

Marko Räsänen

Yliaaltojen tutkiminen automatisoiduissa varastohisseissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

25.8.2014

Tekijä(t) Otsikko	Marko Räsänen Yliaaltojen tutkiminen automatisoiduissa varastohisseissä
Sivumäärä Aika	34 sivua 25.8.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Automaatioinsinööri Niko Häivälä Lehtori Eero Kupila
<p>Insinööriyön tavoitteena oli tutkia automatisoitujen varastohissien aiheuttamien yliaaltojen määrää. Työ piti sisällään yliaaltojen teoreettisen tarkastelun ja mittaukset automatisoidussa varastossa. Työhön kuului myös mittausten suorittamiseen tarvittavan laitteiston ja mittausten menetelmien tarkastelu.</p> <p>Työn teoreettisessa osuudessa tarkasteltiin yliaaltojen muodostumista ja niiden suurimpia aiheuttajia. Teoria pitää myös sisällään yliaaltojen vaikutuksen verkossa sekä erilaisia menetelmiä joilla niitä voidaan vähentää. Lisäksi työssä käsiteltiin yliaaltojen määräyksiä, suosituksia ja mittaamista pienjänniteverkossa.</p> <p>Työssä tarkasteltiin varsinaisissa mittauksissa saadut tulokset. Yliaaltojen tasoa ja vaikutusta laitteistossa käsiteltiin ja verrattiin määräysten ja suoritusten antamiin arvoihin. Vertailuun otettiin myös hisseissä käytettyjen komponenttien valmistajan ilmoittama yliaaltojen taso.</p>	
Avainsanat	yliaalto, yliaaltojen mittaaminen, automatisoitu varastohissi, hyötyjarrutus

Author Title	Marko Räsänen Examination of Harmonics in Automated Storage Cranes
Number of Pages Date	34 pages 25 August 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Niko Häivälä, Automation Engineer Eero Kupila, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to study levels of harmonics caused by automated storage cranes. The thesis includes theoretical analysis of the harmonics and actual measurements in automated warehouse. Examination of the required equipment and measurement methods for harmonics was also part of the thesis.</p> <p>The theoretical part of the thesis examines how the harmonics are created and what are the biggest sources of them. The literature part also examines effects of the harmonics in power grid and different methods how these can be reduced. In addition, the thesis deals with standards, recommendations for the harmonics and measuring them in low power grid.</p> <p>The thesis reviews actual results of the measurements. Levels and effects of the harmonics in the system are examined and compared to values given in standards. Manufacturer's reported levels of the harmonics were also taken into comparison.</p>	
Keywords	harmonics, measurement of harmonics, Automated storage crane, regenerative braking

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Harmoniset yliaallot	2
2.1	Yliaallot	2
2.2	Yliaaltojen syntyminen	2
2.3	Yliaaltojen vaikutukset verkossa	3
2.4	Yliaaltojen vähentäminen	5
2.5	Määräykset ja suositukset pienjänniteverkossa	7
2.5.1	Yliaaltojännite	7
2.5.2	Yliaaltovirta	8
2.5.3	Yliaaltojen mittaaminen	9
3	Työn tarkoitus ja tavoitteet	10
4	Hissit	11
4.1	Laatikkohissi	11
4.2	Lavahissi	12
4.3	Hissien hyötyjarrutus	12
5	Työn suorittaminen	14
5.1	Mittalaitteiston valitseminen	14
5.2	Mittausten suunnittelu	16
6	Mittaustulokset	17
6.1	Mittausten arvot	17
6.1.1	Yliaaltojännitteet	17
6.1.2	Yliaaltovirrat	25
6.1.3	Aaltomuodot	26
6.2	Tulosten tarkastelu	28
6.2.1	Yliaaltojännitteet	28
6.2.2	Yliaaltovirrat	29
7	Johtopäätökset ja parannusehdotukset	30
	Lähteet	33

Lyhenteet

CRA	Crane. Laatikoita varastoiva laatikkohissi
DPS	Dynamic Picking System. Dynaaminen keräilyjärjestelmä, jossa tuotteet kerätään varastosta tilausten mukaisesti
DC	Direct current. Tasavirta
DU	Drive Unit. Vaakasuorassa liikkeessä hissiä liikuttava yksikkö
LU	Lift Unit. Pystysuuntaisessa liikkeessä hissiä liikuttava yksikkö
LDU	Loading Device Unit. Hissin laatikoita siirtävä yksikkö eli laatikkopöytä
PML	Picking Mini Load. Valmiita tilauksia varastoiva laatikkohissi
THD	Total Harmonic Distortion. Harmoninen kokonaissärö

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tutkia vuonna 2012 valmistuneella INEX Partners Oy:n Sipoon logistiikkavarastolla sijaitsevien automatisoitujen varastohissien aiheuttamia harmonisia yliaaltoja. Tutkittavana olevan logistiikkajärjestelmän on valmistanut ja toimittanut Witron Logistik + Informatik GmbH. Insinööriyö suoritetaan Witronin tytäryhtiön Witron On Site Servicen, Suomen yksikön pyynnöstä.

