	H7 %	1	0,95	0,99	
H9	max	H9 %, max	0,69	0,51	0,49	1,5 %
	min	H9 %, min	0,35	0,15	0,26	
	keskiarvo	H9 %	0,51	0,24	0,35	
H11	max	H11 %, max	2,34	2,24	2,22	3,5 %
	min	H11 %, min	0,09	0,05	0,1	
	keskiarvo	H11 %	0,77	0,77	0,8	
H15	max	H15 %, max	0,24	0,36	0,32	0,5 %
	min	H15 %, min	0,02	0,12	0,11	
	keskiarvo	H15 %	0,07	0,21	0,21	

Kuviossa 3 näkyy pylväsdiagrammina harmoniset yliaaltojännitteet prosentteina perustaajuisesta jännitteestä. Kuvioista näkee kuinka jännitteen yliaallot jakautuvat tasan eri vaiheiden kesken. Kuviossa 3 näkyvä punainen kolmio kertoo yliaaltojännitteen maksimikohdan mittausjakson ajalta, vihreä kolmio ilmaisee vastaavasti minimikohdan. Lähemmin numeroarvoja pystyy tarkastelemaan taulukosta 23.



KUVIO 3. SKB:n jännitteenyliallot prosentteina perustaajuisesta jännitteestä

Mitatuissa virta-arvoissa huomataan yleinen tilanne, että L1-vaihe on eniten kuormitettu ja L2-vaihe vähiten. Keskiarvoja tarkasteltaessa L1-vaiheen kuormitusero oli noin 45 A suurempi, kuin L2-vaiheella (taulukko 24).

TAULUKKO 24. SKB:n mitatut virrat

Suure		Tunnus	Mitatut arvot			
			L1	L2	L3	N
Virta	max	A, max	952,5	921,8	923,3	102,9
	min	A, min	543,8	494,7	503,6	78,2
	keskiarvo	A	682,1	636,2	648,6	89,6

Mittausjakson aikana virran epäsymmetria oli maksimissaan reilun 6 % ja keskiarvo on noin 3,4 % (taulukko 25). Suurin sallittu virran epäsymmetria suositus on ± 10 % vaiheiden kesken. Tämä tarkoittaa, että kunkin vaiheen virta saisi poiketa enintään 10 % vaihevirtojen keskiarvosta. Mitatuissa arvoissa jäädään alle suosituksen, kuitenkin epäsymmetriaa oli havaittavissa.

TAULUKKO 25. SKB:n virran epäsymmetria

Virran epäsymmetria	max	An %, max	6,16
	min	An %, min	1,58
	keskiarvo	An %	3,39
	5 % prosenttipiste		1,99
	95 % prosenttipiste		4,96

Virtasäro mittausjakson aikana oli korkeimmillaan vajaa 25 % mikä ylittää 5 % suositeltavan raja-arvon joka on 20 %. Keskiarvoltaan virtasäro ylittyy myös sallitun rajan L2-vaiheella, mutta ylitys oli todella pieni (taulukko 26).

TAULUKKO 26. SKB:n virtasäro

Suure	Tunnus	Mitatut arvot			Standardi raja-arvo	
		L1	L2	L3		
Virtasäro	max %	THD A, max	23,69	24,92	24,22	20 %
	min %	THD A, min	11,79	14,33	13,27	
	keskiarvo %	THD A	18,17	20,01	18,85	
	5 % prosenttipiste		14,34	16,52	15,24	
	95 % prosenttipiste		22,22	23,38	22,39	

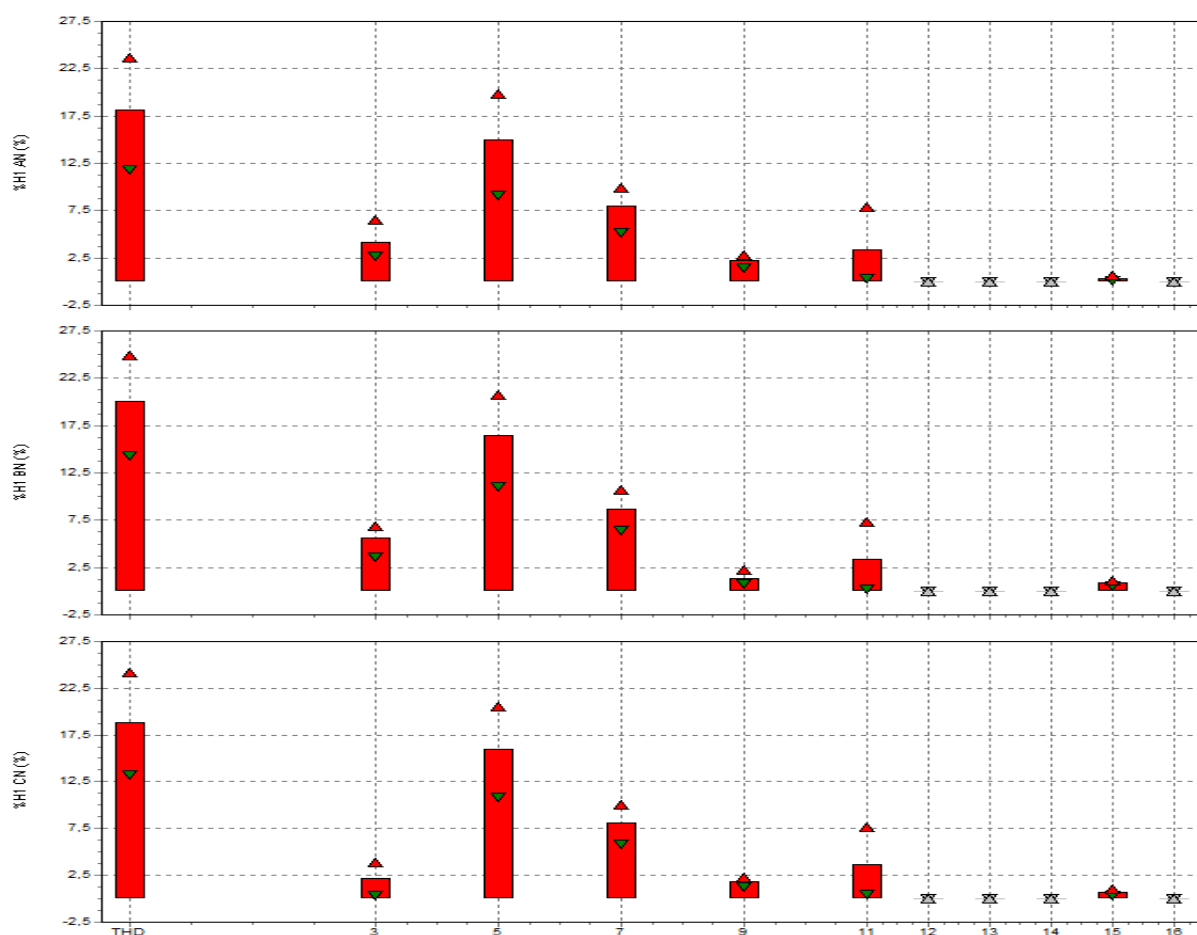
Harmoniset virtayliaallot ylittyvät etenkin 5:llä ja 11:llä yliaalloilla. Viidennellä yliaallolla ylitystä oli noin 5 % maksimiarvoissa ja keskiarvotkin ylittyvät kahdella vaiheella noin 2 % sallitun.

11:sta virranyliaalto ylittyi maksimiarvoilla sallitun vajaan prosentilla. Muut virtayliaallot pysyvät sallituissa rajoissa (taulukko 27). Kaikki arvot jotka ylittivät raja-arvot näkyvät taulukossa punaisella.

TAULUKKO 27. SKB:n virtayliaallot prosentteina perustaajuisesta virrasta

Suure	Tunnus	Mitatut arvot			Sallittu raja-arvo 100 < 1000 A	
		L1	L2	L3		
Virtayliaallot						
H3	max	H3 %, max	6,52	6,85	3,85	15 %
	min	H3 %, min	2,73	3,55	0,36	
	keskiarvo	H3 %	4,19	5,57	2,15	
H5	max	H5 %, max	19,78	20,73	20,58	15 %
	min	H5 %, min	9,15	11,08	10,86	
	keskiarvo	H5 %	14,96	16,39	15,94	
H7	max	H7 %, max	9,96	10,73	10,06	15 %
	min	H7 %, min	5,17	6,45	5,85	
	keskiarvo	H7 %	8	8,65	8	
H9	max	H9 %, max	2,85	2,2	2,27	15 %
	min	H9 %, min	1,49	0,79	1,3	
	keskiarvo	H9 %	2,23	1,3	1,79	
H11	max	H11 %, max	7,88	7,27	7,67	7 %
	min	H11 %, min	0,35	0,21	0,51	
	keskiarvo	H11 %	3,37	3,38	3,68	
H15	max	H15 %, max	0,65	1,15	1,02	7 %
	min	H15 %, min	0,07	0,52	0,33	
	keskiarvo	H15 %	0,33	0,83	0,65	

Kuviossa 4 näkyy pylväsdiagrammina harmoniset yliaaltovirrat prosentteina perustaajuisesta virrasta. Kuviosta näkee kuinka virranyliaallot jakautuvat tasan eri vaiheiden kesken. Suurin poikkeama on nähtävissä kolmannella virranyliaallolla, jossa L2-vaiheella suurin arvo oli noin 5 % ja L3 pienin noin 2,5 %. Vaiheiden välinen eroavaisuus johtuu ennen kaikkea yksivaihesuuntaajista. Kuviossa 4 näkyvä punainen kolmio kertoo yliaaltovirran maksimikohdan mittausjakson ajalta, vihreä kolmio ilmaisee vastaavasti minimikohdan. Lähemmin numeroarvoja pystyy tarkastelemaan taulukosta 27.



KUVIO 4. SKB:n virtayliaallot prosentteina perustaajuisesta virrasta

Mittausjakson aikana SKB-keskuksesta saatujen tehojen tilanne oli mitä ihanteellisim, koska pätö- ja näennäisteho olivat lähes yhtä suuret ja loistehon osuus jäi pieneksi. Mittaustuloksista voi päätellä loistehon kompensoinnin olevan kunnossa ja oikein mitoitettu (taulukko 28). Pätötehon keskiarvoja tarkasteltaessa L1 otti noin 12 kW enempi tehoja kuin L2, kun taas verta vaiheita L1 ja L3 niin eroa on vajaa 8 kW. L2:n ja L3 välillä tehoeroa on vajaa 5 kW. Kuormien jakaminen L1:ltä L2:lle parantaisi tehojen tasapainoa. Keskustilaan on sijoitettu estokelaparistollinen kompensointi, joka on tehollaan 300 kvar.

TAULUKKO 28. SKB:n mitatut tehot

Suure		Tunnus	Mitatut arvot			
			L1	L2	L3	Total
Pätöteho	max	kW, max	222,2	213,0	217,5	652,7
	min	kW, min	129,0	115,7	119,2	363,9
	keskiarvo	kW	160,1	147,7	152,4	460,3
Loisteho	max	kvar, max	15,8	3,2	7,8	24,9
	min	kvar, min	-4,1	-17,2	-14,7	-34,6
	keskiarvo	kvar	6,2	-5,5	-4,1	-3,5
Näennäisteho	max	kVA, max	227,8	218,7	223,0	669,5
	min	kVA, min	130,4	11,9	121,3	369,9
	keskiarvo	kVA	163,2	151,3	155,7	470,4

Mittaustuloksien perusteella taajuuspoikkeamia ei ole havaittavissa ja arvot pysyvät standardiraja-arvojen sisällä (taulukko 29).

TAULUKKO 29. SKB:n taajuus

Taajuus	max	f, max	50,11
	min	f, min	49,88
	keskiarvo	f	50,01

Mittausjakson aikana tehokerroin pysyi lähellä ykköstä. Liitteessä 2 näkee, kuinka tehokertoimessa näkyy hetkellisiä piikkejä, Nämä hetkelliset tehokerroinpiikit ovat induktiivisia ja johtuvat moottorien käynnistysvirtapiikeistä.

TAULUKKO 30. SKB:n tehokerroin

Suure	Tunnus	Mitatut arvot				
		L1	L2	L3	Total	
Tehokerroin	max	cosφ, max	0,99	0,99	0,99	0,99
	min	cosφ, min	0,97	0,97	0,97	0,97
	keskiarvo	cosφ	0,98	0,98	0,98	0,98

Tehokertoimen vertailua varten alla olevassa taulukossa 31 on mitatut arvot PF-tehokertoimesta. PF-tehokerroin sisältää myös harmoniset yliaallot. Eroavaisuuksia tehokertoimien välillä ei ole tai ne ovat hyvin pieniä eivätkä näy taulukkoarvoissa. Samat tai lähes samat tehokertoimet tarkoittavat, että verkko sisältää melko vähän yliaaltoja. Näiden mittausarvojen perusteella voidaan todeta, että mitatussa verkossa yliaaltosisältö on vähäistä.

TAULUKKO 31. PF tehokerroin, jossa mukana harmoniset yliaallot

Suure	Tunnus	Mitatut arvot				
		L1	L2	L3	Total	
PF	max	PF, max	0,99	0,99	0,99	0,99
	min	PF, min	0,97	0,97	0,97	0,97
	keskiarvo	PF	0,98	0,98	0,98	0,98

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Ponsse Oyj:n Vieremän tuotantotehtaan sähkönlaatu. Edellinen sähkönlaatumittaus tehtaalla oli suoritettu vuonna 2000 ja sen jälkeen tehdas on laajentunut useita kertoja, joten uudelle mittaukselle oli tarvetta. Mittausten avulla tutkittiin tuotantotehtaan verkon sähkönlaatu ja tulosten avulla kartoitettiin mahdolliset ongelmat. Opinnäytetyössä tutustuttiin laajasti sähkönlaadun teoriaan, mm. tutustuen standardeihin, kompensointiin ja sähkönlaatumittaukseen.

Sähkönlaatumittauksia tuotantotehtaalla tehtiin kaikilta pääkeskuksilta ja niiden jälkeisiltä nousukeskuksilta. Mittaukset suoritettiin Fluken 435 II -verkkoanalysointilaitteilla. Mittauksilla tutkittiin jännitteen ja virran ominaisuuksia ja niiden mahdollisia poikkeamia. Standardin raja-arvojen ylityksiä mittauksissa ilmeni virtasärössä ja virtayliaalloissa. Jännitteen laatu on hyvä jakeluverkkoyhtiön jäykän verkon vuoksi. Epäsymmetriaa kuormissa oli vähän ja niin kuin normaalisti ykkösvaihe oli eniten kuormitettu ja kakkosvaihe vähiten. Kuormien tasausta olisi kuitenkin syytä harkita, koska näin virtasäröä ja virranyliaaltoja olisi mahdollista saada pienennettyä lähemmäksi sallittuja arvoja. Kompensointi tehtaassa on hoidettu estokelapariistoilla ja sen teho on riittävä nykytilanteeseen. Mahdollisten virtayliaaltojen suodattamiseen voisi harkita imupiirien lisäystä. Lisäksi olisi syytä kiinnittää erityistä huomiota keskustilojen siisteyteen ja vapaaseen tilaan niiden edessä. Tällä hetkellä keskustilat sisältävät niihin kuulumatonta tavaraa, jotka lisäävät palokuormaa.

Tässä työssä keskityttiin vain kahteen pääkeskukseen ja niiden tulosten arviointiin. Lopuista keskuksista saadut mittaustulokset dokumentoitiin Ponssen omaan käyttöön jatkotoimia varten. Laajoilla sähkönlaatumittauksilla saatiin selvitettyä tehtaan verkon tilanne ja mahdolliset ongelmakohdat paikallistettua.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- ABB control Oy. (ei pvm). *Kolmannen yliaallon opas*. Haettu 23. maaliskuu 2017
- ABB TTT-käsikirja. (7 2000a.). *Loistehon kompensointi ja yliaaltosuojaus*. Noudettu osoitteesta
http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/09_0_Loistehon%20kompensointi%20ja%20yliaallot.pdf
- ABB TTT-käsikirja. (7 2000b.). *Sähkön laatu*. Haettu 2. maaliskuu 2017
- Alanen, R.;& Hätönen, H. (5 2006.). *Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta*. Haettu 3. maaliskuu 2017
 osoitteesta <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W52.pdf>
- Association, I. S. (2014). *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. (IEEE Standards Association) Haettu 22. maaliskuu 2017 osoitteesta
https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2587631/mod_resource/content/2/IEE%20Std%20519-2014.pdf
- Fluke. (2012.). *Fluge 435 II Käyttöohje*. Fluke Corporation. Haettu 20. maaliskuu 2017
- Korpinen, L.;Mikkola, M.;Keikko, T.;& Flack, E. (ei pvm). *Yliaalto-opus*. Haettu 13. maaliskuu 2017 osoitteesta
<http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/yliaalto-opus.pdf>
- Pikkarainen, M. (3 2010.). *Muuttuneista kuormituksista aiheutuvat sähkön laadun ongelmat sekä niiden arviointi ja mittaaminen*. (Tampereen teknillinen yliopisto) Haettu 15. 5 2017 osoitteesta
https://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dytyot/Pikkarainen_Marko_julk.pdf
- Ponsse. (ei pvm). *Ponsse.com*. Noudettu osoitteesta <http://www.ponsse.com/fi/ponsse>
- Savonia. (10. 1 2016.). *Sähkökäyttäjien yliaaltoanalyysi v1_3.docx*. Haettu 14. maaliskuu 2017 osoitteesta
 Sähkövoimatekniikan työt, Työohje.
- SFS-EN 50160. (12. 11 2010). *Suomen standardiliitto SFS*. (SESKO ry) Haettu 2. maaliskuu 2017
- Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. (2006.). *Yliaallot ja kompensointi*. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Haettu 2017
- Uusimäki, J.;& Lavi, J. (15. 12 2016.). *ST kortisto 52.15*. (Sähkötieto ry) Noudettu osoitteesta
<http://severi.sahkoinfo.fi.ezproxy.savonia.fi/item/537?search=52.15>
- Viitala, J. (15. 5 2006a.). *ST kortisto ST 52.50*. (Sähköinfo Oy) Haettu 2. maaliskuu 2017
- Viitala, J. (15. 5 2006b.). *Sähkön laatu. Vinokuormitus, nollajohdin ja transienttiyljännitteet*. (Sähköinfo Oy) Haettu 15. Maaliskuu 2017
- Viljanen, T. (3. 12 2009.). *Kompensointi kiinteistön sähköverkossa*. (Virtuaali ammattikorkeakoulu) Noudettu osoitteesta
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030503/1134045922435/1134046524532/1134046634756/1134046693839.html>

LIITE 1: SKA PÄÄKESKUKSEN MITTAUSTULOKSET

FLUKE ®		Filename SKA -- SD Card	Record Date/Time 12.4.2017 8:24:38	Page 1
Instrument Information				
Model Number	435-II			
Serial Number	29643107			
Firmware Revision	V05.02			
Software Information				
Power Log Version	5.2			
FLUKE 430-II DLL Version	1.2.0.12			
General Information				
Recording location				
Client				
Notes				