Witron Logistik + Informatik GmbH on saksalainen perheyriutus, joka on vuodesta 1971 valmistanut ja toimittanut automatisoituja logistiikkajärjestelmiä erilaisille asiakkaille Pohjois- ja Keski-Eurooppaan sekä Pohjois-Amerikkaan. Witron on toimittanut järjestelmiään INEX:n kaltaisten päävarastojärjestelmien lisäksi myös suurien autovalmistajien, elintarvike-, juoma- ja lääke- sekä kosmetiikkateollisuuden tuottajille. Lisäksi yhteistyötä on tehty suurten elektroniikka- ja sähkölaitevalmistajien kanssa. Witron työllistää noin 1 800 henkilöä, joista puolet työskentelee yrityksen pääkonttorilla Parksteinissa Saksassa. Pääkonttorilla sijaitsee varsinainen projektiosasto, jossa suunnitellaan uusia järjestelmiä. Suunnittelussa otetaan huomioon asiakkaan toivomukset ja tarpeet. Witron valmistaa itse suurimman osan toimittamistaan laitteista ja myös laitevalmistus sijaitsee Parksteinissa. Lisäksi yritys tarjoaa ”On site service” -palveluita, jotka pitävät sisällään järjestelmän päivittäisen käynnissäpidon sekä laitteiden huolto- ja kunnossapidon. (1.)

Insinööriyöhön kuuluu harmonisten yliaaltojen teoreettinen tarkastelu. Työssä on perehdytty ohjatuissa sähkömoottorikäytöissä syntyviin yliaaltoihin ja niiden aiheuttamiin haittavaikutuksiin sähköverkossa. Työssä tarkastellaan myös yliaaltojen vähentämisen mahdollisuuksia erilaisilla menetelmillä.

Työn tarkoituksena on mitata automatisoitujen hissien aiheuttamia yliaaltoja. Mittauksissa saatujen tulosten arviointi on myös osa työtä ja tarkoituksena on pohtia, voivatko mittauksissa saadut arvot aiheuttaa ongelmia järjestelmän käytettävyyteen. Mahdolliset parannusehdotukset on myös käsitelty työssä. Työssä suunnitellaan mittauspisteet, joita voidaan hyödyntää tulevaisuudessa mittausten uusimiseen. Insinööriyöhön kuuluvat mittaukset toimivat myös lähtöarvoina tulevaisuuden mittauservoille. Työssä käsitellään yliaaltoja standardien ja suositusten näkökulmasta ja vertaillaan niitä mittauksissa saatuihin arvoihin.

2 Harmoniset yliaallot

2.1 Yliaallot

Yliaallot ovat yksi sähköverkon saasteen muoto. Ne ovat sinimuotoisia jännite- tai virta-komponentteja, jotka ovat kokonaisluvulla kerrottavia perusaallon kerrannaisia. Yliaallot ovat seurausta verkossa tapahtuvan jännitteen ja virran säröytymisestä. Tällä tarkoitetaan sitä, että perusaaltojen käyrämuoto poikkeaa sinimuodosta. Yliaaltojen järjestysluku määräytyy perusaallon kerrottavan kokonaisluvun mukaan. (2, s. 9,13,)

Yliaaltovirtojen ja -jännitteiden muutosta sinimuodosta kuvataan THD prosentuaalisina arvoina. THD tulee englannin kielen sanoista *Total Harmonic Distortion*, joka tarkoittaa harmonisen särön kokonaismäärää. Kokonaissärön prosentuaalinen arvo voidaan laskea jännitteelle (1) ja virralle (2). (3, s. 233–234.)

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \quad (1)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2)$$

, missä:

U_1 = Perustaaajuksen (esim. 50 Hz) jännitteen tehollisarvo

U_n = Vaikuttavat yliaaltojännitteet

I_1 = Virran perusaalto (esim. 50 Hz)

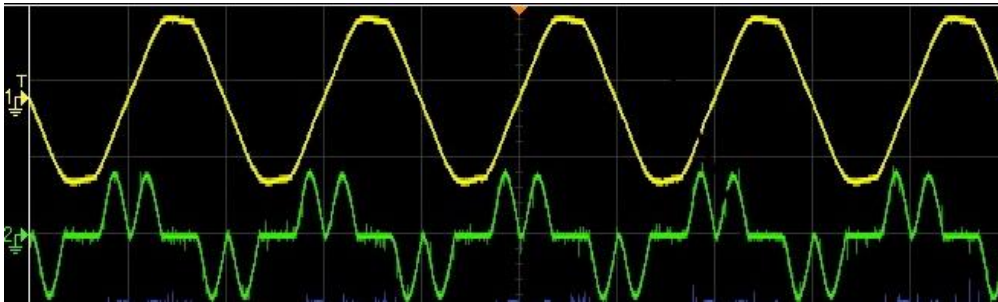
I_n = Vaikuttavat yliaaltovirrat

2.2 Yliaaltojen syntyminen

Yliaaltovirrat ja -jännitteet syntyvät sähköverkkoon kytketyistä epälineaarisista kuormista (3, s. 6). Yliaaltojen aiheuttajia ovat esimerkiksi puolijohdekytkimet, tasa- ja vaihtosuuntaajakäytöt, UPS-laitteistot, hitsauslaitteet, hakkuriteholähteet, valokaariuunit, tyristorisäätimet, energiansäästölamput, kodin elektroniikka kuten televisiot ja tietokoneet sekä lisäksi vikaantuneiden muuntajien ja moottorien magneettiipiirit. Jännitteen

säröytymistä ilmenee myös generaattoreiden, moottoreiden ja muuntajien epälineaarisuuksien vuoksi, mutta näiden merkitys on vähäistä. (2, s. 30.) Käytännössä kaikki sähköverkkoon liitetyt laitteet, jotka kuormittavat verkkoa epäsinimuotoisella kuormitusvirralla, aiheuttavat perusaallon kerrannaisia eli yliaaltoja.

Työssä tarkastelussa olevien hissien suurin mahdollinen yliaaltojen aiheuttajia on sähkökäyttöjen ohjaimet. Ensin verkkojännite tasasuunnataan ja saatu tasasähkö vaihtosuunnataa moottorille haluttuna vaihtosähköä. Tasasuuntaajan verkosta ottama virta ei ole sinimuotoista puolijohdekomponenttien vuoksi. Tästä syystä jännite säröytyy ja muodostaa yliaaltokomponentteja. Kuvasta 1 nähdään normaalin välipiirillisen taajuusmuuttajan syöttöjännitteen ja sen ottaman virran aaltomuodot. Keltainen kuvaaja osoittaa syöttöjännitettä ja vihreä kuvaaja taajuusmuuttajan ottamaa virtaa.



Kuva 1. Taajuusmuuttajan ottaman virran ja syöttöjännitteen aaltomuodot

Tasasuuntaajat tuottavat parittomia yliaaltoja kaavan $n = pk \pm 1$ mukaisesti. Kaavassa n kuvaa yliaallon järjestyslukua, p suuntaajan pulssilukua ja k kokonaislukua (1,2,3,...) (3, s. 242). Teoriassa yliaaltojen prosentuaalinen osuus saadaan laskettua perusaallosta jakamalla perusaalto yliaallon järjestysluvulla. Käytännössä DC-piiri ei ole täysin tasoittunut, joten mittaustulokset voivat poiketa teoreettisesta lukemasta. Yleisin tyyppi kolmivaihe suuntaukseen on kuusipulssi suuntaaja. Edellä mainitun kaavan mukaan, kuusipulssi suuntaaja tuottaa siis yliaaltoja 5., 7., 11., 13., 17., 19. ja niin edelleen. Näiden vastaava prosentuaalinen osuus perusaallosta teoriassa on 20 %, 14 %, 9 %, 8 %, 6 %, 5 %.

2.3 Yliaaltojen vaikutukset verkossa

Yliaallot aiheuttavat erilaisia haittoja sähköverkkoon ja siihen liitettäviin laitteisiin. Yliaallot lisäävät verkossa muodostuvia häviöitä ja aiheuttavat lämpenemää muuntajissa,

kaapeleissa ja toisissa verkkoon kytketyissä laitteissa. Yliaallot voivat aiheuttaa mahdollisia resonanssitilanteita, jotka tuottavat piikkimäisiä ylijännitteitä. Nämä voivat aiheuttaa kondensaattoreiden tai eristysten ennenaikaisen tuhoutumisen. Yliaallot alentavat myös eri laitteiden kuormitettavuutta ja näin laitteet voivat ylikuormittua niiden johdosta. Verkkojännitteen muuttuminen epäsinimuotoiseksi voi aiheuttaa toiminnallisia häiriöitä laitteisiin, joiden toiminta vaatii tarkan huippuarvon, tehollisarvon tai jännitteen nollassa hetken tuntemisen. (4, s. 55.)

Yliaalloista aiheutuu myös magneettikenttien kasvamista laitteissa, kojeissa ja kaapeloinnissa (5, s. 26). Magneettikentät aiheuttavat joskus elektronisten monitorien ja televisioiden näyttöjen välkyntää. Erityisesti 3. yliaalto saattaa aiheuttaa edellä mainittuja ongelmia, sillä se summautuu vaihejohtimista nollajohtimeen ja voi levitä verkon nollassausten kautta rakennusten runkorakenteisiin. Myös muut kolmella jaolliset yliaaltovirratt summautuvat nollajohtimeen, mikä voi aiheuttaa johtimen ylikuormittumista tai suoja-laitteiden toiminnan. Nollajohtimen ylikuormittumisesta aiheutuva lämpeneminen saattaa pahimmassa tapauksessa aiheuttaa tulipalovaaran, jos mitoituksessa ei ole otettu huomioon kolmannen yliaallon määrää. (2, s. 31–32.)