Measurement Summary

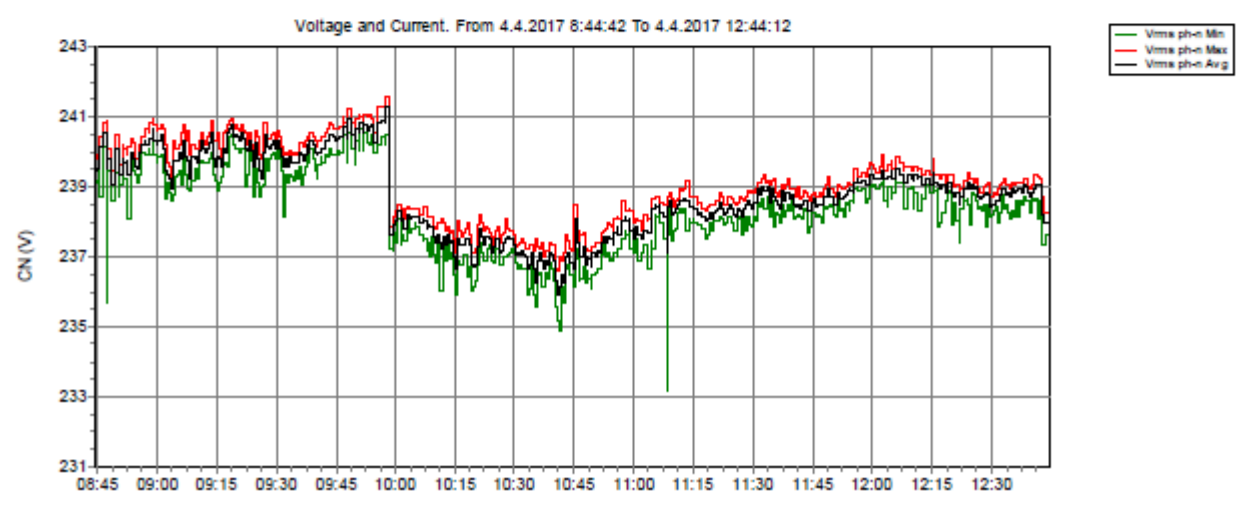
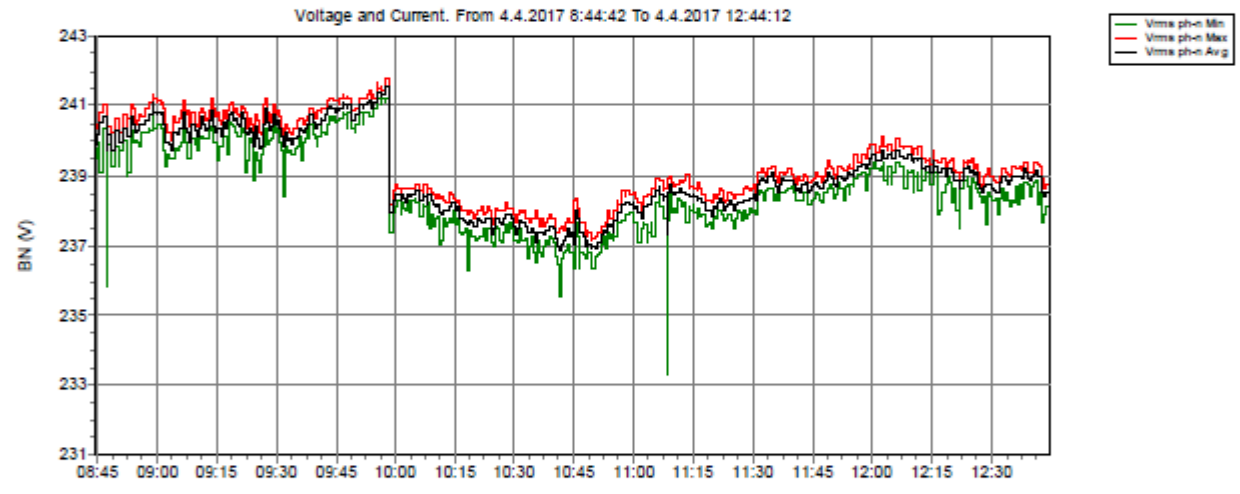
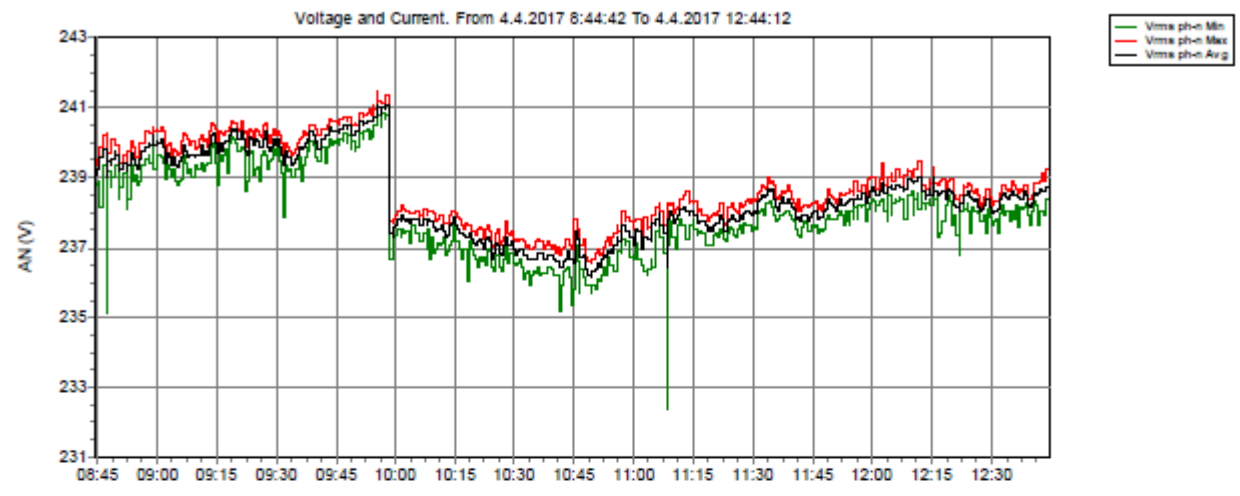
Measurement topology	Wye mode
Application mode	Logger
First recording	4.4.2017 8:44:42 377msec
Last recording	4.4.2017 12:44:12 377msec
Recording interval	0h 0m 30s 0msec
Nominal Voltage	230 V
Nominal Current	300 A
Nominal Frequency	50 Hz
File start time	4.4.2017 8:44:12 377msec
File end time	4.4.2017 12:44:12 377msec
Duration	0d 4h 0m 0s 0msec
Number of events	Normal: 0 Detailed: 0
Events downloaded	No
Number of screens	0
Screens downloaded	No
Power measurement method	Unified
Cable type	Copper
Harmonic scale	%H1
THD mode	THD 40
CosPhi / DPF mode	Cos Phi

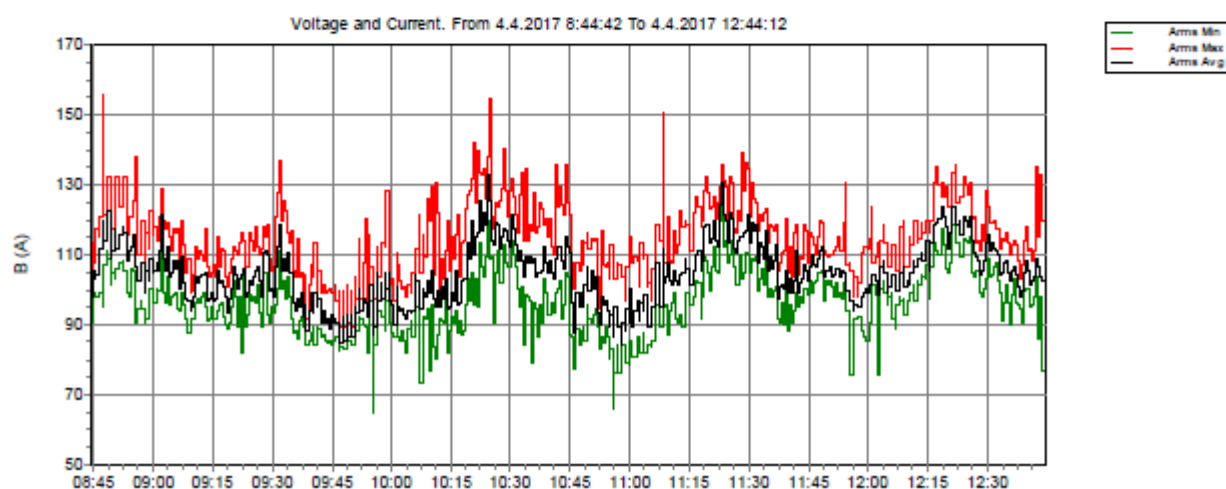
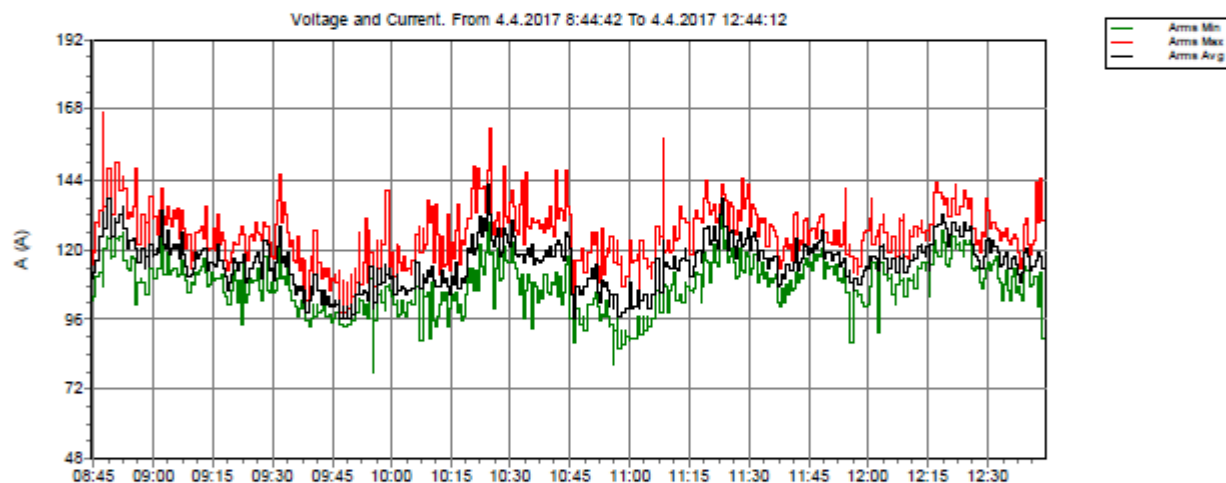
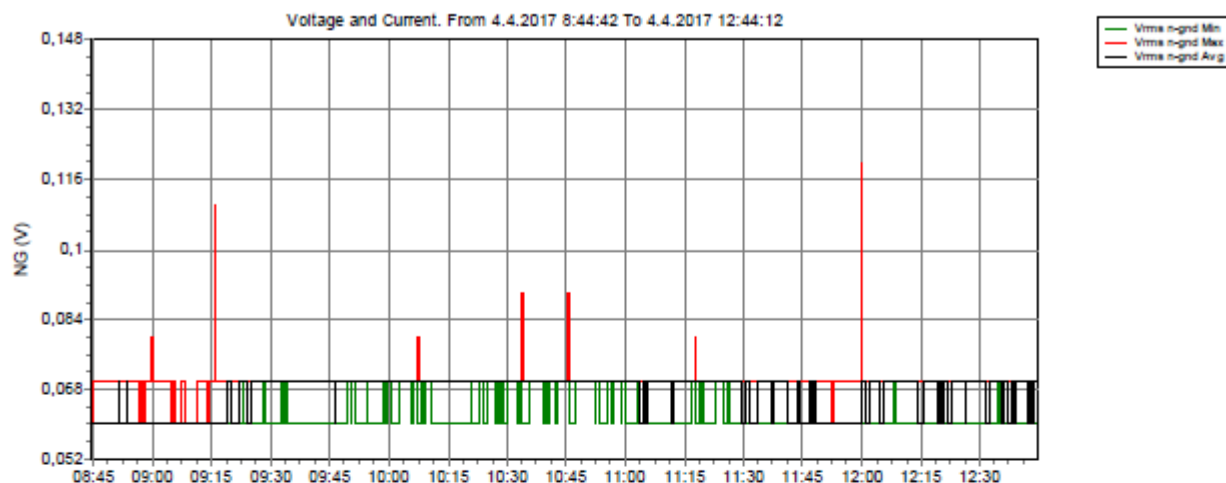
Scaling

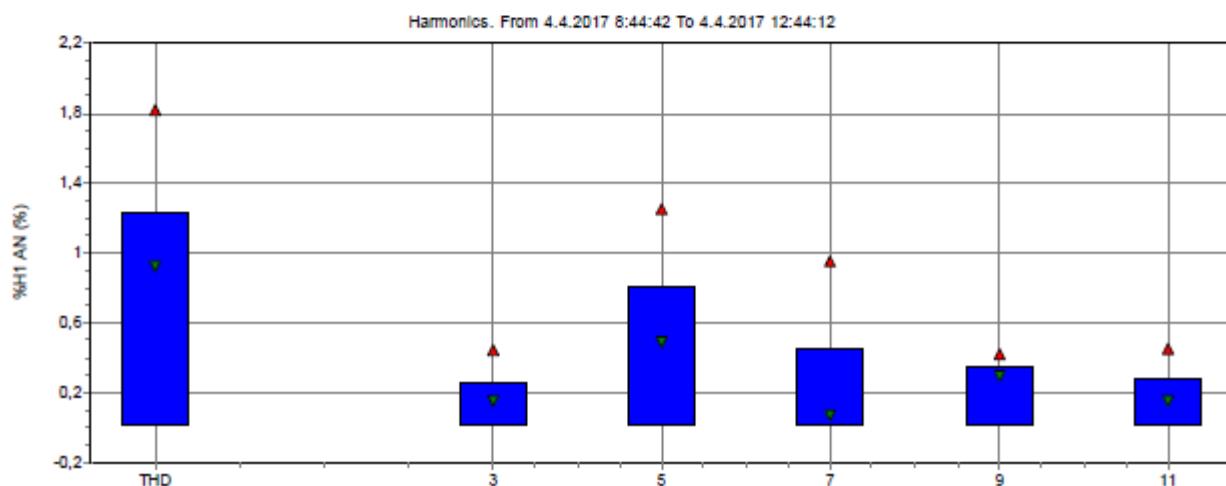
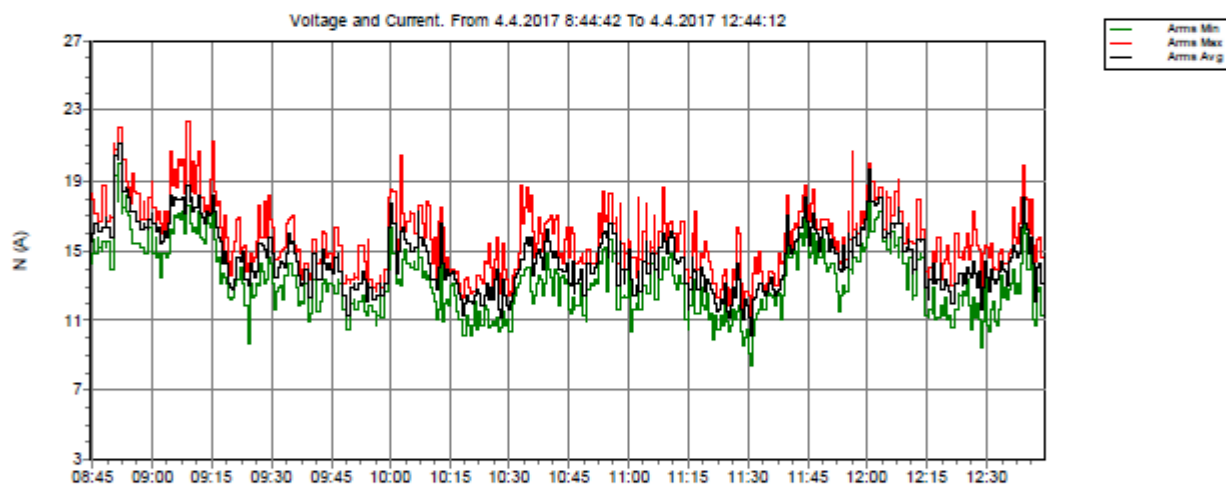
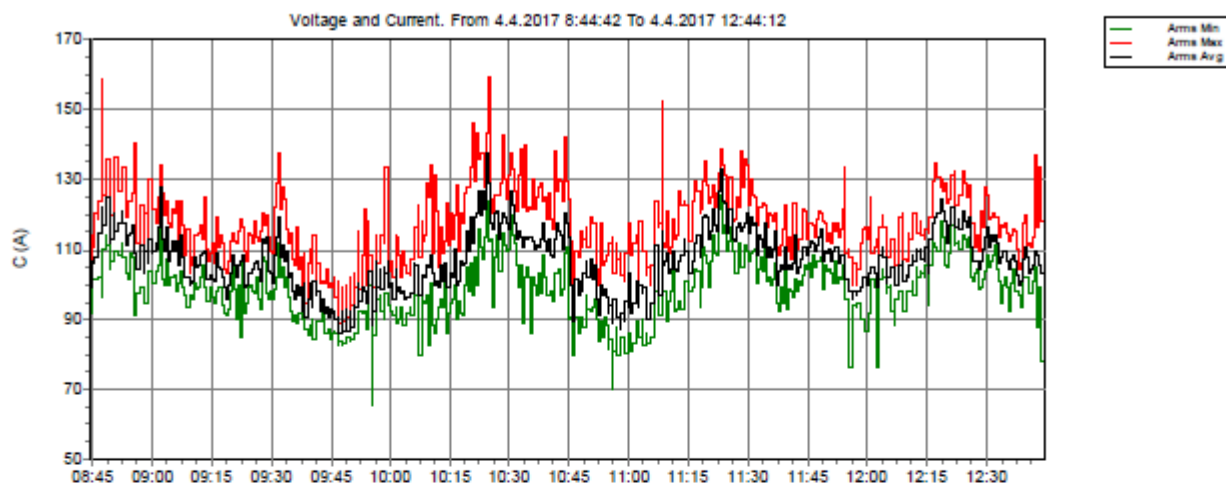
Phase:	
Current Clamp type	i430TF
Clamp range	N/A
Nominal range	300 A
Sensitivity	x10 AC only
Current ratio	1:1
Voltage ratio	1:1
Neutral:	
Current Clamp type	i430TF
Clamp range	N/A
Nominal range	300 A
Sensitivity	x10 AC only
Current ratio	1:1
Voltage ratio	1:1

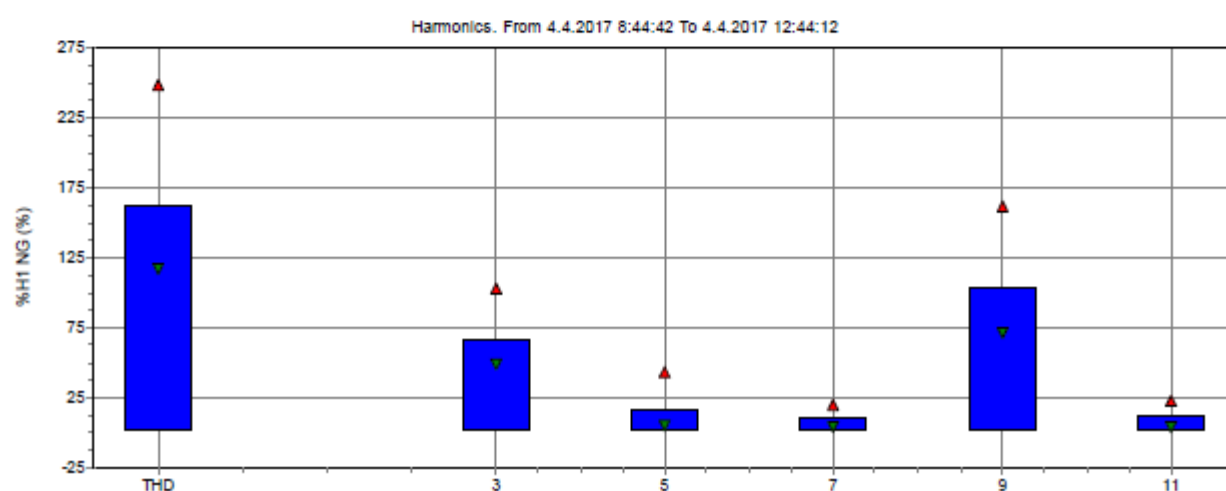
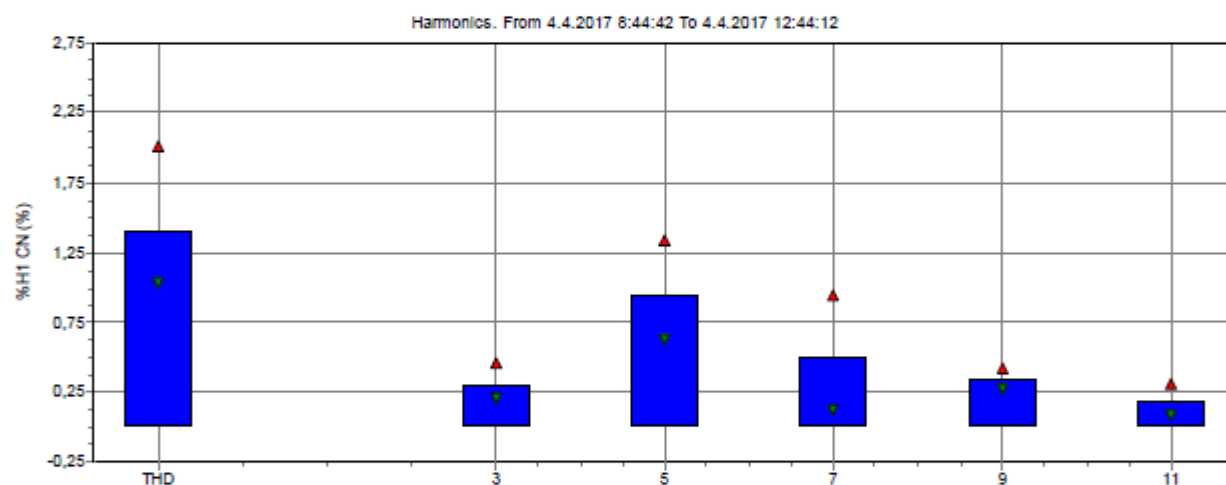
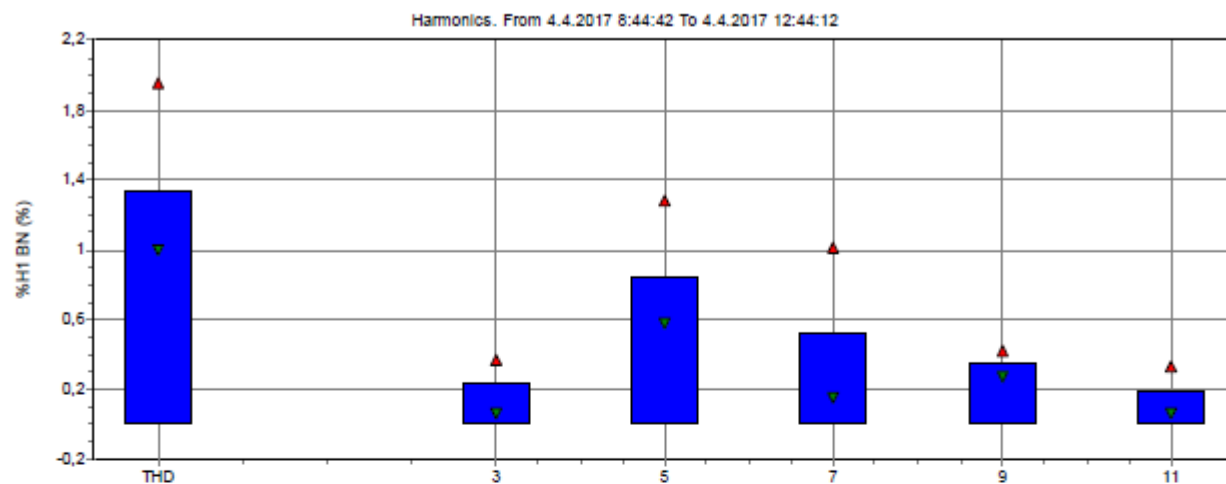
Recording Summary