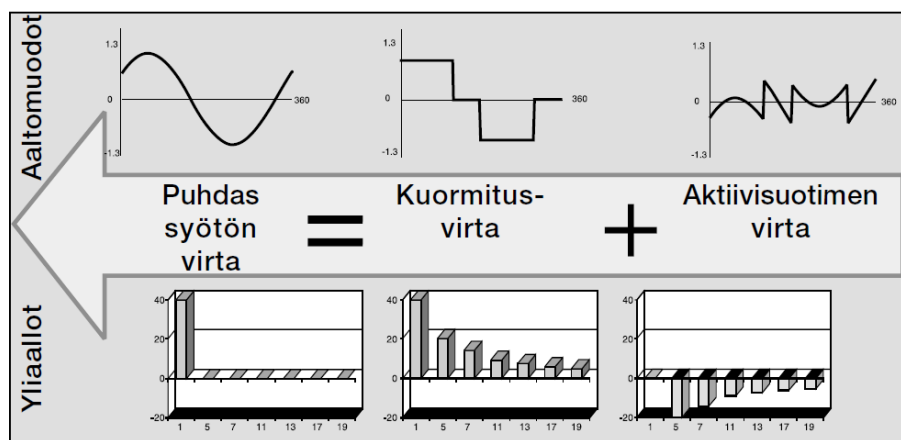
Yliaalloista aiheutuu toimintahäiriöitä automaatio-, tele-, elektroniikka-, puhelin- ja datajärjestelmiin. Signaalikaapeloinnit ovat alttiita yliaaltojen vaikutuksille ja saattavat häiriintyä yliaaltojen vaikutuksesta. Myös suojalaitteissa aiheutuu virheellisiä toimintoja ja mittalaitteet saattavat antaa virheellisiä lukemia yliaaltojen johdosta. (5, s. 26.) Valojen vilkkuminen ja tietokoneiden viat voivat johtua yliaaltojen vaikutuksesta (6, s. 8). Muuntajissa yliaallot aiheuttavat kuormitushäviöitä, jotka on hyvä huomioida mitoitusvaiheessa. Moottoreissa puolestaan yliaallot aiheuttavat ylimääräistä lämpenemistä, eritaajuisia momenteja sekä ääni- ja värähtelyilmiöitä. (2, s. 31, 34–35.)

Galvaanisesti etenevien yliaaltojen lisäksi häiriöitä voi aiheutua säteilemällä etenevistä yliaalloista. Korkeataajuiset yliaallot aiheuttavat ääni- ja radiotaajuisia häiriöjännitteitä. Suuritaajuiset häiriöt leviävät säteilemällä ja ovat hankalasti selvitettävissä. Häiriöitä aiheutuu ääni- radio- ja televisiotaajuuksiin sekä langattomiin ohjauksiin. (2, s. 31, 34–35.)

2.4 Yliaaltojen vähentäminen

Yliaaltojen aiheuttamista haitoista ja ongelmista voidaan päästä eroon suodattamalla niitä. Yliaaltojen suodattamiseen on olemassa kahdenlaista tyyppiä, passiiviset suodattimet ja aktiiviset suodattimet. Passiivisella suodattimella tarkoitetaan, että suodatin on viritetty suodattamaan tiettyä yliaaltoa. Passiiviset suodattimet on toteutettu kondensaattoreiden ja kelojen avulla. Sarjaan kytketty kuristin ja kondensaattori muodostavat suodattimen, joka suodattaa tietyn yliaallon taajuuden riippuen virityksestä (5, s.26). Kuristin ja kondensaattori mitoitetetaan siten, että ne muodostavat viritetyllä yliaaltotaajuudella sarjaresonanssiin, jolla on hyvin pieni impedanssi. Tällöin suurin osa suodattimen viritystaajuudella syntyvistä yliaalloista kulkee suodattimeen. Tyypillinen yliaaltosuodatin koostuu kolmesta erillisestä suodatinpiiristä, jotka ovat viritetty yleisimmille yliaaltojen taajuuksille. Näitä ovat 5., 7., ja 11. harmoninen yliaalto. Suodatin voidaan toteuttaa tarpeen mukaan myös yhdelle yliaaltotaajuudelle. (2, s. 55.)

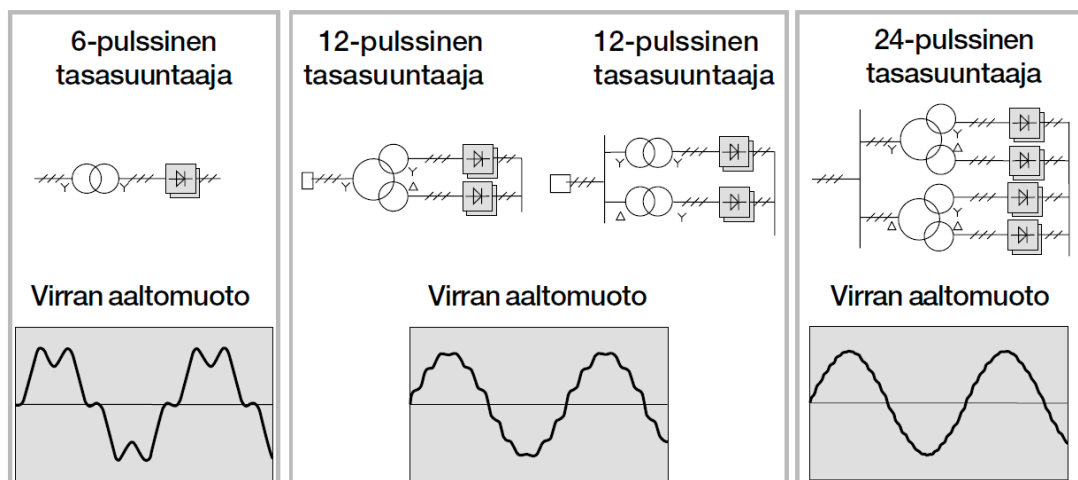
Passiivisilla komponenteilla rakennetut suodattimet eivät pysty vastaamaan verkon yliaaltojen muutokseen. Aktiivisuodatin puolestaan tarkkailee verkon yliaalto komponenttien määrää ja kompensoi niitä muodostamalla vastakkaisessa vaiheessa olevan virran, joka kumoaa yliaaltovirran (6, s. 25). Suodattimen ohjaus on toteutettu puolijohdekomponenteilla. Näiden ansiosta suodattimella on enemmän ominaisuuksia kuin passiivisilla suodattimilla. Aktiivisuodattimella pystytään valitsemaan useampia suodatettavia taajuuksia ja sillä voidaan suodattaa ilman loistehon tuotantoa. Aktiivisuodatin tarvitsee myös vähemmän tilaa kuin passiivinen, eikä sillä ole rinnakkaisresonanssin vaaraa (5, s. 26). Kuvassa 2 on esitetty aktiivisuodattimen toiminta periaate.



Kuva 2. Aktiivisuodattimen toiminta periaate (6, s.25).

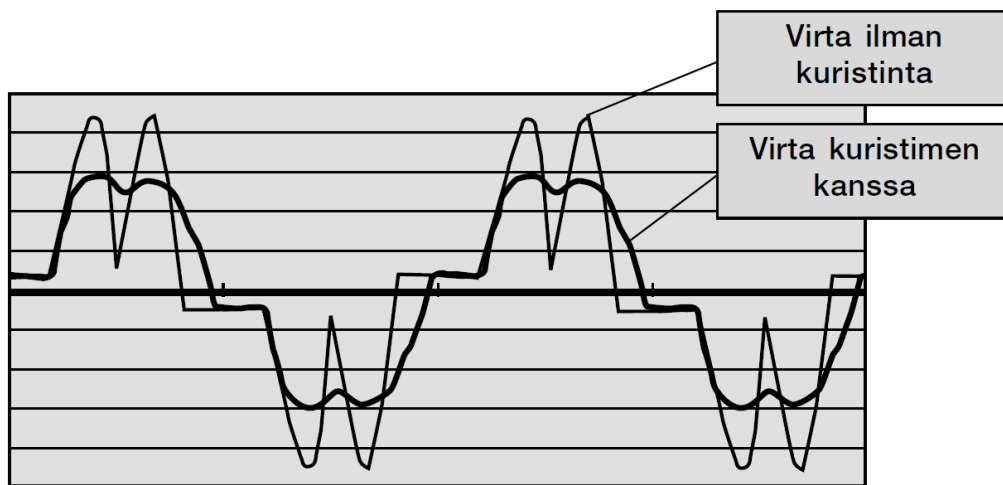
Verkon loistehoa kompensoidaan usein kondensaattoriparistojen avulla. Pelkkä kondensaattori saattaa aiheuttaa resonanssitilanteen verkon kanssa jos kompensointikondensaattorin reaktanssi ja sähköverkon induktanssi ovat yhtä suuret ja resonanssiin vaikuttaa jokin harmoninen yliaaltovirta (5, s.26). Viritystaajuuden eli taajuuden jolloin verkon induktanssi ja kompensoinnin reaktanssi ovat samansuuruiset, osuessa tietyn yliaallon kohdalle, virrat voivat vahvistua jopa 20-kertaiseksi (2, s.52). Resonanssin estämiseksi on kehitetty estokelaparisto. Se rakennetaan kondensaattorien ja sopivien kelojen sarjakytkennällä siten, että verkossa mahdollisesti olevat yliaallot eivät voi aiheuttaa resonanssitilannetta ja siten jännitesärön vahvistumista (5, s.26). Estokelaparistolla on loistehon kompensoinnin lisäksi yliaaltoja suodattava vaikutus. Siihen voidaan vaikuttaa estokelan viritystaajuuden valinnalla. Tyypillisesti suodattava vaikutus on 10–30 % viidennen yliaallon virrasta. Estokelan viritystaajuus tulee valita merkittävimpien yliaaltojen mukaan. (2, s.53.)

Yliaaltoja voidaan myös pienentää sähkökäyttöjen rakenteellisella muutoksella. Tämä tarkoittaa, että käytetään pulssiluvultaan suurempia tasasuuntaajia. Kun suuntaajan pulssilukua kasvatetaan kuudesta kahteentoista, verkosta otettu virta on lähempänä sinimuotoa ja yliaaltojen määrä on pienempi. 12-pulssi tasasuuntaajaa syötetään kolmikäämisellä muuntajalla tai kahdella kaksikämmimuuntajalla. Molemmissa tapauksissa muuntajan toisioon muodostuu 30° vaihe-erokulma. Syöttöpuolen yliaalloista osa on vastakkaisvaiheisia ja ne eliminoiduvat muuntajassa. Yliaaltoja voidaan muutenkin eliminoida teollisuudessa vaihekääntömuuntajalla, jossa ensiö- ja toisiokäämit kulkevat eri vaihekulmassa. (6, s.18.) Kuvassa 3 on esitetty suuntaajan pulssiluvun vaikutusta otettavan virran aaltomuotoon.