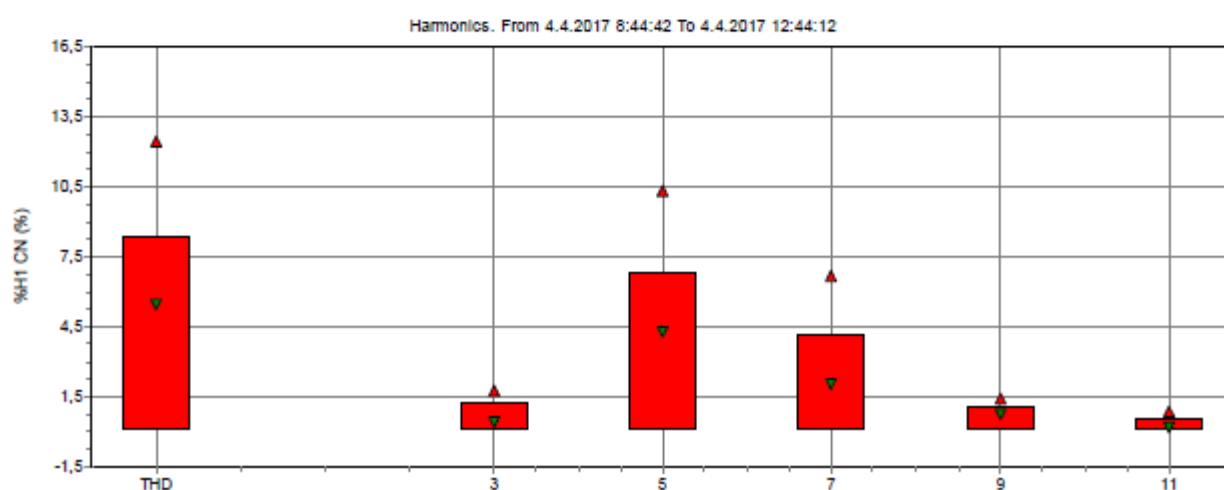
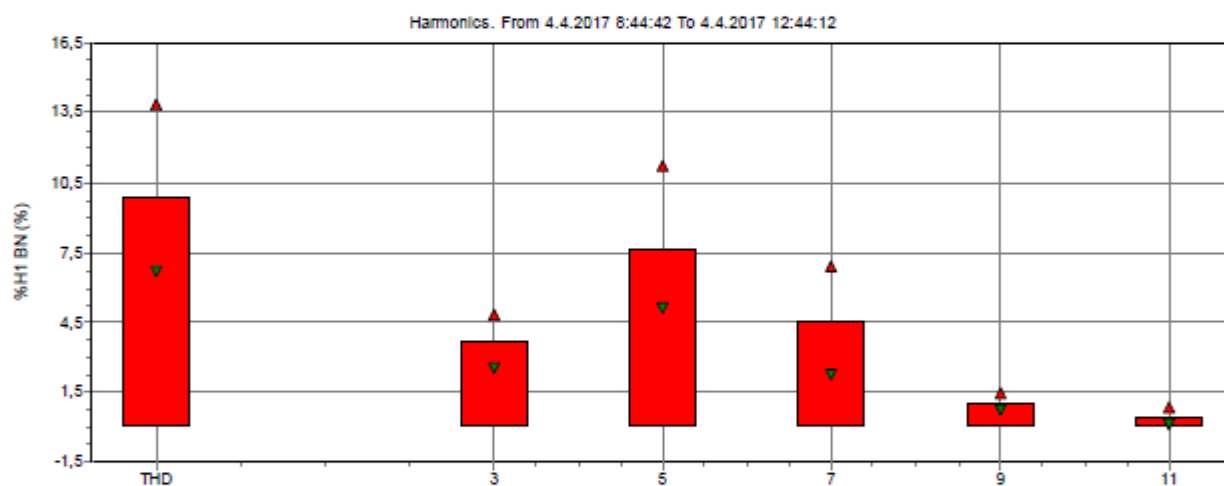
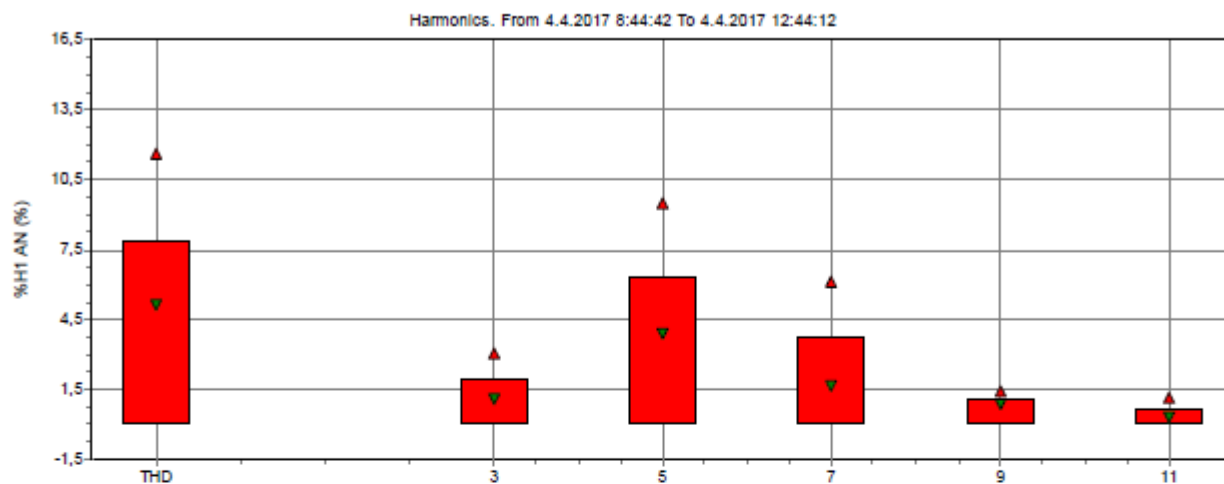
RMS recordings	480
DC recordings	0
Frequency recordings	480
Unbalance recordings	480
Harmonic recordings	480
Power harmonic recordings	0
Power recordings	480
Power unbalance recordings	0
Energy recordings	480
Energy losses recordings	0
Flicker recordings	0
Mains signaling recordings	0

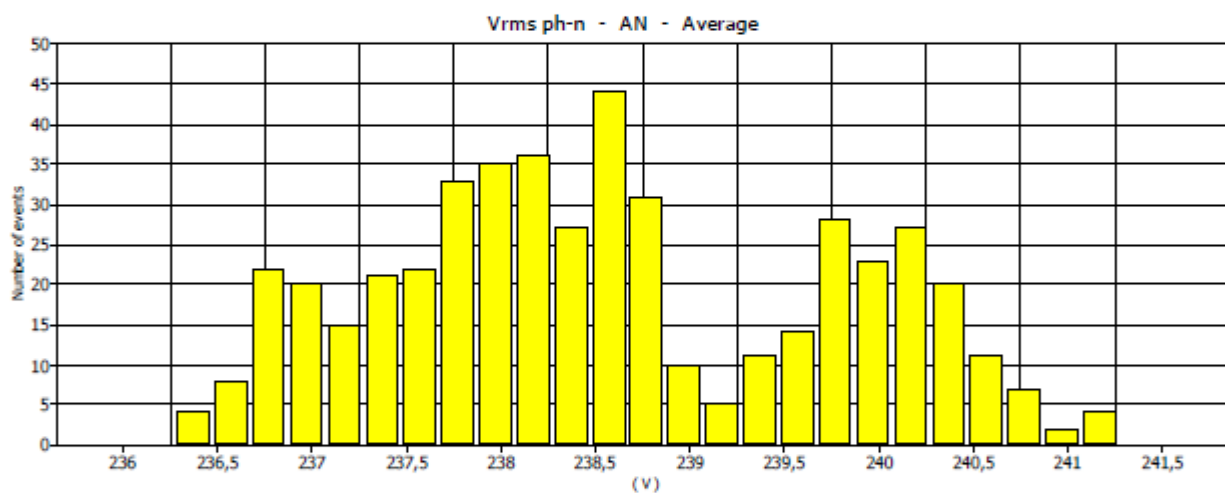
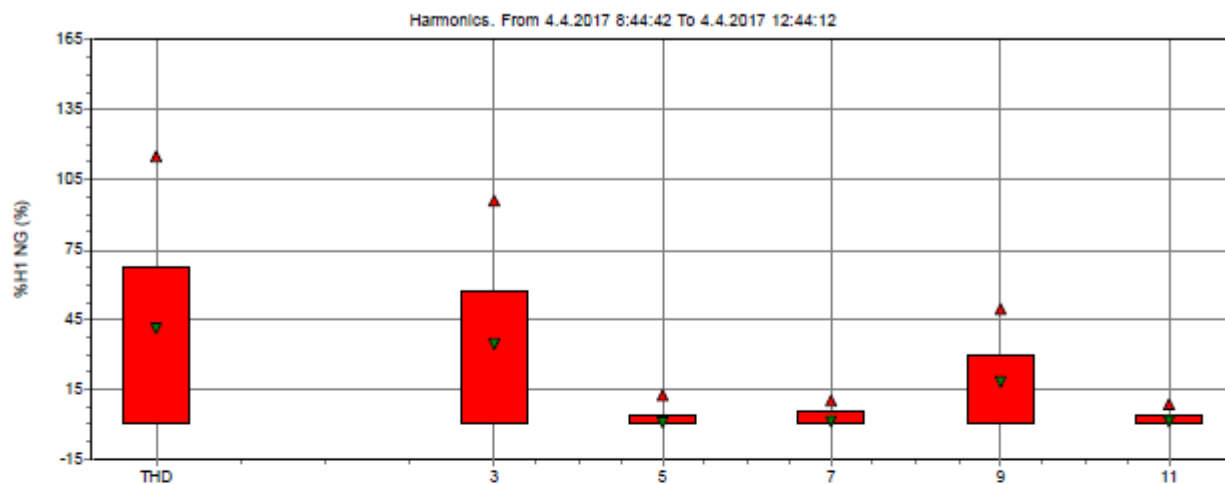


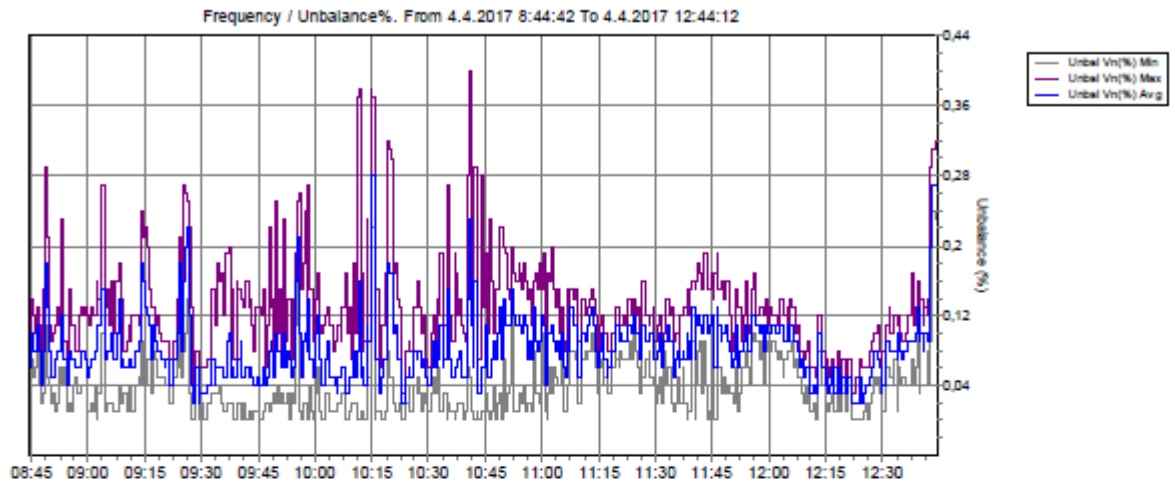


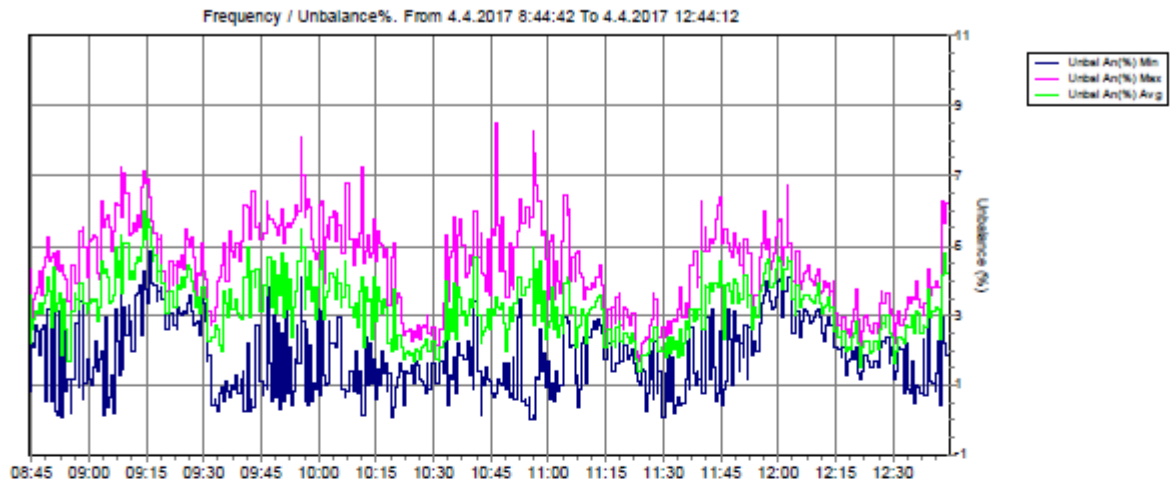


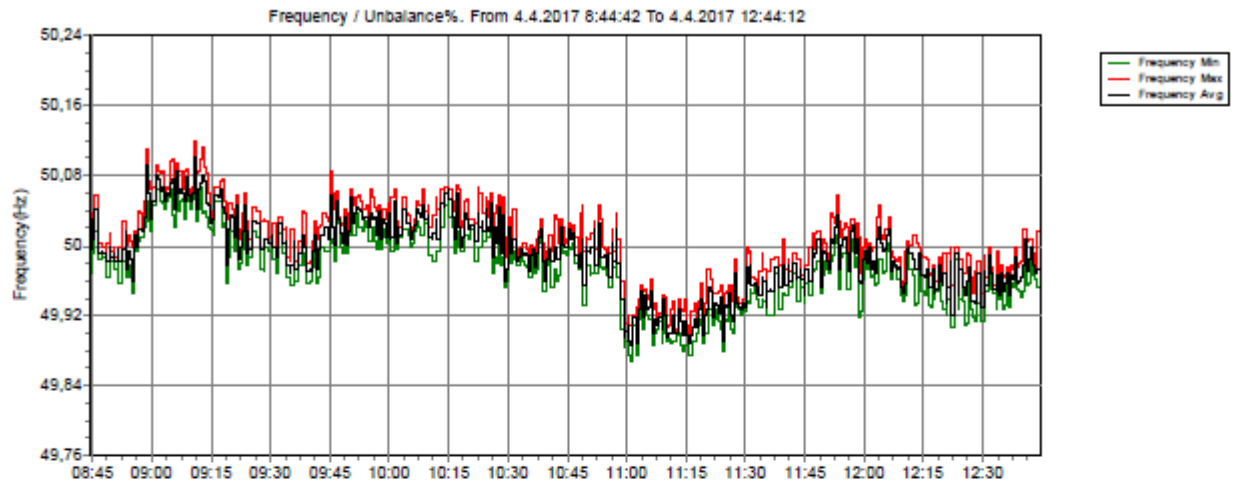






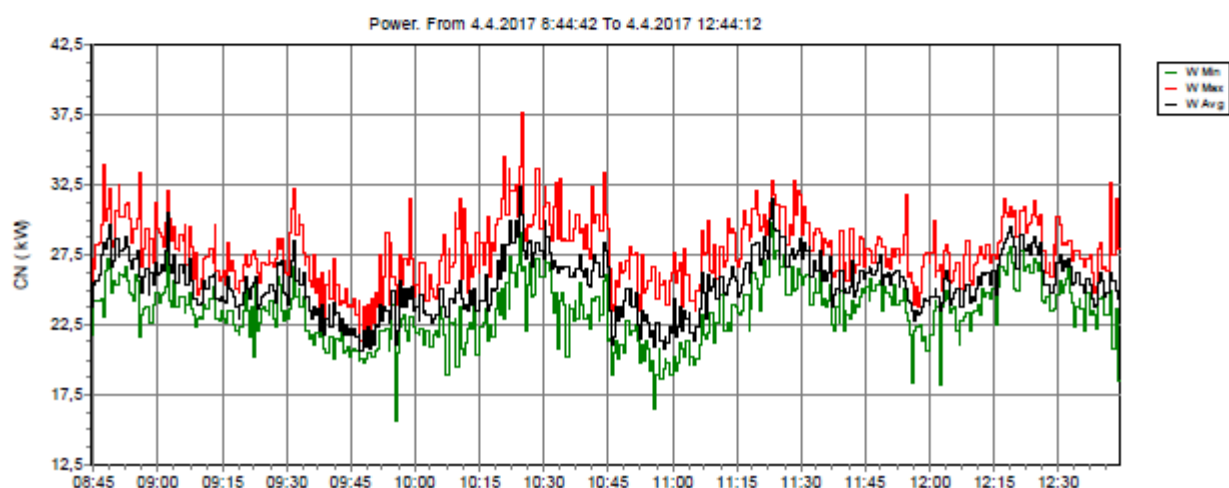
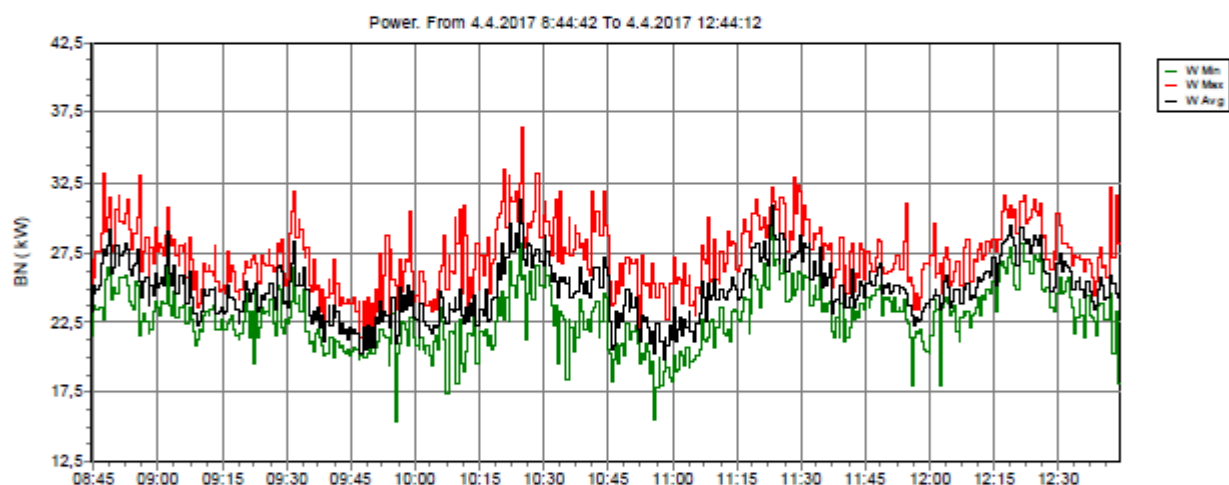
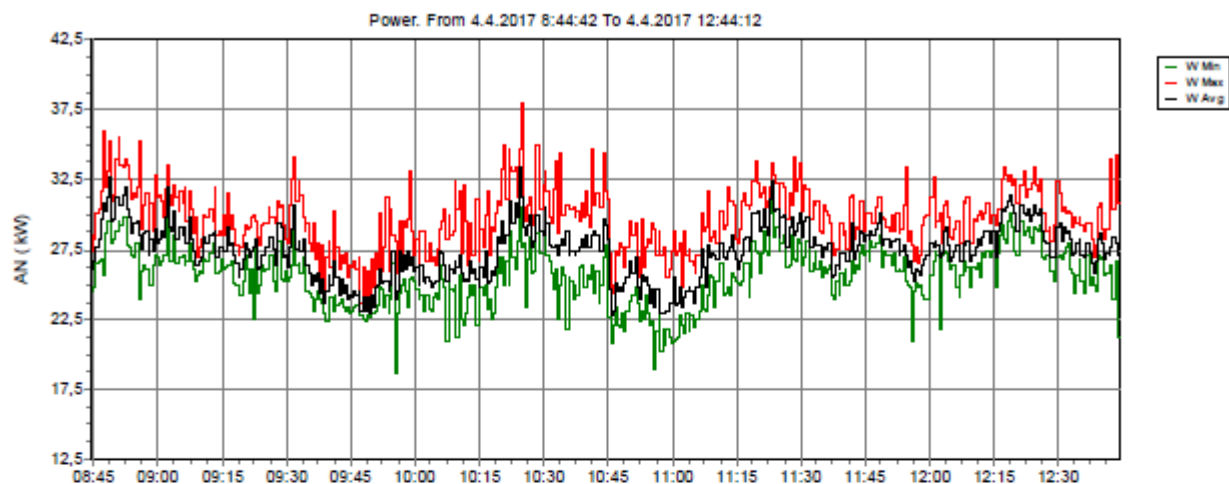


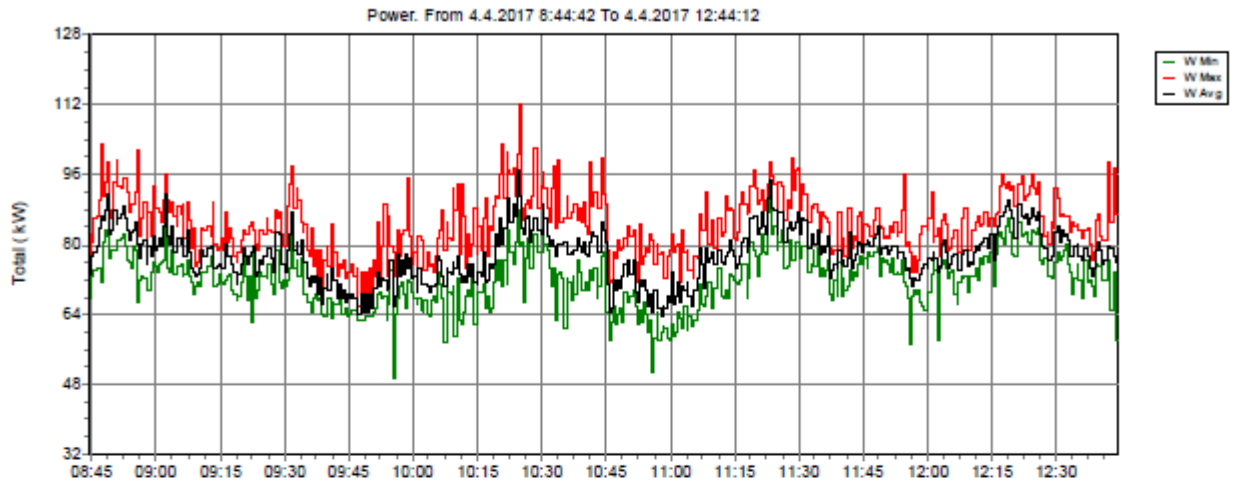


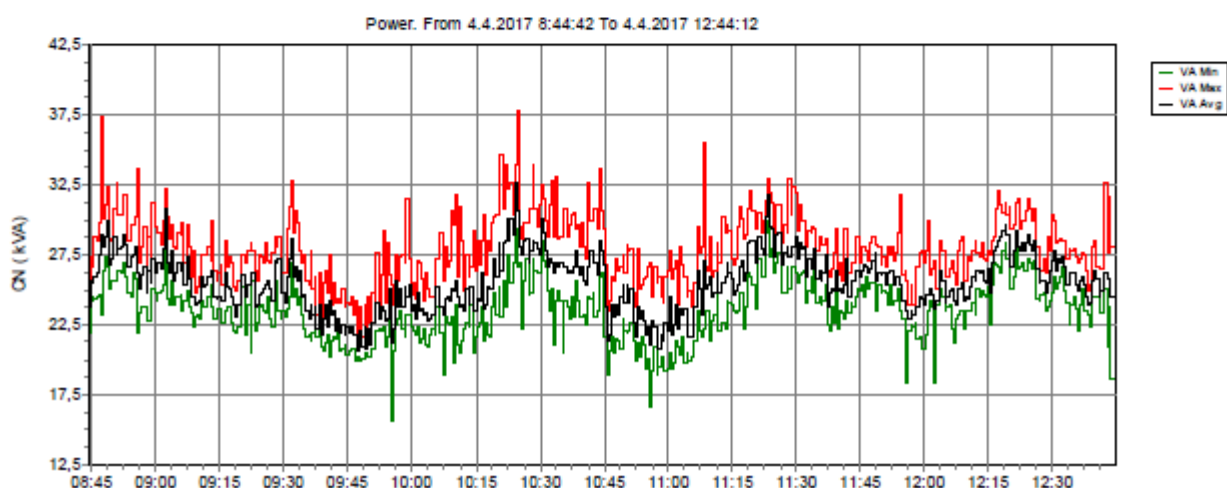
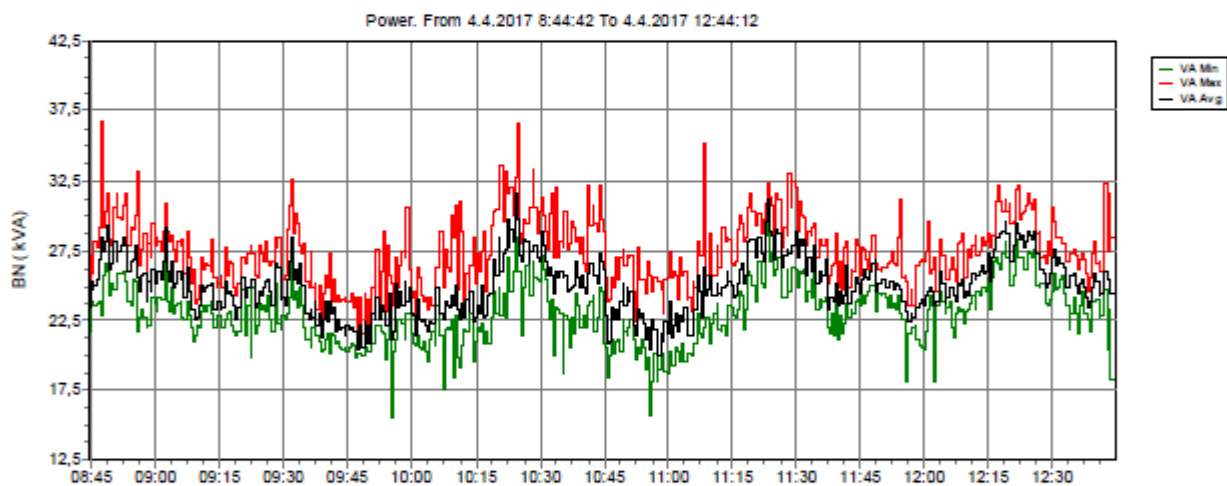
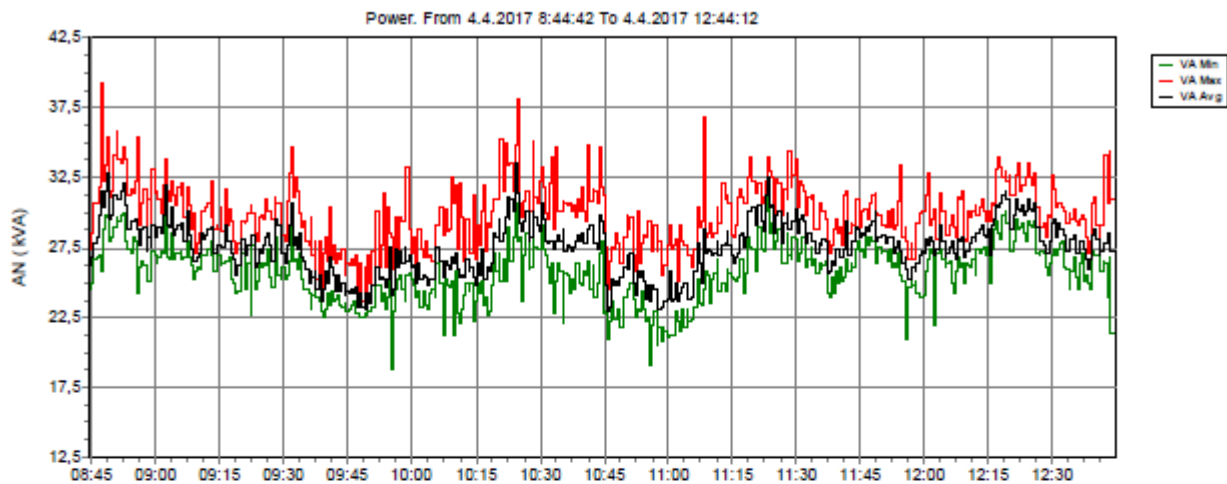


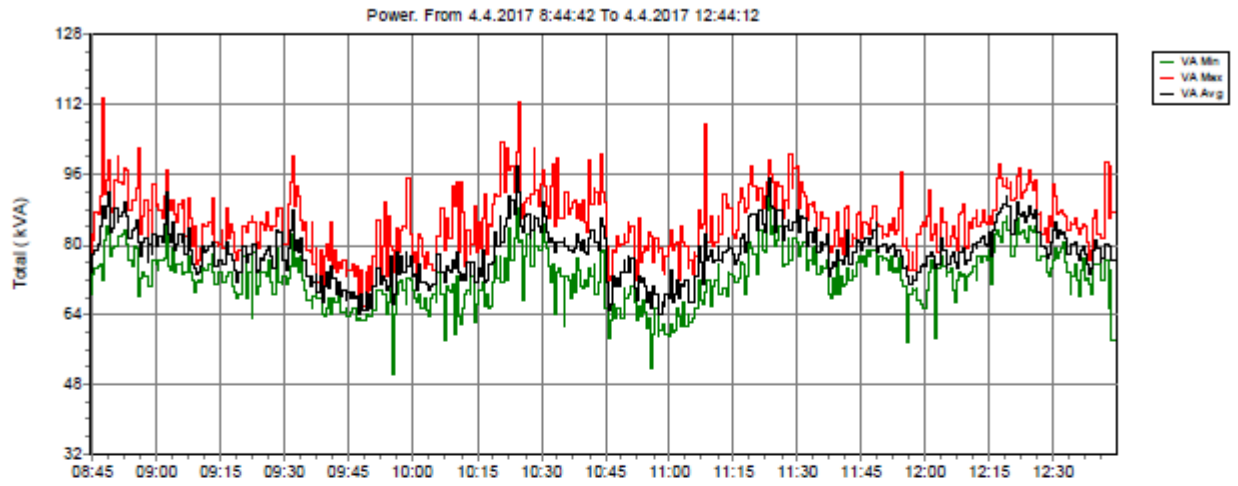
FLUKE®Filename
SKA -- SD CardRecord Date/Time
12.4.2017 8:34:08

Page 1



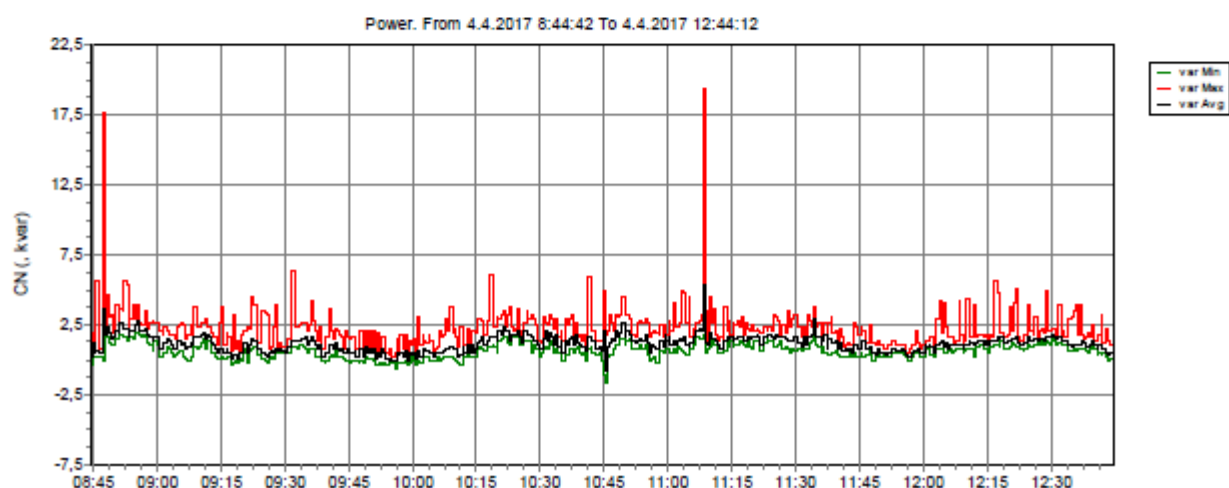
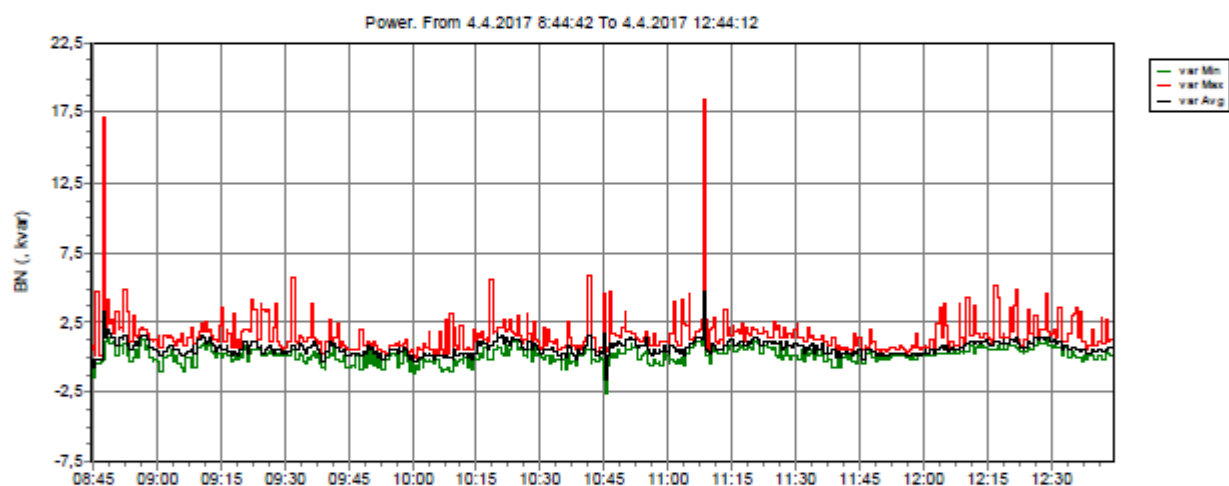
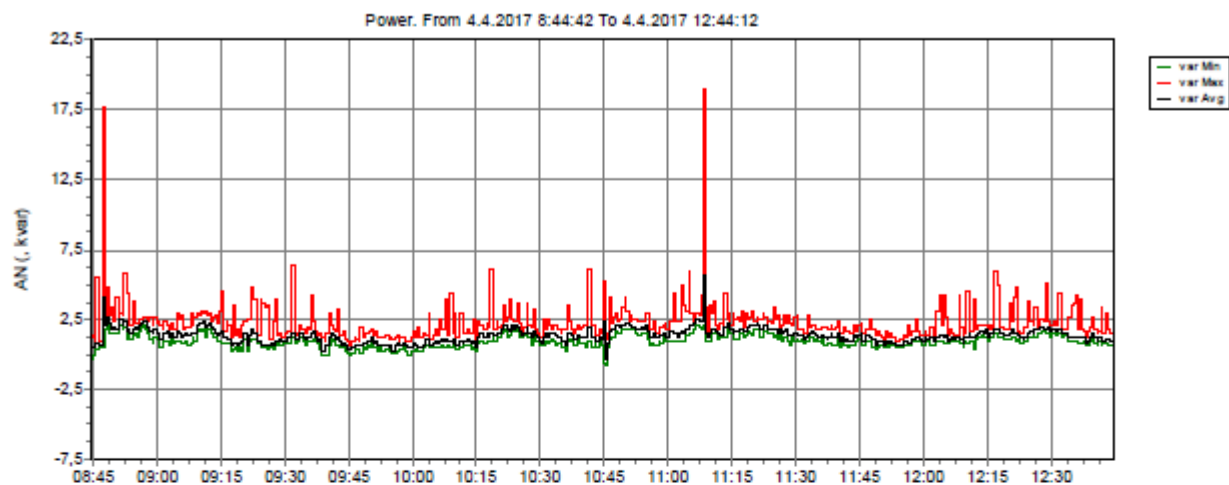


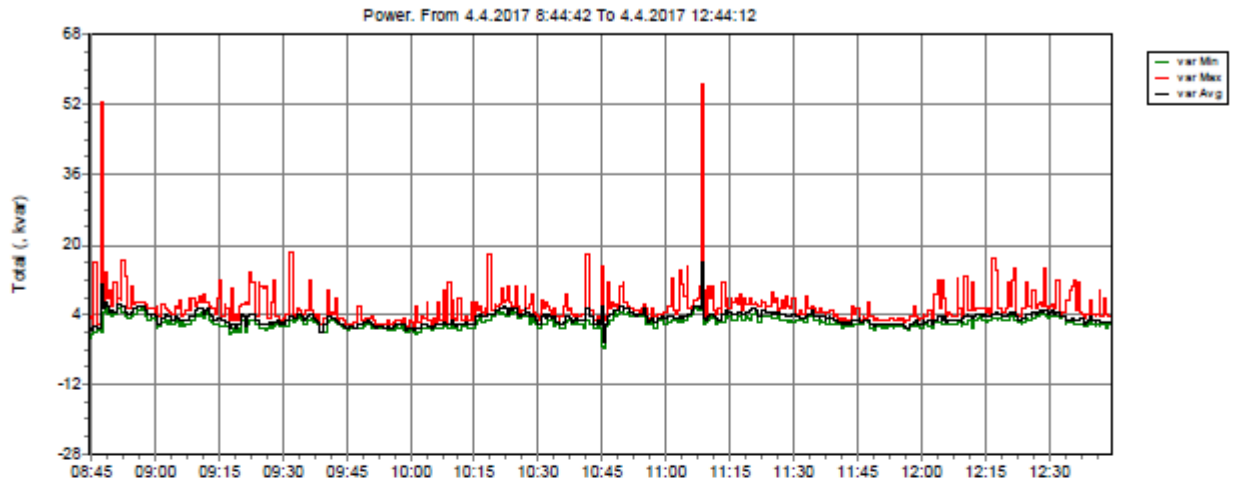




FLUKE®Filerna
SKA - SD CardRecord Date/Time
12.4.2017 8:36:19

Page 1





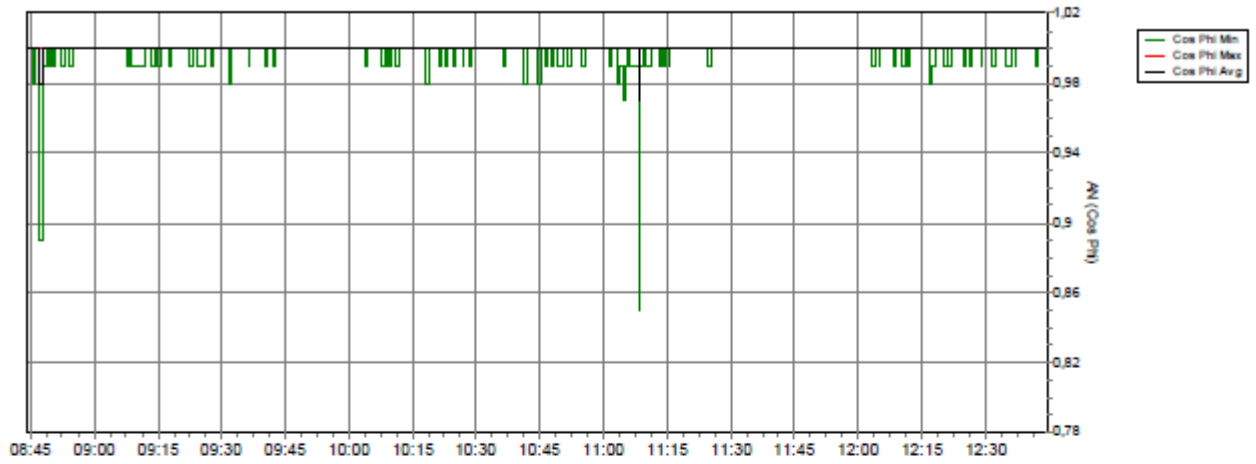


 File Name
 SKA - SD Card

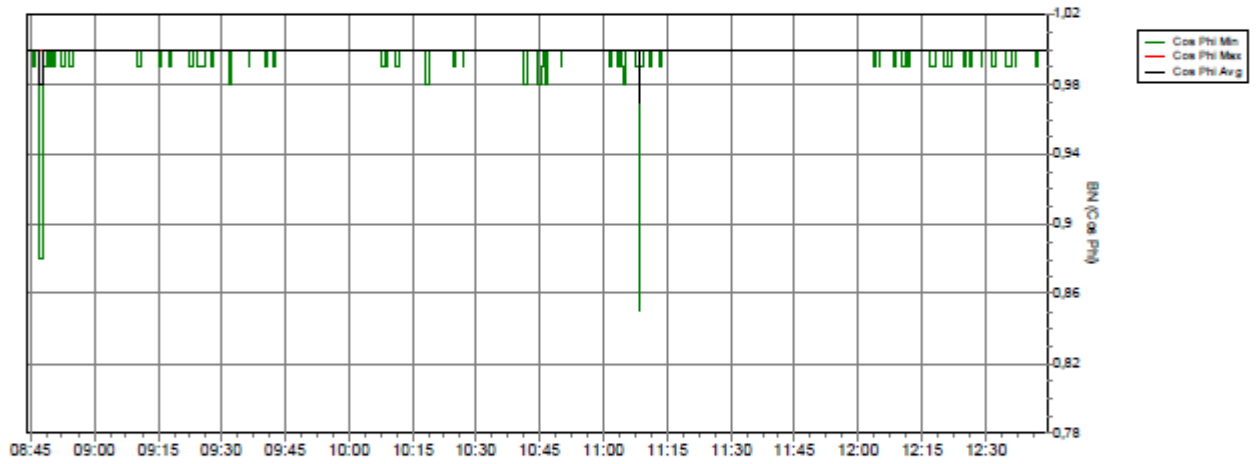
 Record Date/Time
 12.4.2017 8:38:57

Page 1

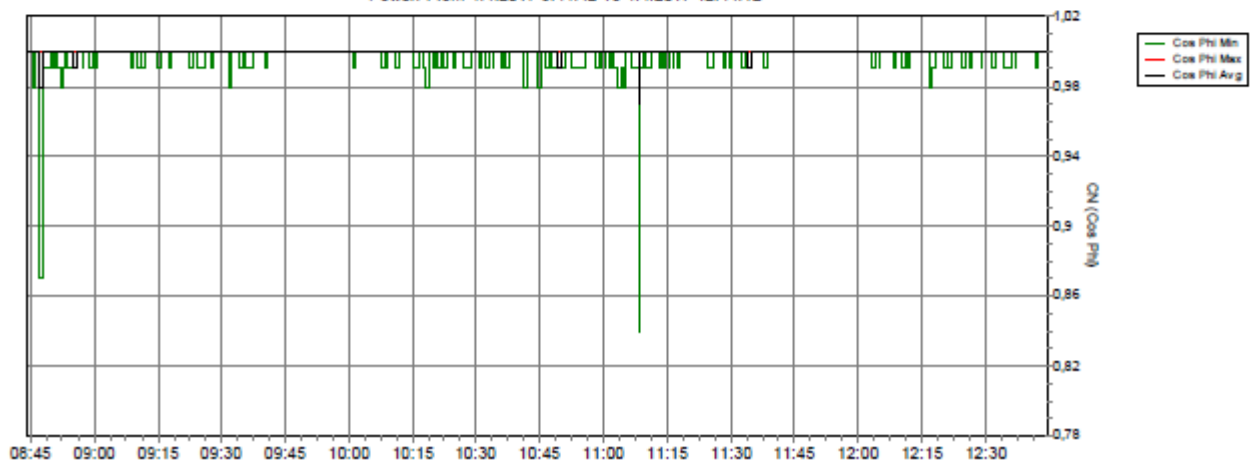
Power. From 4.4.2017 8:44:42 To 4.4.2017 12:44:12