Kuva 3. Tasasuuntaajan pulssiluvun vaikutus suuntaajan ottaman virran muotoon (6, s. 18).

Vaihtosähkökäytön yliaaltoja voidaan vähentää huomattavasti syöttöön tai jännitevälipiiriin kytkettävän kuristimen avulla. Kuristimen vaikutus suuntaajan ottamaan virtaan on esitetty kuvassa 4. Virta kuristimen kanssa on vähemmän säröytynyttä kuin ilman kuristinta. Tasasuuntaajassa käytettävillä komponenteilla voidaan myös vaikuttaa yliaaltojen muodostumiseen. Jos tasasuuntauksessa käytetään IGBT-transistoreita, voidaan tasasuuntaajalla tuottaa loisteho ja kompensoida rinnakkaisten käyttöjen yliaaltoja. IGBT-transistorien ansiosta otettu virta on lähes sinimuotoista ja siinä esiintyy vain vähän yliaaltoja. (6, s. 20–21.)



Kuva 4. Kuristimen käytön vaikutus vaihtosähkökäytössä (6, s. 21).

2.5 Määräykset ja suositukset pienjänniteverkossa

2.5.1 Yliaaltojännite

Pienjänniteverkon sähkönlaatua varten on tehty standardi SFS-EN 50160 ”Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet”. Standardi käsittää sähkön laadun raja-arvoja sähkönkuluttajan ja jakeluverkon liittymäkohdassa, mutta standardissa määritetyt arvoja voidaan soveltaa myös kuluttajan oman verkon laadunmittausten viitearvoina. SFS-EN 50160 standardi pitää sisällään yliaaltojännitteiden suurimmat sallitut arvot, mutta yliaaltovirtoihin standardi ei ota kantaa. (7, s. 22.)

Standardissa yliaaltojännitteille on annettu seuraavanlainen määritelmä:

Normaaleissa käyttöolosuhteissa, kunkin viikon pituisen mittausjakson aikana, 95 % jakelujännitteen kunkin yksittäisen harmonisen yliaaltojännitteen 10 minuutin

keskimääräisistä tehollisarvoista tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin taulukossa 1 annettu arvo. Resonanssit voivat aiheuttaa suurempia jännitteitä yksittäisellä harmonisella. Lisäksi jakelujännitteen kokonaissärökertoimen, THD (mukaan lukien kaikki harmoniset yliaallot järjestysluvultaan 40 saakka) tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin 8 %. (7, 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.

Taulukko 1. Harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot (7, s. 22).

Standardissa annetaan kokonaissärölle (THD) maksimiarvo 8 %, mutta käytännössä joissakin laitteissa jo 3 %:n jännitesärö saattaa aiheuttaa ongelmia niiden toiminnassa (2, s. 21).

2.5.2 Yliaaltovirta

Yliaaltovirroille on sallitut raja-arvot laadittu sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL RY:n toimesta. Virtasuositusten perusteena on käytetty jännitestandardia, joka on ensisijaisesti määräävä. Virroille on laadittu suositukset kolmesta eri syystä. Ensimmäinen syy on se, että verkon jännitteen säröytyminen riippuu kussakin verkon osassa kulkevista yliaaltovirroista. Toinen syy on, että vaikka jännitteen käyrämuoto pysyisi hyväksyttävänä, voivat sen aiheuttamat yliaallot yhdessä muiden käyttäjien yliaaltojen kanssa aiheuttaa muualla verkossa jännitesäröä liikaa. Viimeisenä syynä on se, että asettamalla verkkoon syötettäville yliaaltovirroille rajoituksia saadaan verkon yliaaltovirtojen sietokapasiteetti jaettua sähkökäyttäjille tasapuolisesti. Yliaaltojen sietokyky tulee jakaa liittyjille tasapuolisesti liittymiskokojen mukaan. Siksi sallitut yliaaltovirrat on esitetty suhteessa käyttäjän siirtokapasiteettiin referenssivirran perusteella. Sulakepohjaisissa liittymissä referenssivirta saadaan pääsulakkeen nimellisvirrasta. Tehopohjaisessa liittymässä, jossa pääsulaketta ei ole määritelty, referenssivirta saadaan laskettua kaa-

van 3 avulla. Taulukossa 2 on esitetty suurimmat pienjänniteverkossa sallitut yliaaltovirrat suhteessa referenssivirran suuruuteen. (2, s. 43–44.)

$$I_{ref} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_N} \quad (3)$$

Referenssivirta	Suosittelava raja	
≤ 25 A	Saa käyttää laitestandardien mukaisia laitteita.	
> 25 A – 200 A	Virran harmoninen kokonaissärö saa olla enintään 10 % referenssivirrasta.	
> 200 A	Virran harmoninen kokonaissärö saa olla enintään 8 % referenssivirrasta, mutta kuitenkin vähintään 20 A sallitaan. Lisäksi yksittäisten yliaaltojen osalta:	
	Järjestysluku n	Sallittu arvo referenssivirrasta
	< 11	7,0 %
	11–16	3,5 %
	17–22	2,5 %
23–34	1,0 %	
> 34	0,5 %	

Taulukko 2. Yliaaltovirtojen suurimmat sallitut arvot sähkökäyttäjän liittymiskohdassa (2, s. 44).