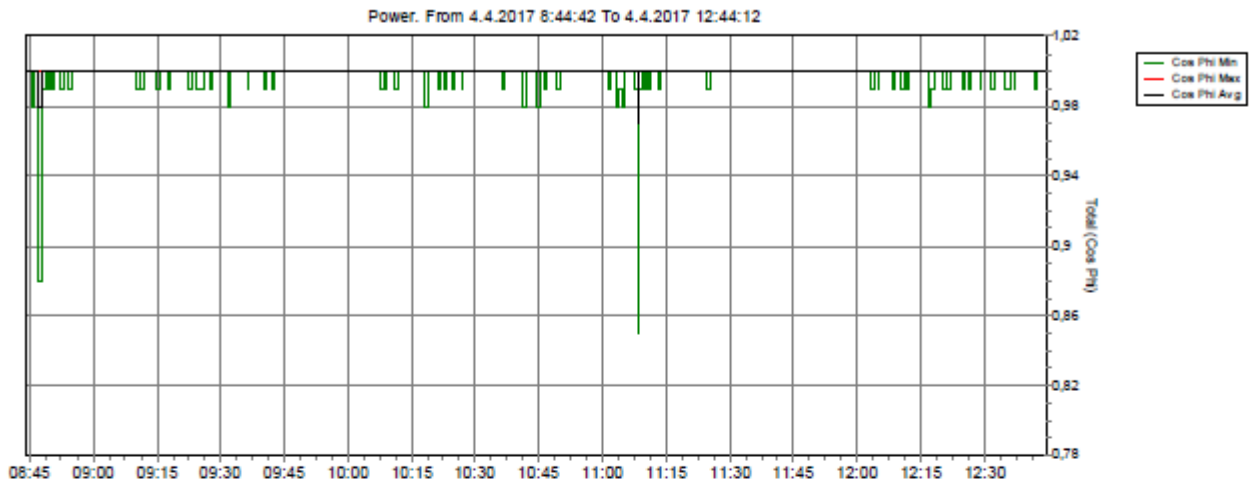


Power. From 4.4.2017 8:44:42 To 4.4.2017 12:44:12



Power. From 4.4.2017 8:44:42 To 4.4.2017 12:44:12



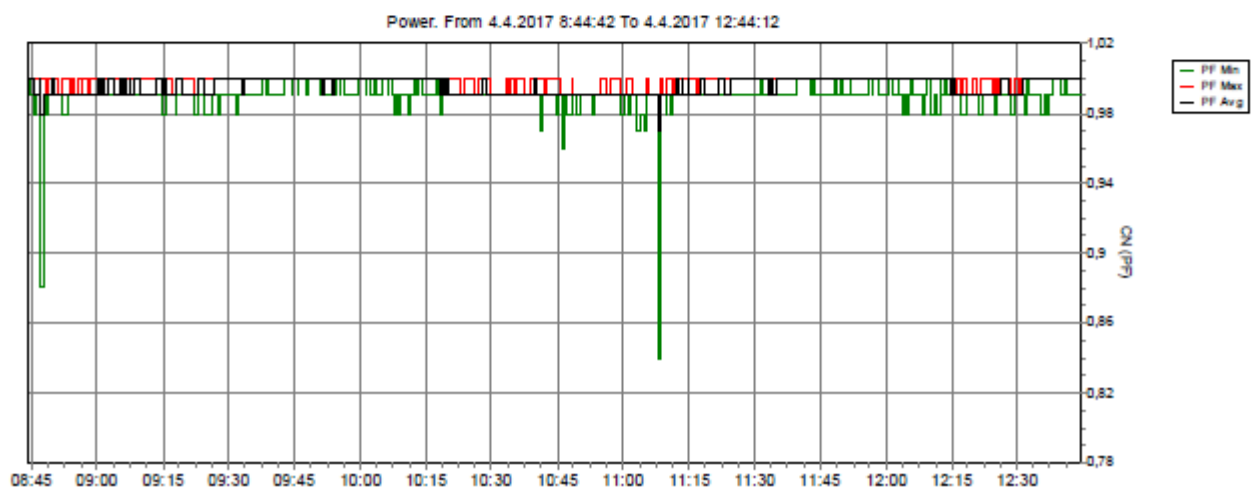
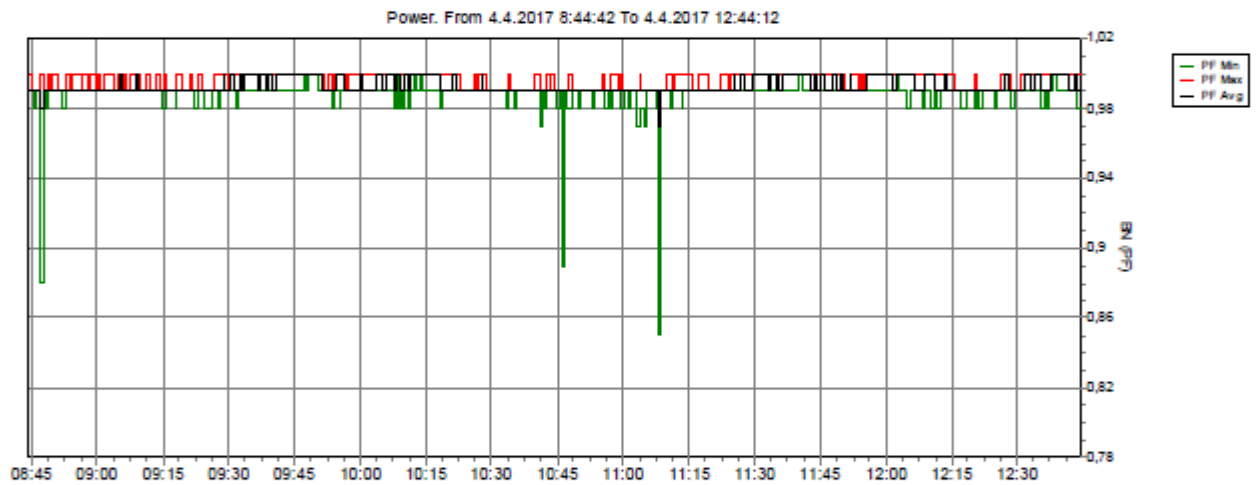
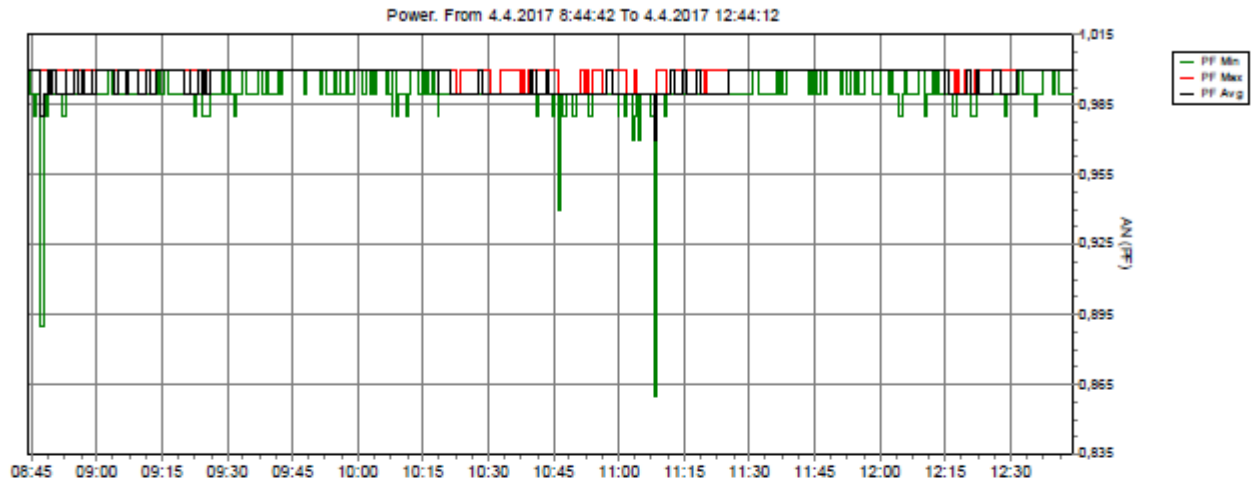


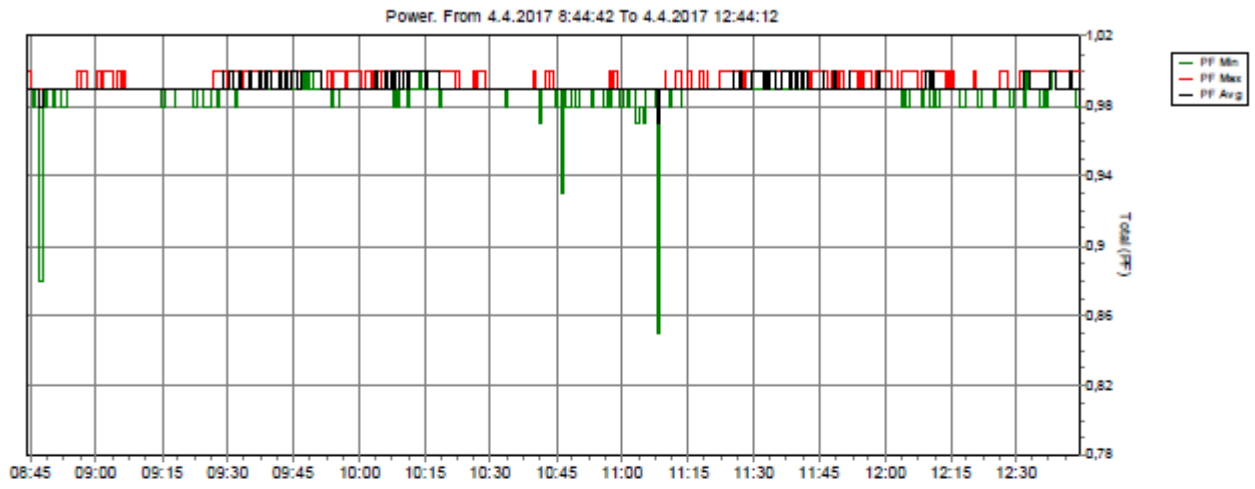


 File Name
 SKA - SD Card

 Record Date/Time
 12.4.2017 8:37:50

Page 1





LIITE 2: SKB PÄÄKESKUKSEN MITTAUSTULOKSET

FLUKE ®		Filename SKB -- SD Card	Report DateTime 11.4.2017 15:16:37	Page 1
Instrument Information				
Model Number	435-II			
Serial Number	29643107			
Firmware Revision	V05.02			
Software Information				
Power Log Version	5.2			
FLUKE 430-II DLL Version	1.2.0.12			
General Information				
Recording location				
Client				
Notes				

Measurement Summary

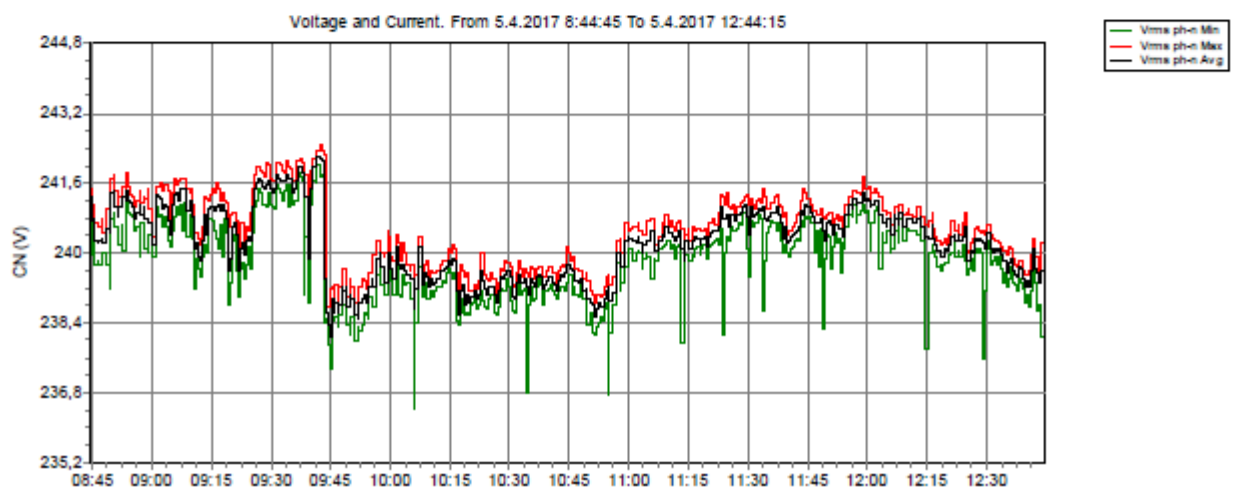
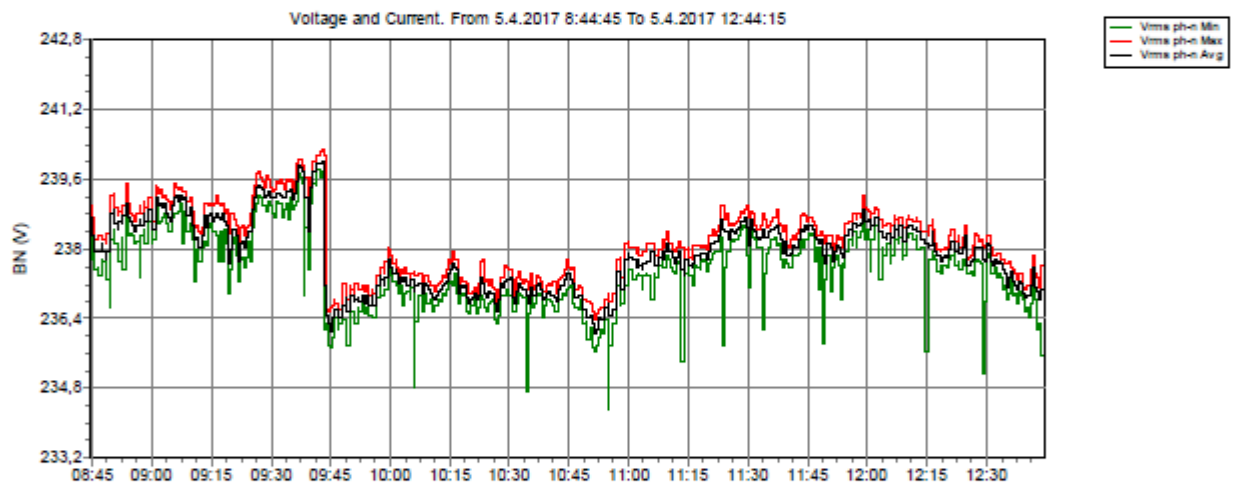
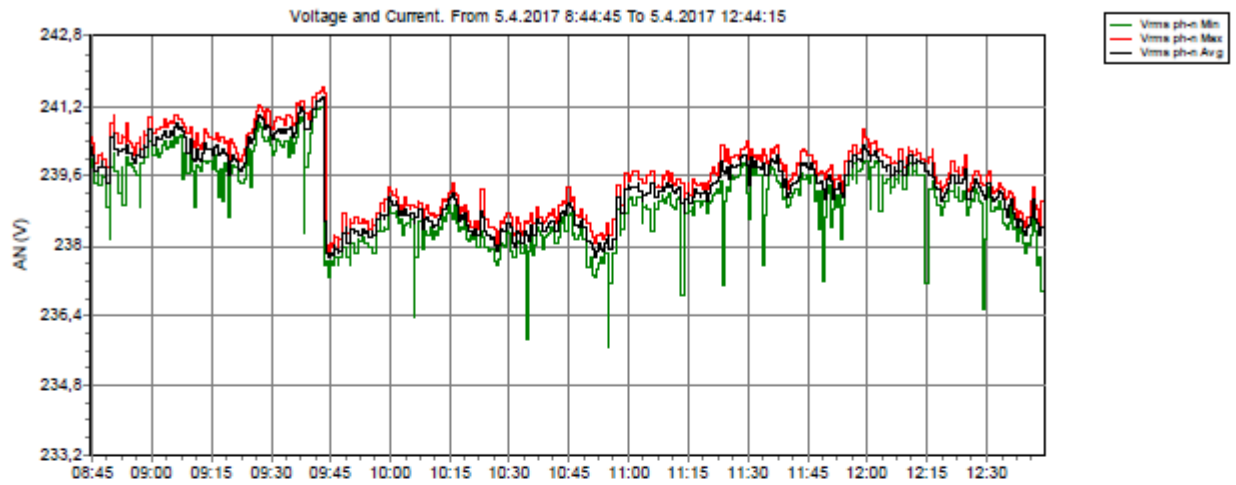
Measurement topology	Wye mode
Application mode	Logger
First recording	5.4.2017 8:44:45 656msec
Last recording	5.4.2017 12:44:15 656msec
Recording interval	0h 0m 30s 0msec
Nominal Voltage	230 V
Nominal Current	300 A
Nominal Frequency	50 Hz
File start time	5.4.2017 8:44:15 656msec
File end time	5.4.2017 12:44:15 656msec
Duration	0d 4h 0m 0s 0msec
Number of events	Normal: 0 Detailed: 0
Events downloaded	No
Number of screens	0
Screens downloaded	No
Power measurement method	Unified
Cable type	Copper
Harmonic scale	%H1
THD mode	THD 40
CosPhi / DPF mode	Cos Phi

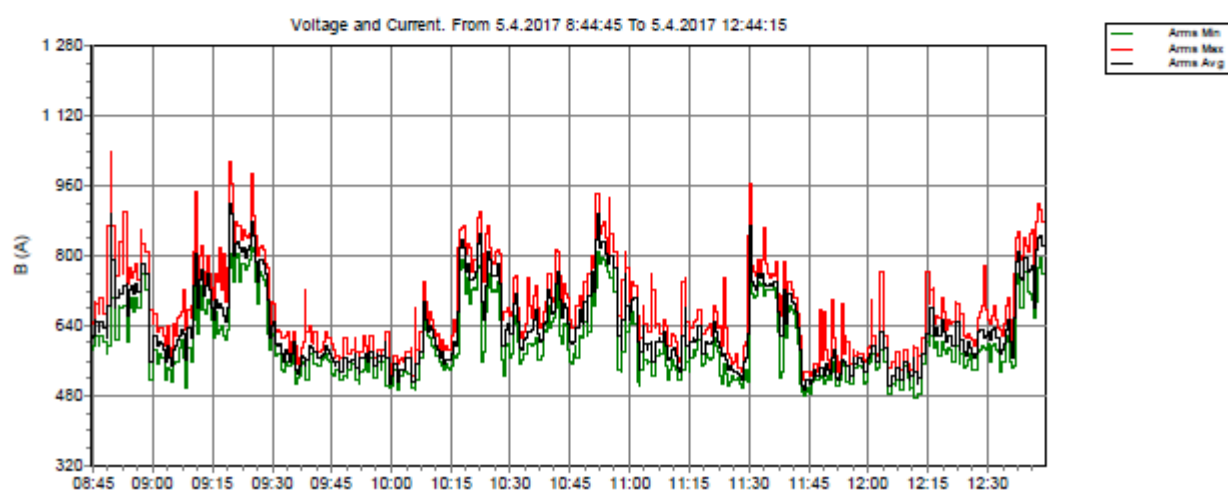
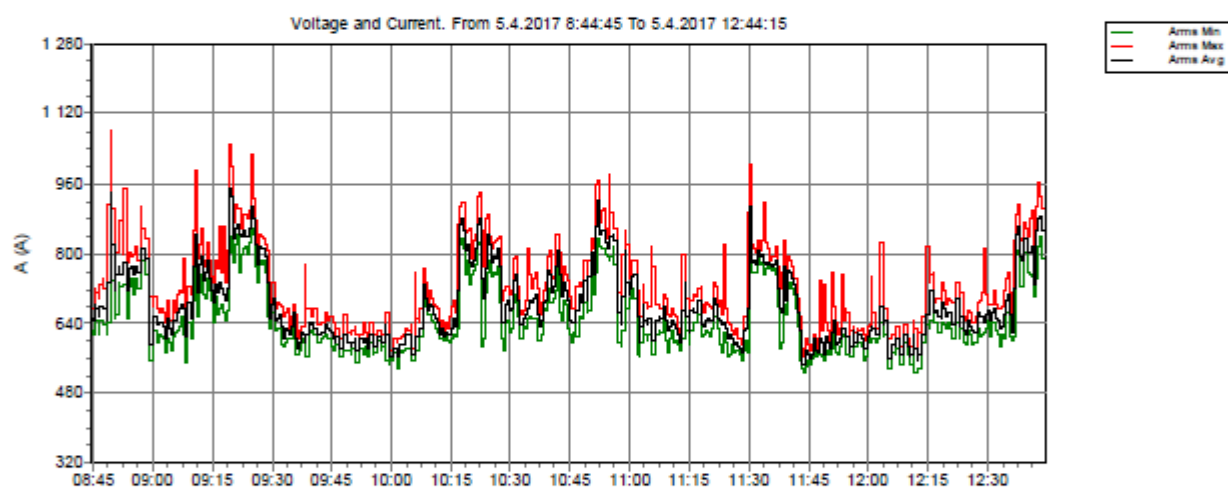
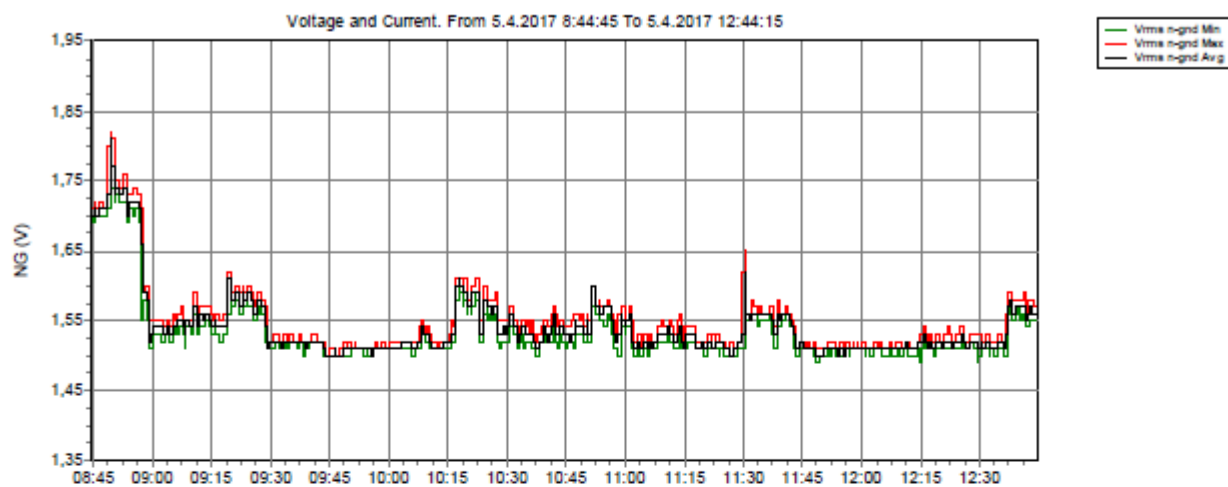
Scaling