2.5.3 Yliaaltojen mittaaminen

Yliaaltojen mittaamisessa tulee ottaa huomioon standardissa SFS-EN 50160 annetut vaatimukset. Standardin mukaan mittausjakson tulee olla viikon mittainen. Standardista poiketen mittausaika voidaan myös valita siten, että saadaan selville mitattavan kohteen riittävä särökäyttäytyminen eli suurin 10 minuutin keskiarvo. Seuranta-aika voi kohteesta riippuen olla tunnin, päivän tai viikon. Mittaus voidaan suorittaa yksivaiheisesti kukin vaihe vuorollaan tai kolmivaiheisesti niin, että kaikkia vaiheita ja nollajohdinta tarkastellaan samanaikaisesti. Mittausten keskiarvo tulee muodostua vähintään 10 mittaustuloksesta. Jo yhden mittauksissa saadun keskiarvon ylittäessä sallitun rajan, katsotaan tämän merkitsevän puutteita verkon laadussa. (2, s. 46.)

3 Työn tarkoitus ja tavoitteet

INEX:n varastojärjestelmän yliaaltojen tarkastelu rajattiin DPS-järjestelmän hisseihin. Varaston suuren koon vuoksi koko järjestelmän tarkastelu olisi ollut liian laaja-alainen insinööriä ajatellen. Työtä voidaan kuitenkin soveltaa tulevaisuudessa suoraan varastojärjestelmän muihin osiin.

Insinööriä tarkoituksena on kartoittaa moottorikäyttöistä mahdollisesti aiheutuvien häiriöiden määrää ja pohtia, voivatko ne aiheuttaa ongelmia järjestelmään. Witron haluaa selvittää laitteista mahdollisesti syntyvien häiriöiden määrän, jotka voivat vaikuttaa päivittäiseen toimintaan. Mittaustulosten perusteella voidaan pohtia mahdollisten yliaaltojen vaikutusta tiedonsiirtohäiriöihin, joita on joskus havaittu järjestelmässä. Yliaaltojen mahdollisia vaikutuksia sähköosien ylikuormitukseen ja rikkoutumiseen voidaan myös tarkastella mittaustulosten perusteella.

Työ pitää sisällään mittauspaikkojen suunnittelun, mittauspöytäkirjan luonnin, mittauslaitteiston valinnan, yliaaltomittaukset sekä mittaustulosten arvioinnin. Witronin tarkoituksena on toistaa mittaukset säännöllisin väliajoin, jolloin voidaan esimerkiksi havaita mahdollisia laitevikoja. Laitteista aiheutuvia häiriöitä ei ole aikaisemmin logistiikkakeskuksessa mitattu, joten mittaustulokset toimivat lähtöarvoina tuleville mittauksille. Viitearvoihin on myös hyvä lisätä standardissa olevat suurimmat sallitut arvot, joiden alapuolella häiriöiden tulisi pysyä.

Mittaustuloksille ei ole asetettu suoranaisia odotuksia, sillä mittaukset suoritetaan ensimmäistä kertaa. Mahdolliset yliaaltojen aiheuttamat häiriöt halutaan poistaa ja siksi mittaukset suoritetaan. Ideaalitalanne olisi, että järjestelmästä syntyvät yliaallot olisivat pieniä eivätkä ne vaikuttaisi laitteiden toimintaan. Tämä osoittaisi sen, että laitteiden mahdolliset sisäänrakennetut suodattimet toimivat odotetulla tavalla. Witron ei itse valmista hissien sähköosia, vaan ne tulevat ulkopuolisilta laitevalmistajilta. Tästä syystä Witron ei itse ole suorittanut häiriömittauksia sähköosiin, sillä ne kuuluvat laitevalmistajien tehtäviin. Järjestelmässä tilanne eroaa kuitenkin koekäyttötilanteesta, jossa tarkastellaan vain yksittäistä laitetta. Mittaukset suoritetaan siksi laajemmassa kokonaisuudessa, jolloin kartoitetaan järjestelmän kokonaiskuva ja laitteiden yhteinen häiriöiden määrä. Tiedettävästi mittaukset ovat ensimmäiset, jotka suoritetaan Witronin valmistamaan ja luovuttamaan järjestelmään. Mittauksissa saadut tulokset tullaan todennäköisesti raportoimaan projekti- ja kehityksyksikölle Saksan pääkonttoriin.