Phase:	
Current Clamp type	i430TF
Clamp range	N/A
Nominal range	300 A
Sensitivity	x10 AC only
Current ratio	1:1
Voltage ratio	1:1
Neutral:	
Current Clamp type	i430TF
Clamp range	N/A
Nominal range	300 A
Sensitivity	x10 AC only
Current ratio	1:1
Voltage ratio	1:1

Recording Summary

RMS recordings	480
DC recordings	0
Frequency recordings	480
Unbalance recordings	480
Harmonic recordings	480
Power harmonic recordings	0
Power recordings	480
Power unbalance recordings	0
Energy recordings	480
Energy losses recordings	0
Flicker recordings	0
Mains signaling recordings	0

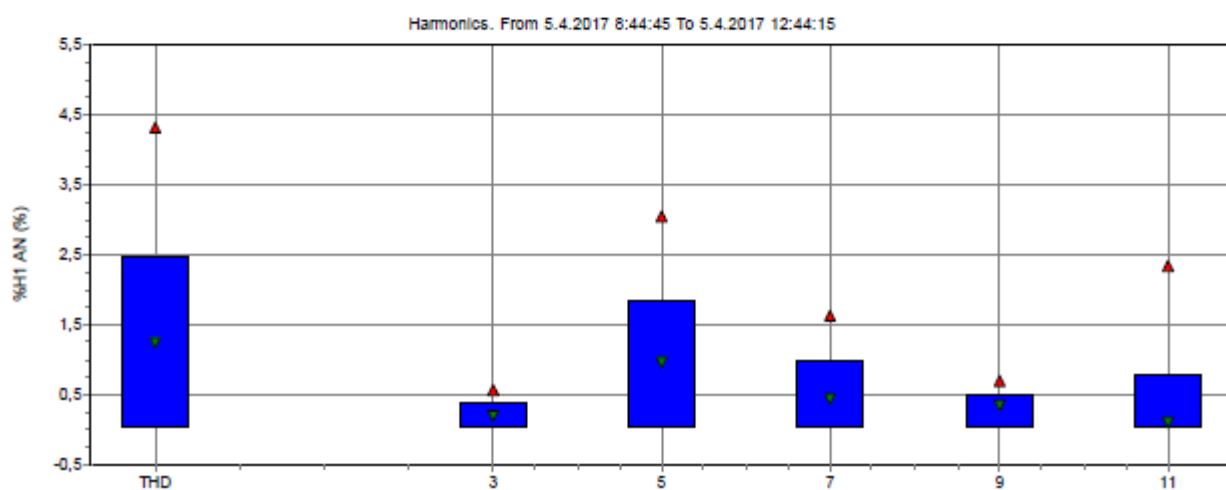
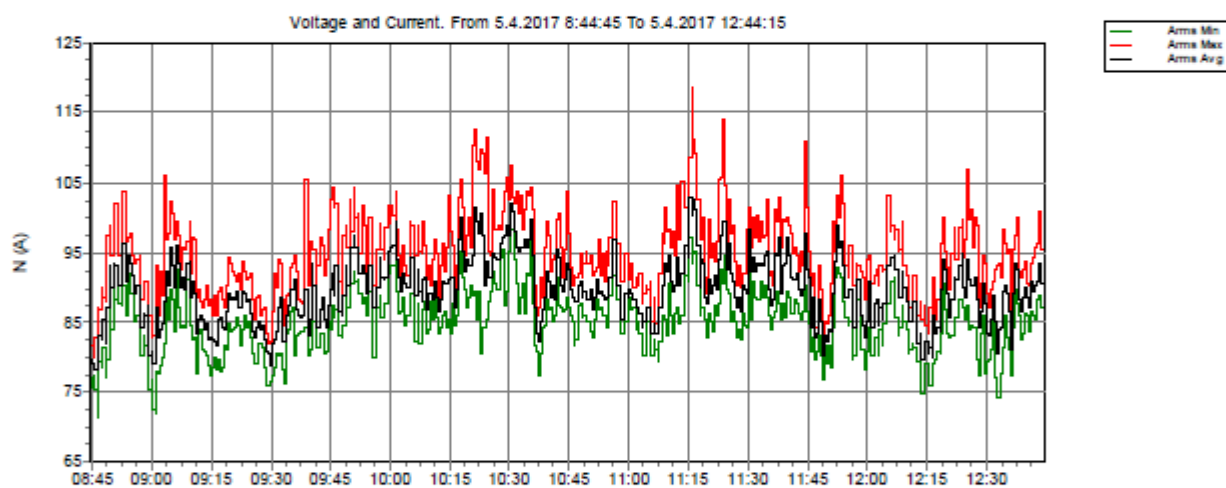
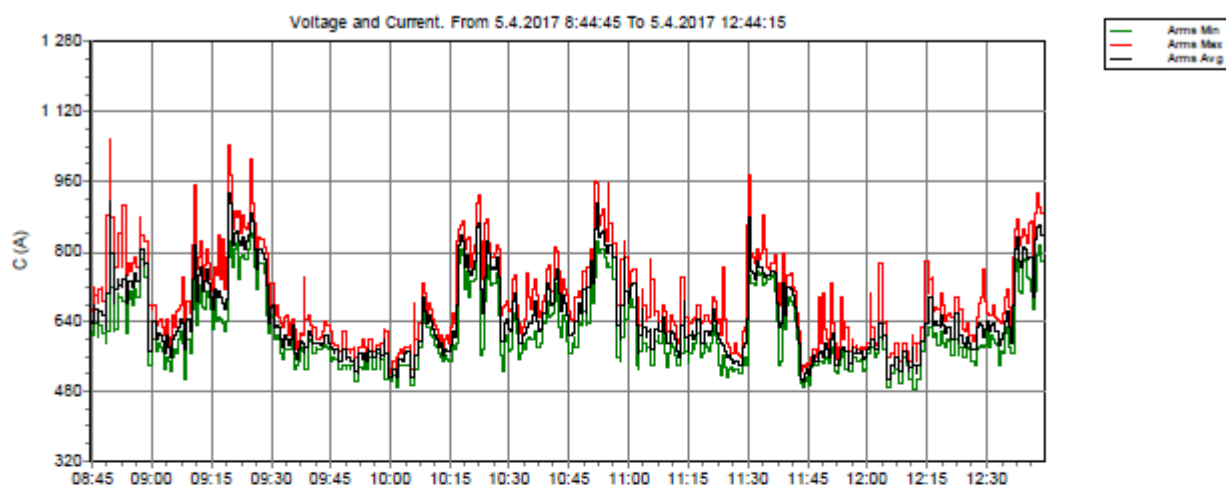


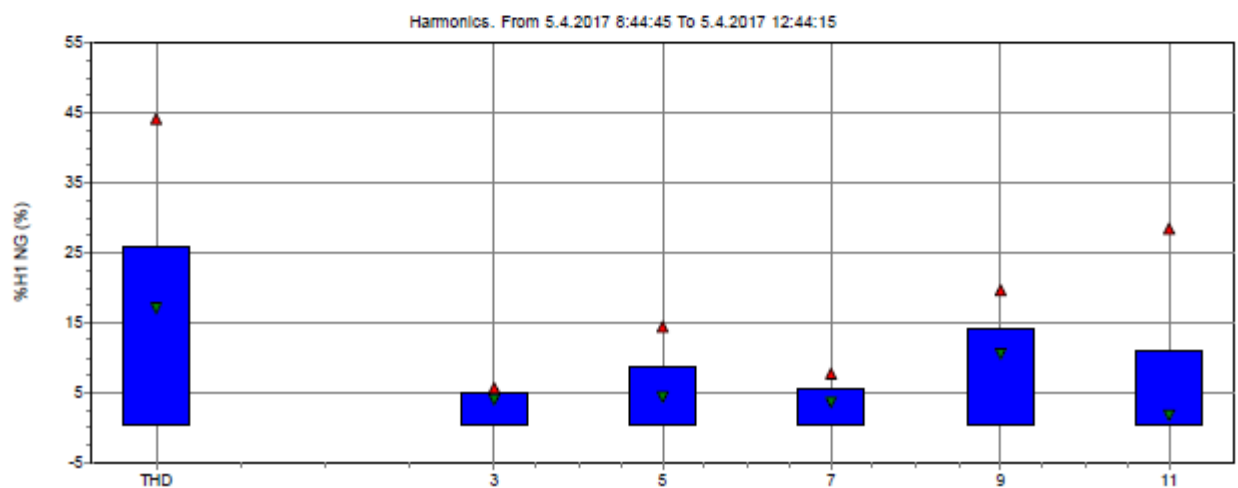
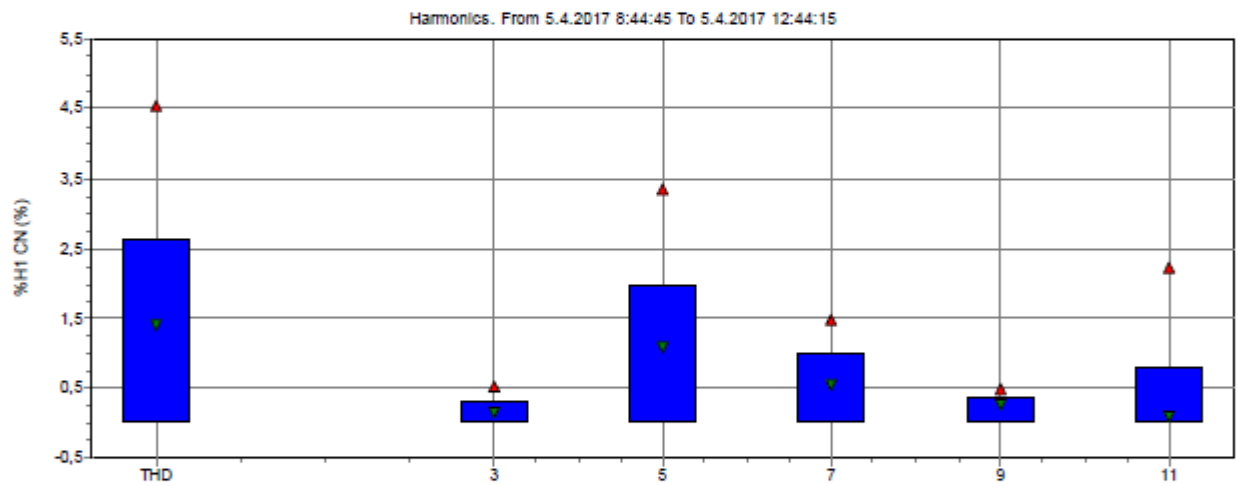
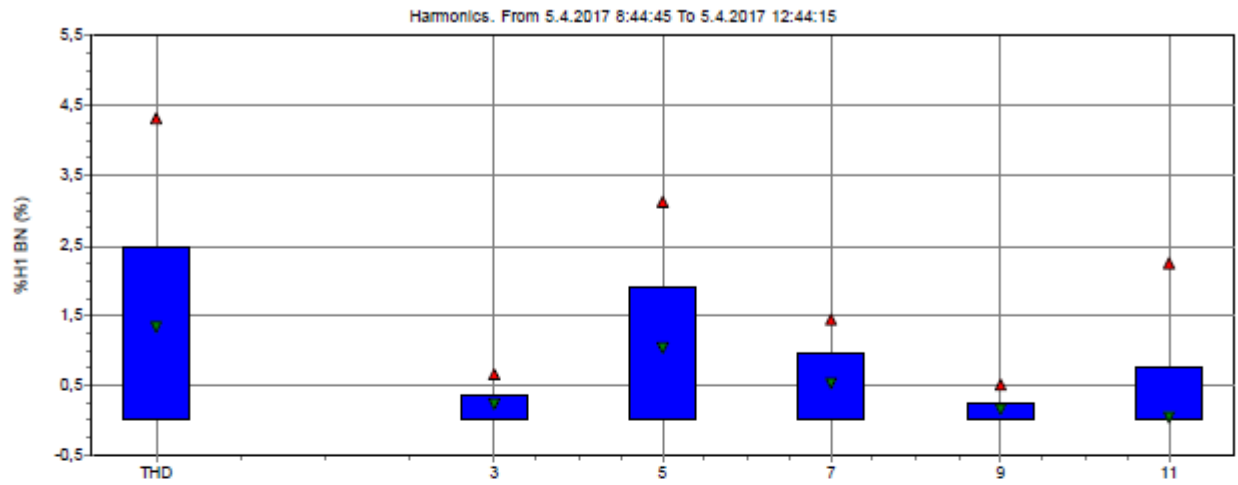


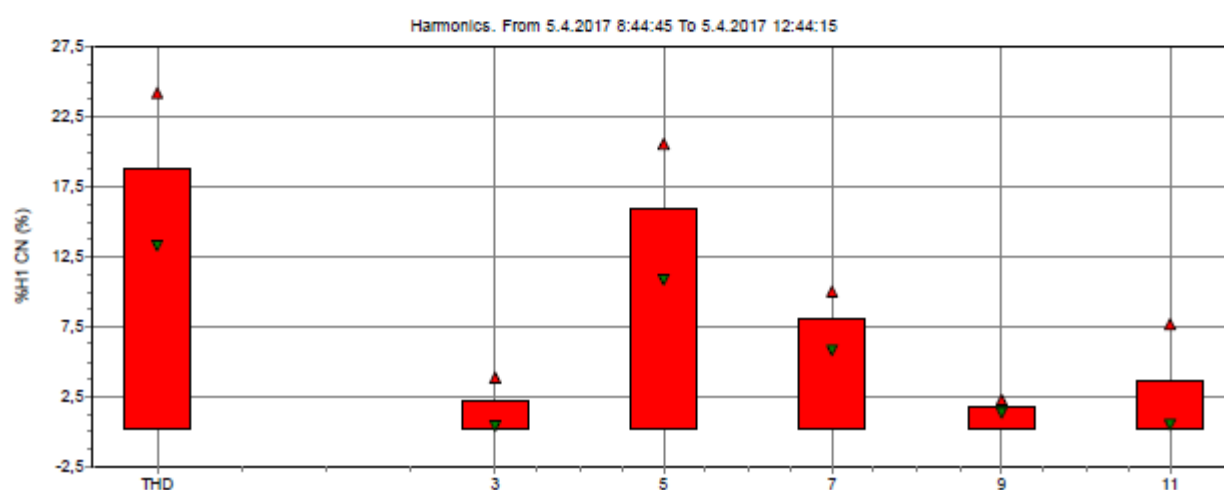
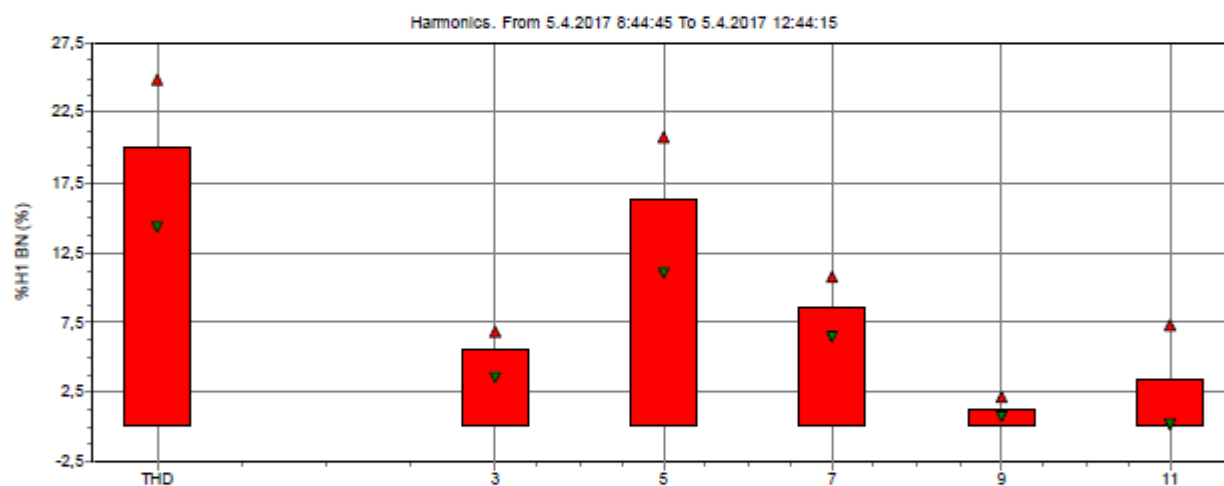
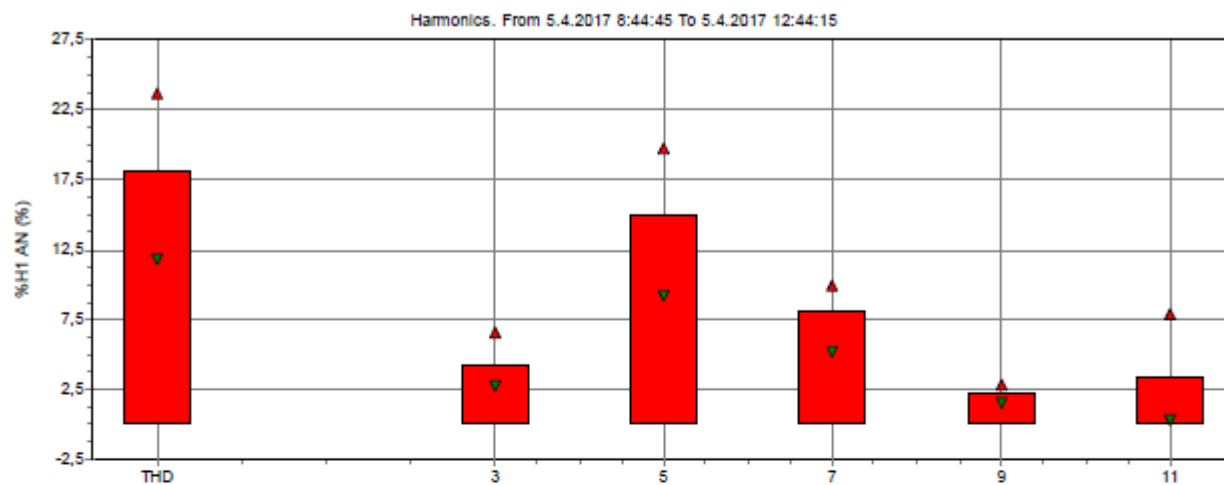
Filename
 SKB - SD Card

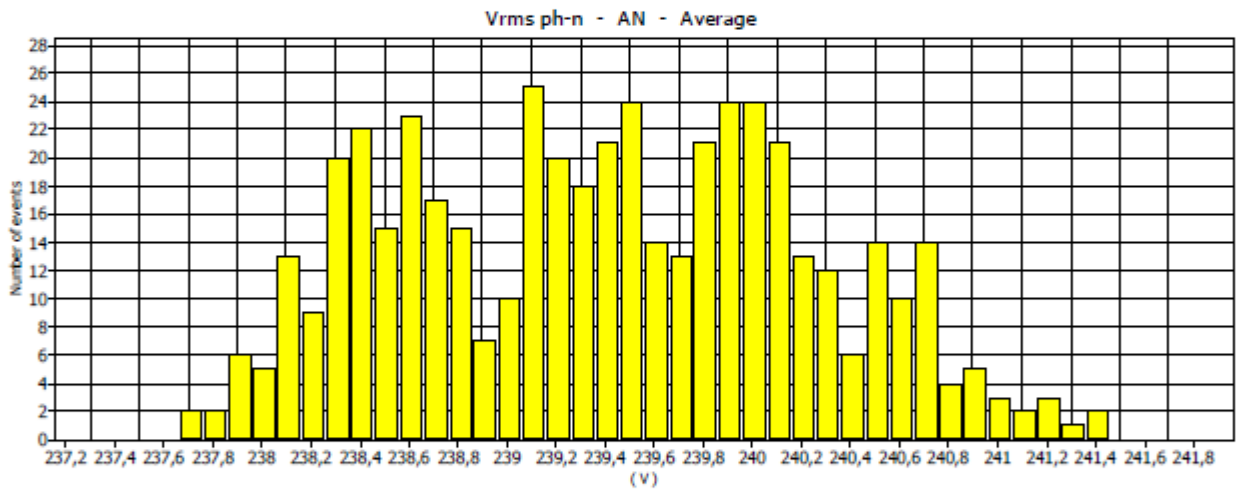
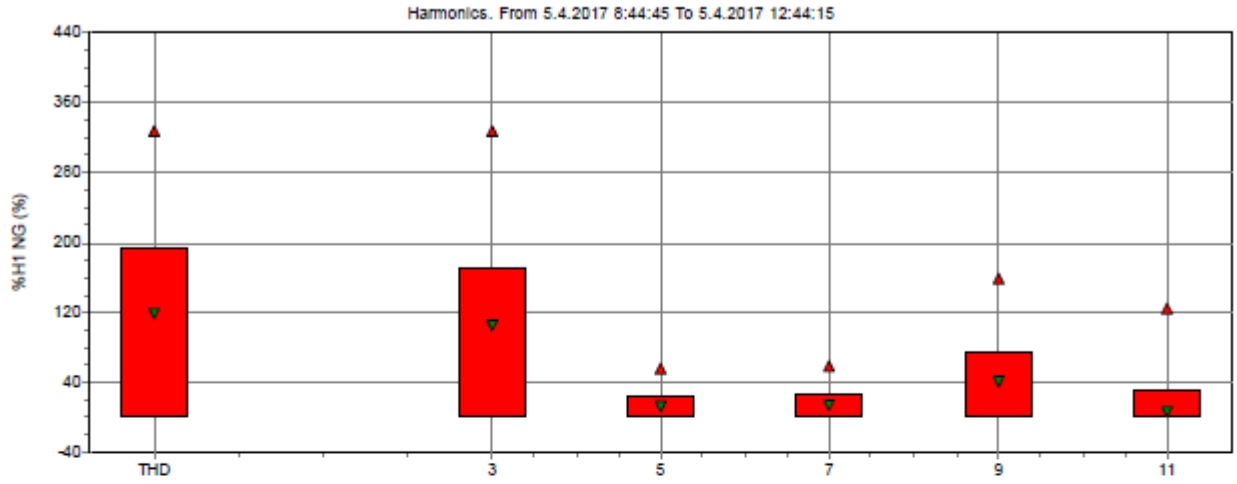
 Record Date/Time
 11.4.2017 15:16:37

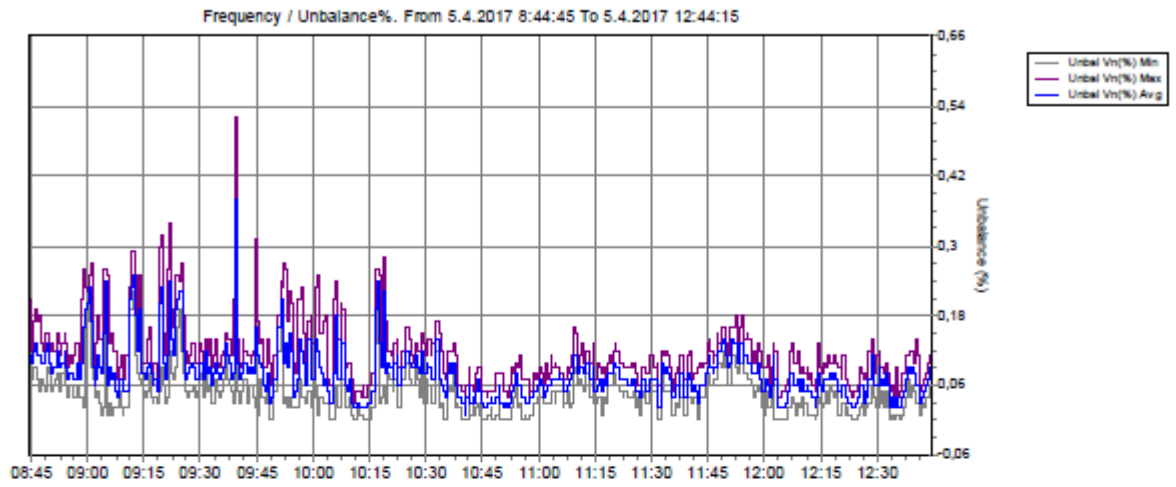
Page 6

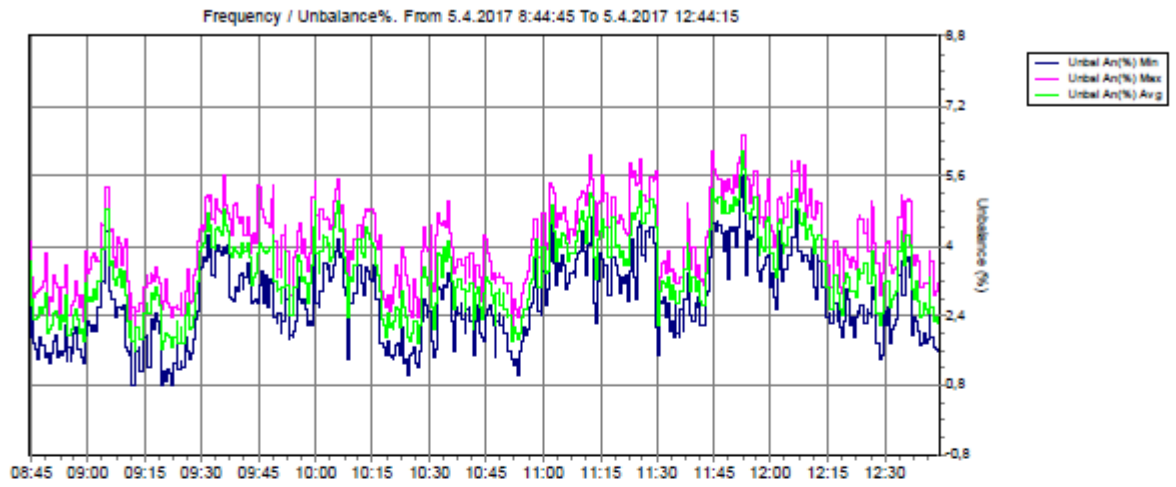






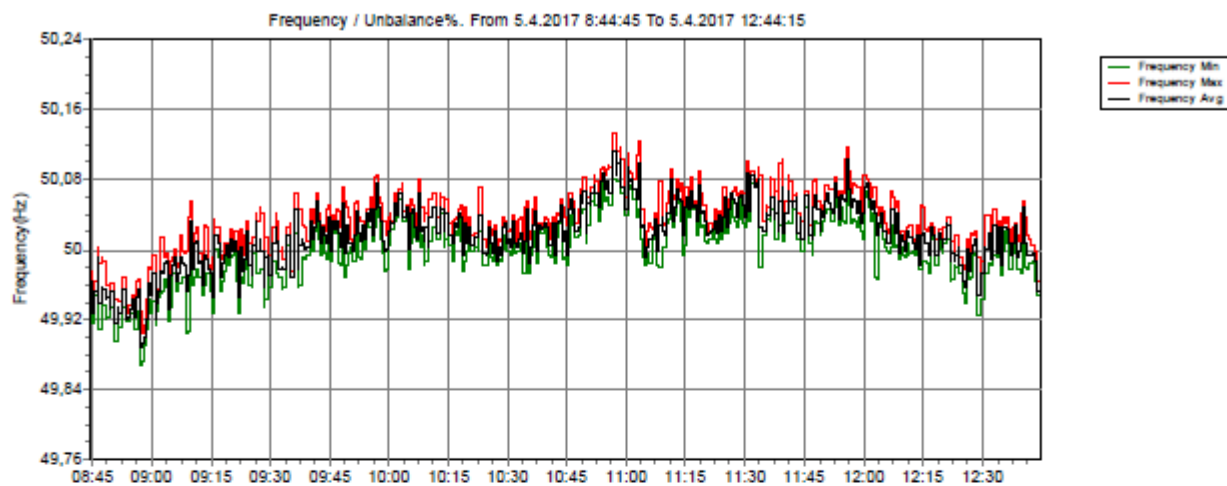


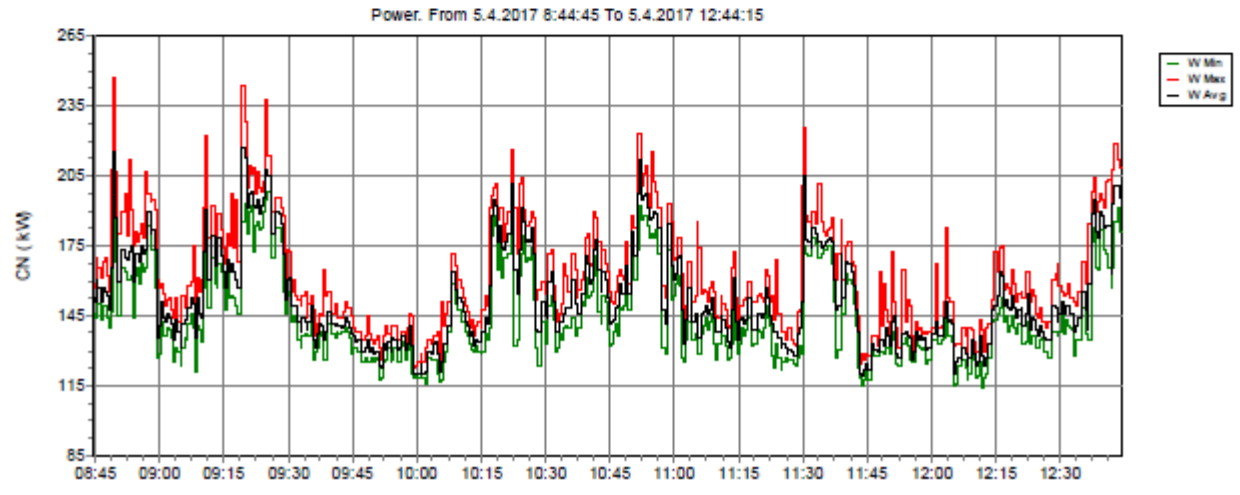
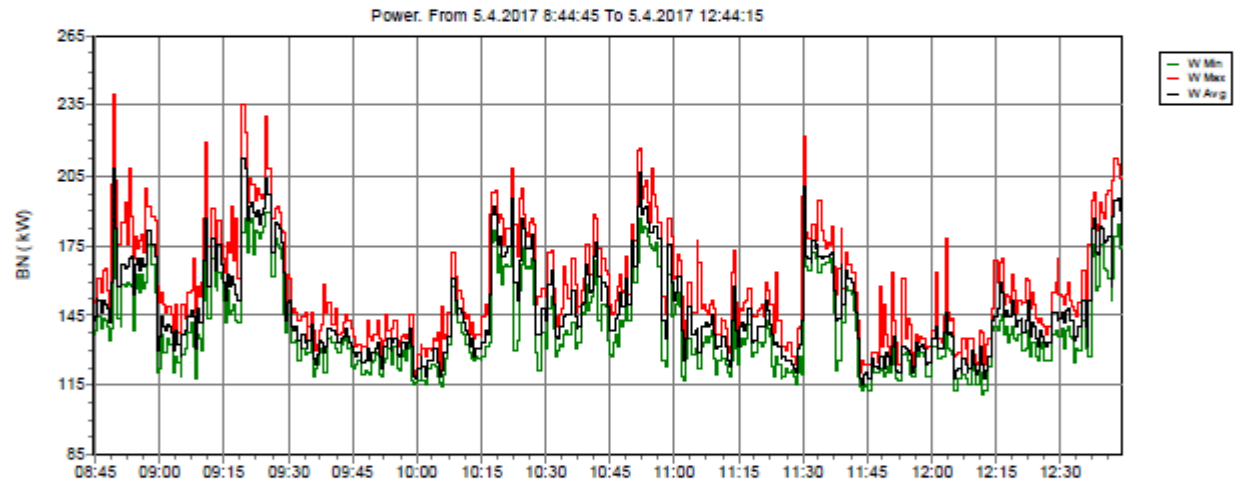
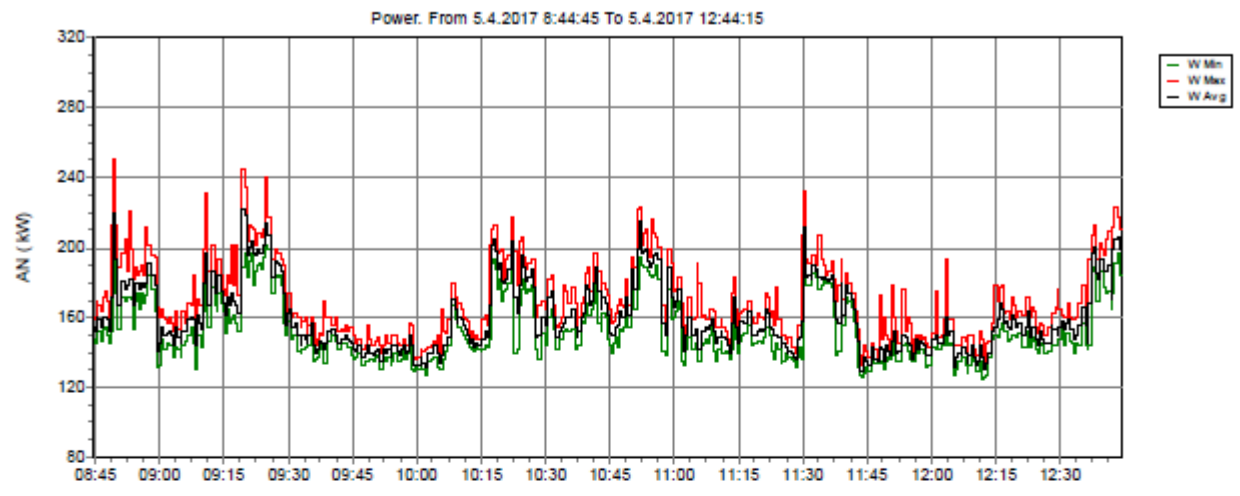


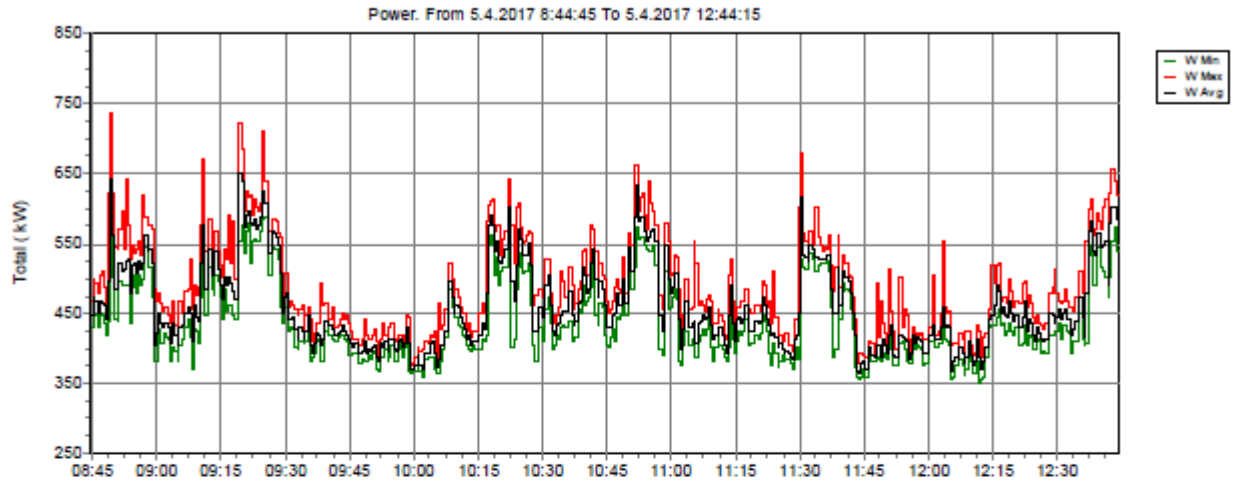


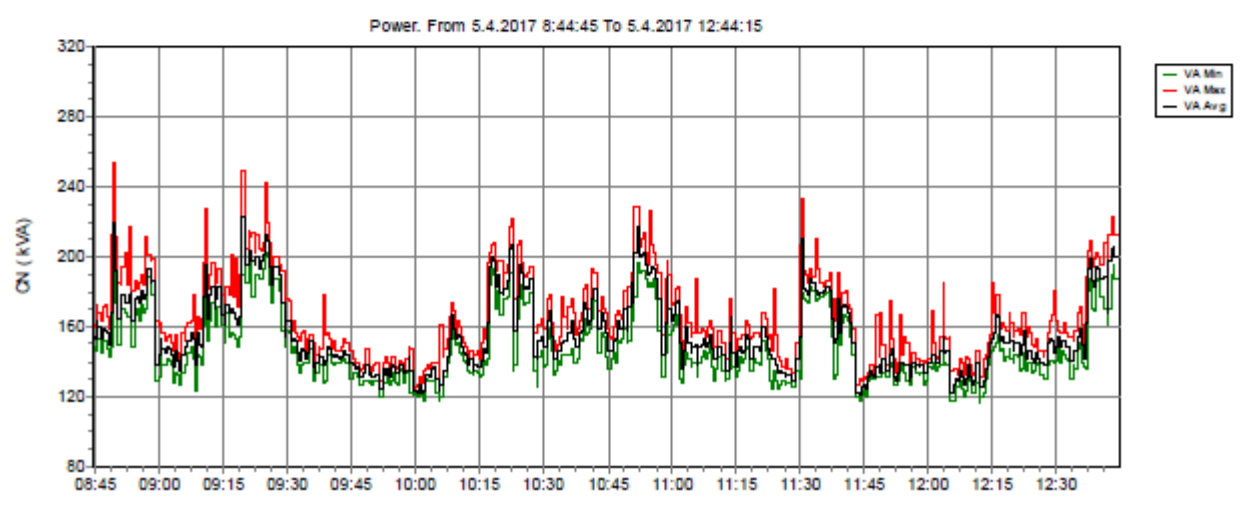
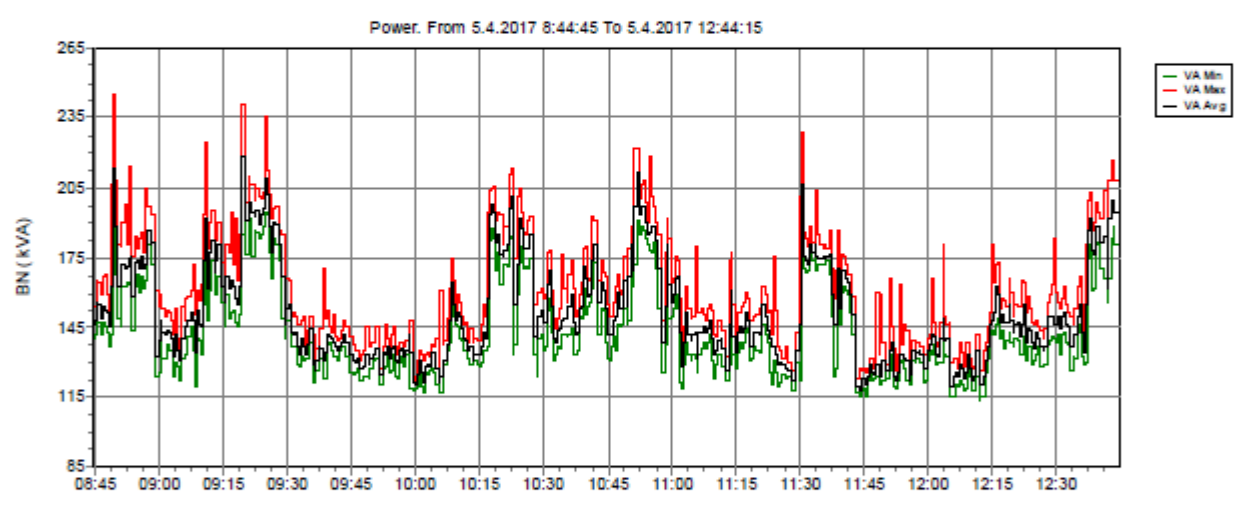
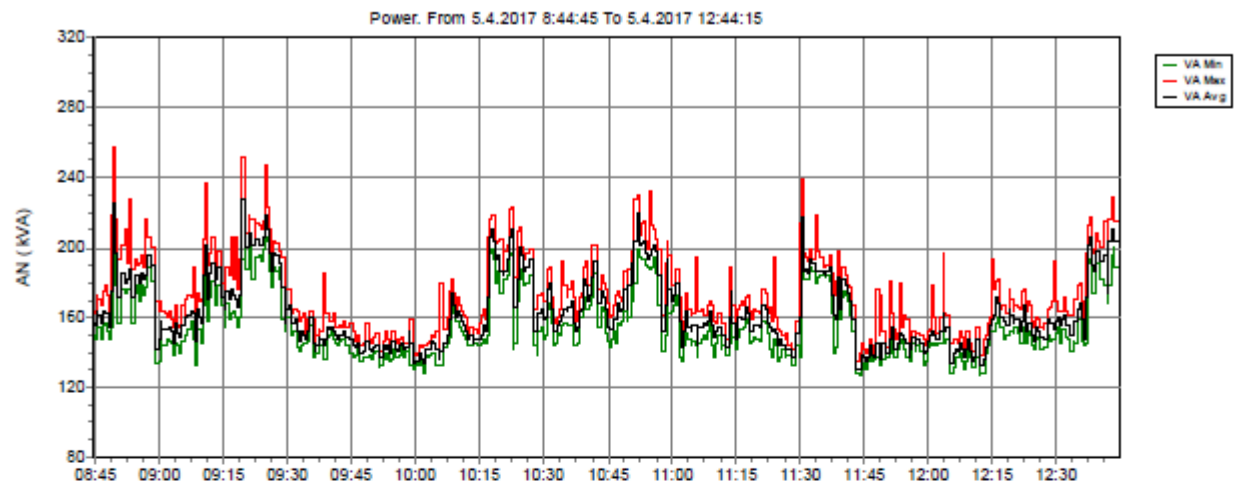
FLUKE®Filename
SKB -- SD CardRecord Date/Time
11.4.2017 15:13:15

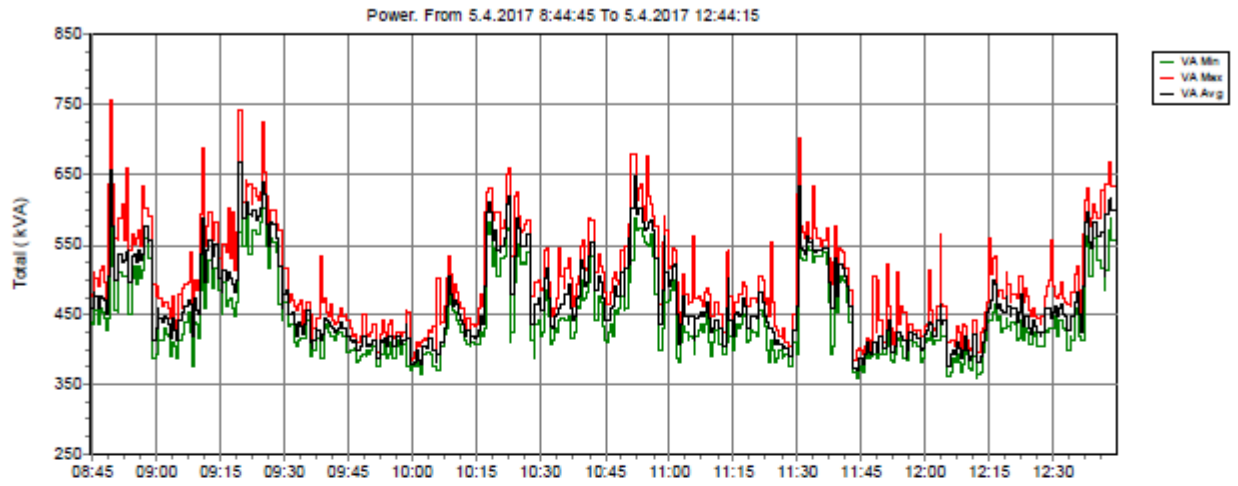
Page 1







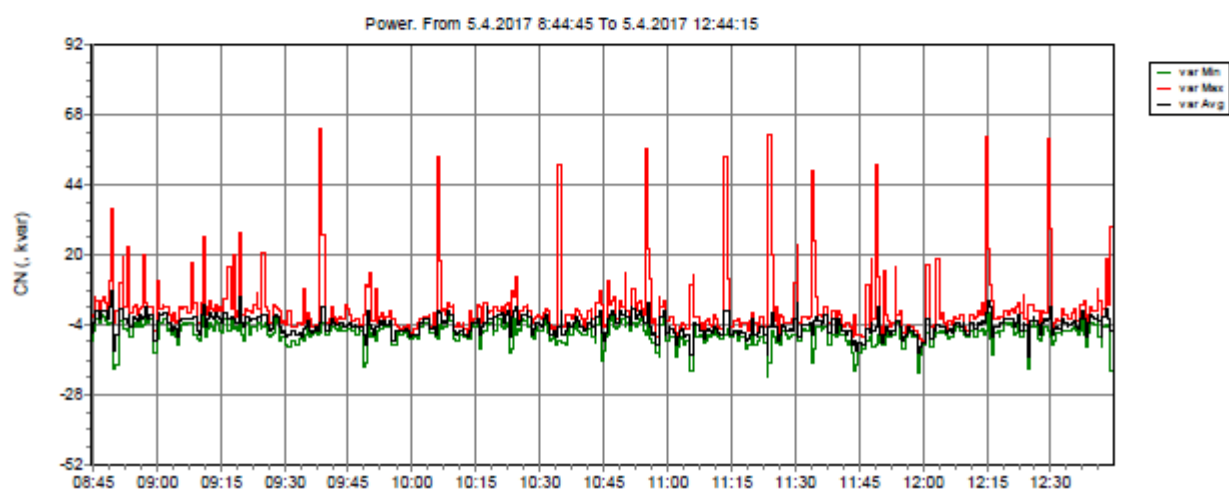
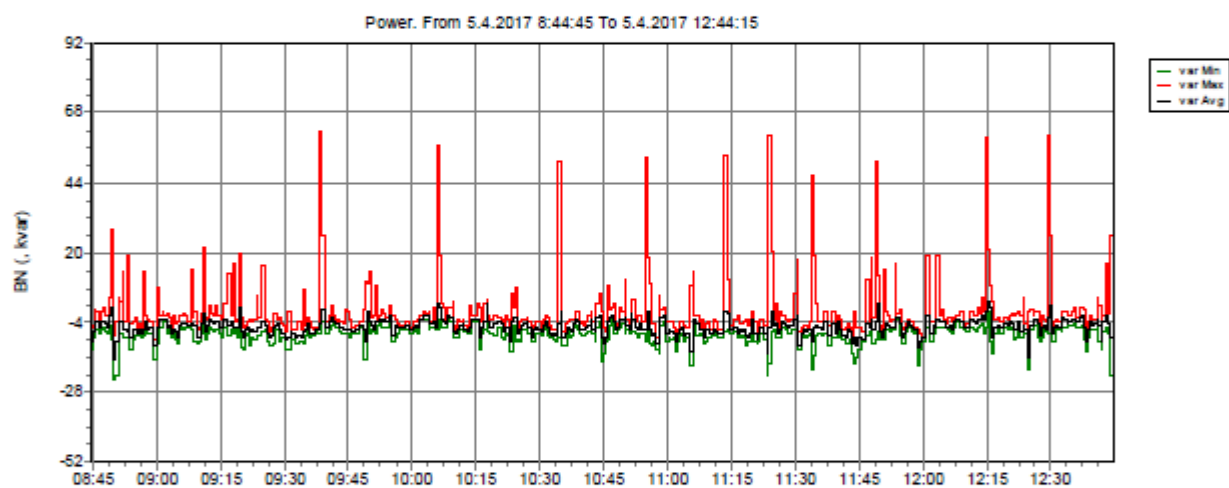
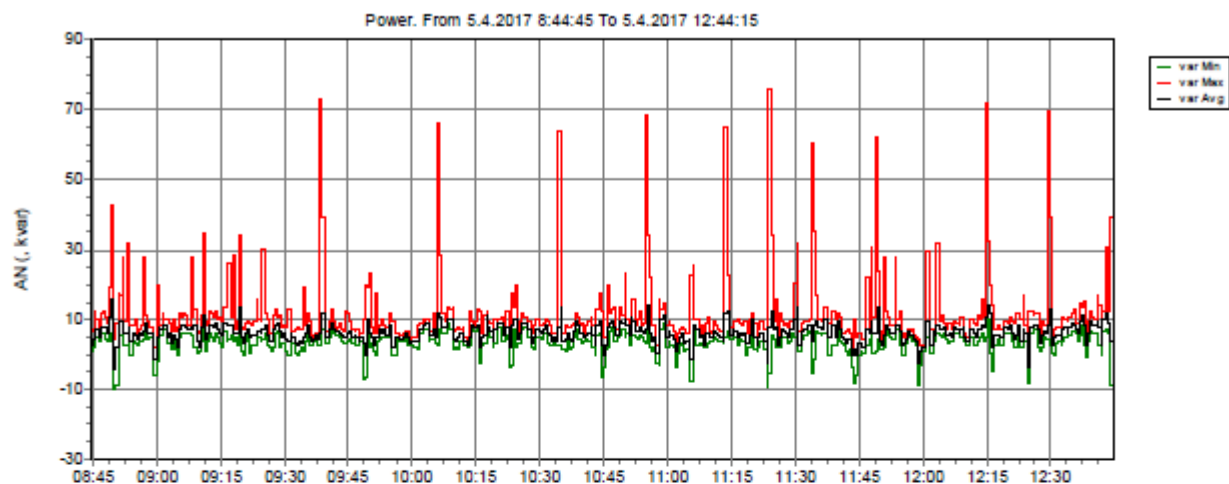


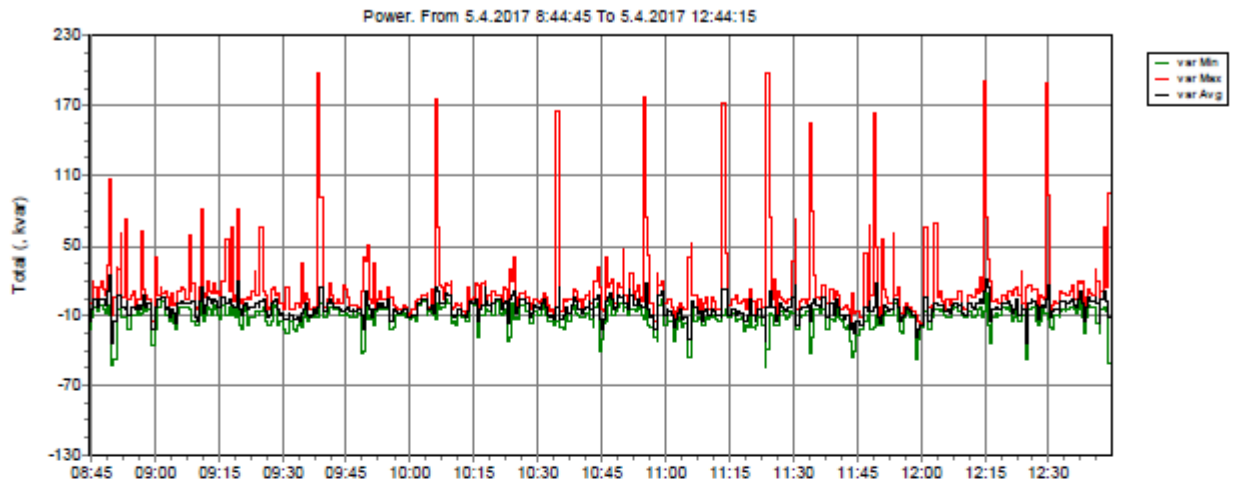


File name
 SKB -- SD Card

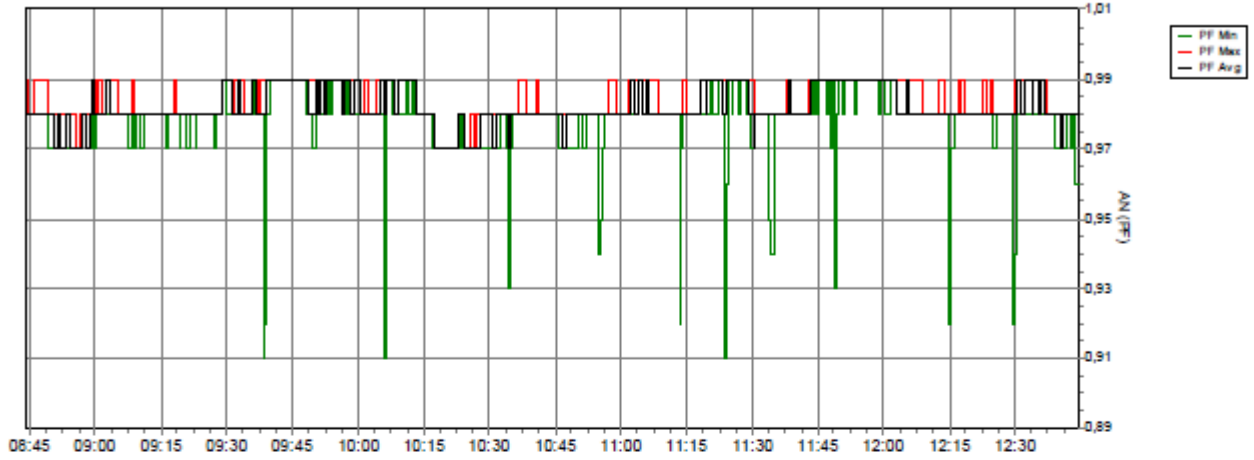
 Record Date/Time
 11.4.2017 15:07:31

Page 1

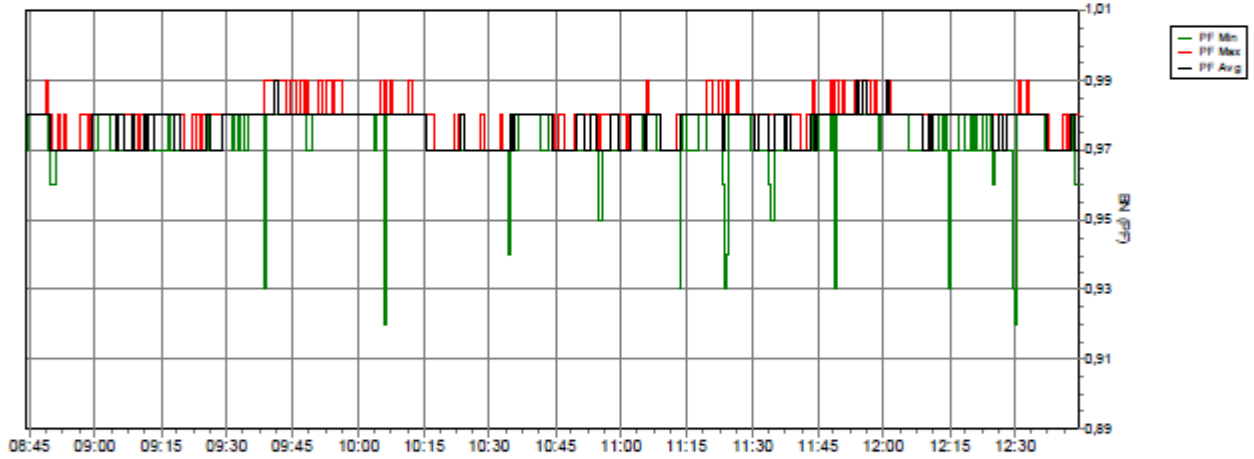




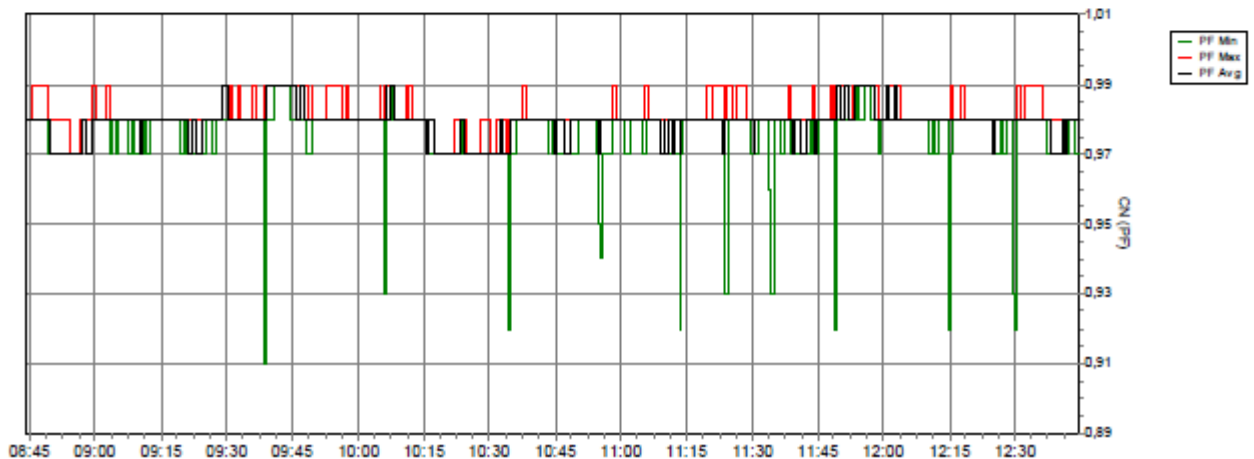
Power. From 5.4.2017 8:44:45 To 5.4.2017 12:44:15



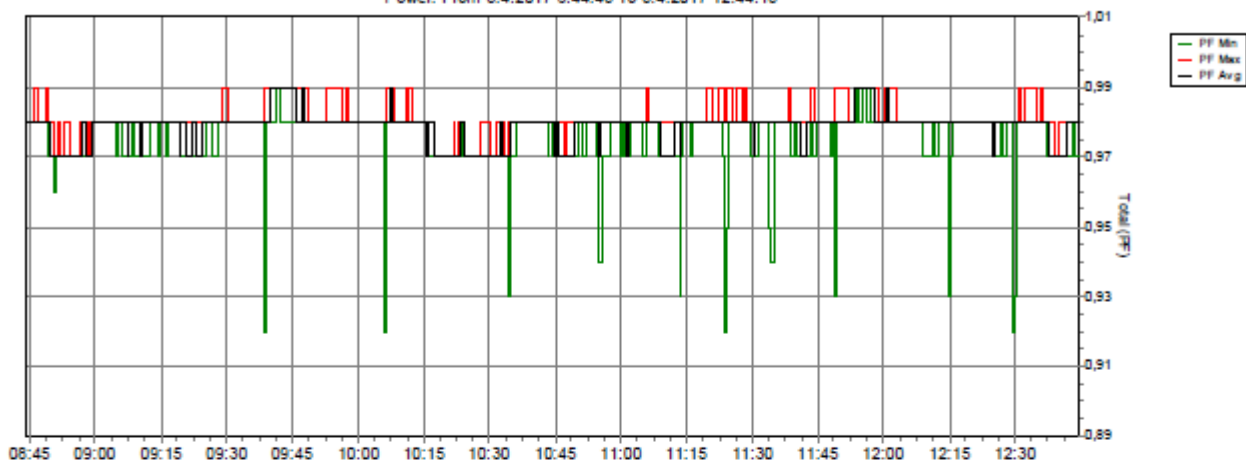
Power. From 5.4.2017 8:44:45 To 5.4.2017 12:44:15



Power. From 5.4.2017 8:44:45 To 5.4.2017 12:44:15

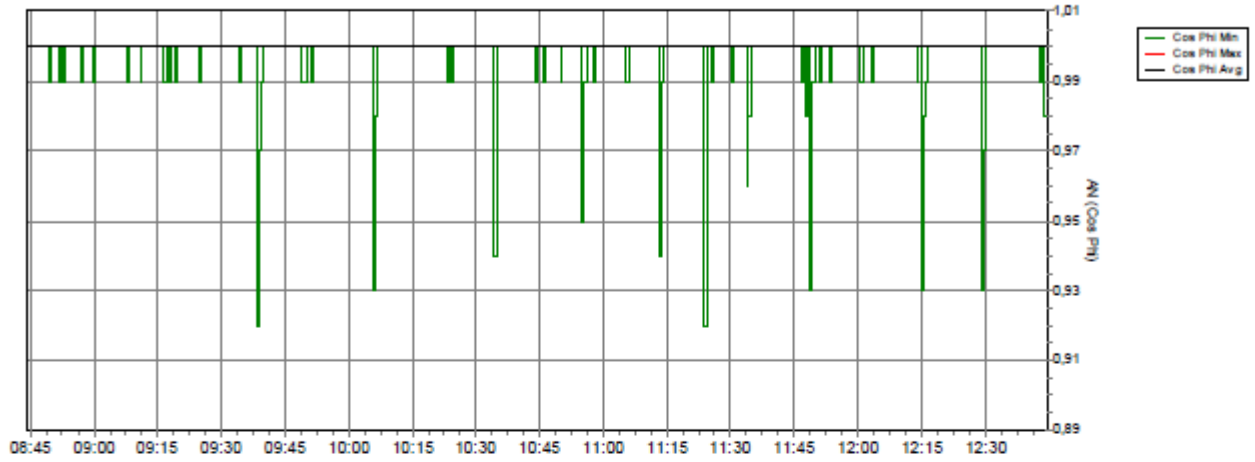


Power. From 5.4.2017 8:44:45 To 5.4.2017 12:44:15

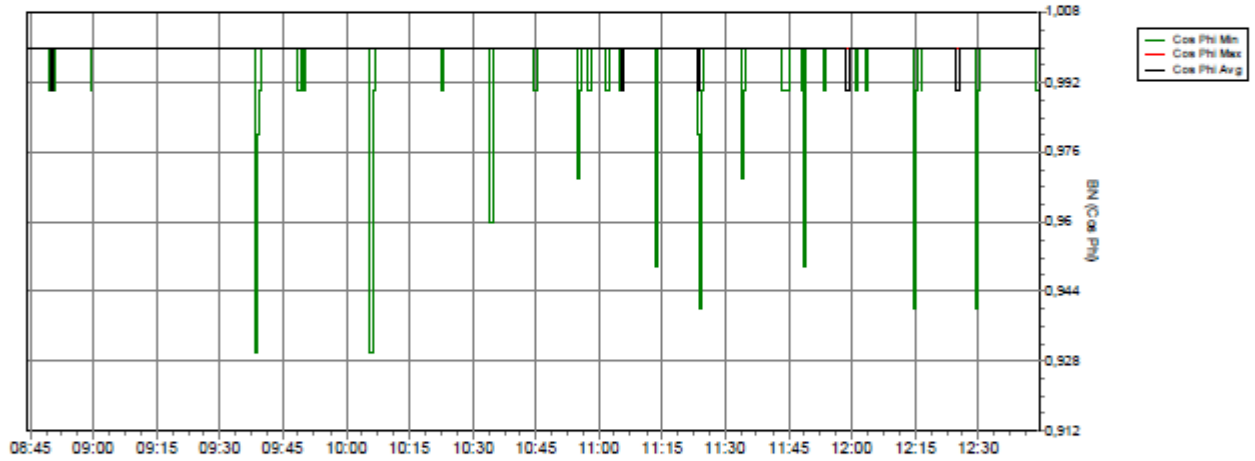




Power. From 5.4.2017 8:44:45 To 5.4.2017 12:44:15



Power. From 5.4.2017 8:44:45 To 5.4.2017 12:44:15



Power. From 5.4.2017 8:44:45 To 5.4.2017 12:44:15