4 Hissit

4.1 Laatikkohissi

DPS-järjestelmä pitää sisällään kahdenlaisia automatisoituja laatikkohissejä, joita kutsutaan nimillä ”CRA” ja ”PML”. Järjestelmässä on CRA-hissejä yhteensä 38 kappaletta ja PML 24 kappaletta. Hissit eroavat hieman käytettävyydeltään ja toteutukseltaan toisistaan, mutta molemmissa sähkökäytöt ovat samanlaisia. *Drive Unit (DU)* eli horisontaalisesti hissiä kuljettava käyttö ja *Lift Unit (LU)* eli vertikaalisesti hissiä liikuttava käyttö ovat servo-ohjattuja. Molemmissa on myös *Loading Device Unit (LDU)* eli laatikkopöytä, jolla laatikoita siirretään ja varastoidaan. Se on pienemmässä mittakaavassa oleva sähkökäyttö, joka pitää sisällään kaksi moottoria. Suurin ero hissien välillä on laatikkopöydän toteutuksessa ja horisontaalisessa pituudessa sekä sen sähkökäytössä.

PML liikkuu noin puolet vaakasuorasta liikkeestä verrattuna CRA-hissin kulkemaan matkaan. Kaksi PML-hissiä vastaa yhtä CRA-hissiä. PML-hississä DU-käyttö pysyy kokoajan paikallaan kun taas CRA-hississä käyttö liikkuu hissien mukana. Kumpaakin liikutetaan hammashihna välityksellä. Myös nosto on toteutettu hihnojen avulla. Laatikkopöydälle mahtuu molemmissa kaksi laatikkoa. CRA-hississä ne ovat jonossa ja PML-hississä pöytä on toteutettu niin, että ne ovat vierekkäin. CRA-hississä laatikko voidaan sijoittaa kahteen syvyyteen, joten LDU-yksikkö pitää sisällään siirtohaarukat hihna kuljettimien lisäksi. PML-hississä puolestaan laatikolla on vain yksi syvyys, joten laatikkopöydällä ovat vain hihnakuljettimet. Molempien hissien huippunopeus on noin 7 m/s.

Järjestelmään syötetään tuotteita, jotka puretaan pahvilaatikoista järjestelmässä käytettäviin laatikoihin. Samoja laatikoita käytetään myös kun tavara lähetetään varastolta kauppoihin. CRA-laatikkohissi toimii tuotteita varastoivana hissinä eli se vie hyllyyn laatikoita, joissa on vain yhtä tuotetta. Sieltä se toimittaa laatikoita tarpeen mukaan keräilyasemille, joissa tilauksen perusteella laatikoihin kerätään erilaisia tuotteita. CRA-hississä on hyllypaikkoja molemmin puolin. X-suunnassa paikkoja on 166 ja Y-suunnassa 20–22, riippuen CRA-hissistä. Molemmilla puolilla on lisäksi kaksi syvyyttä, joihin laatikko voidaan asettaa. Yhdellä CRA-hissillä on siis noin 14 000 laatikkopaikkaa.

Kun laatikkoon on kerätty kaikki tarvittavat tuotteet, ohjaa järjestelmä laatikon PML-hissiin. PML-hissi toimii välivarastona, johon laatikoita varastoidaan odottamaan tilauksen muita laatikoita tai tilaukselle määritellyä lähtöaikaa. PML syöttää ulos aina yhden kokonaisen tilauksen, johon voi kuulua useita laatikoita. PML-hississä on X-suunnassa laatikkopaikkoja 77 ja Y-suunnassa 17 paikkaa. Myös PML pystyy varastoimaan laatikoita sekä vasemmalle että oikealle puolelle. Eli yhdellä PML-hissillä on noin 2 600 laatikkopaikkaa.

4.2 Lavahissi

DPS-järjestelmään kuuluu laatikkohissien lisäksi kaksi lavahissiä. Ne varastoivat tuotteita lavalla hyllyyn ja sieltä tarpeen mukaan siirtävät ne keräilykäytävälle. Lavalta keräilijä kerää tuotteet järjestelmässä käytettävään laatikkoon. Toimintaperiaate lavahisseissä on sama kuin laatikkohisseissä, mutta toteutus on vain isommassa mittakaavassa. Lavahissin pöydällä on paikka vain yhdelle lavalle kerrallaan, mutta varastohyllyssä lava voidaan sijoittaa kahteen syvyyteen CRA-hissin tavoin. Lavapöytä pitää sisällään kahdet haarukat, joilla lava saadaan siirrettyä eri syvyyksiin. Pöytään kuuluu myös ketjukuljettimet, joilla lavaa voidaan siirtää. Vaakasuoranliikkeen veto lavahississä on toteutettu kiskopyörien avulla. Pystysuuntaisessa liikkeessä on puolestaan käytetty kahta vaijeria ja vaijeripyörää, joiden avulla pöytää nostetaan ja lasketaan.

4.3 Hissien hyötyjarrutus

Hissien käyttösovellus on nelikvadranttikäyttö eli moottorin momentin ja pyörimisnopeuden suunta voi vaihdella vapaasti (8, s. 5). Tämän ansiosta molemmissa laatikkohissityypeissä sekä lavahisseissä on käytössä energian talteenotto eli hyötyjarrutus. Kun hissi lähestyy tavoiteltua paikkaa X-suunnassa, nopeutta aletaan pudottaa pienentämällä syötettävää taajuutta. Syöttötaajuuden alennettua riittävästi, alkaa moottori toimia generaattorina ja tuottamaan jarruttavaa momenttia. Näin energian kulkusuunta muuttuu ja energia alkaa kulkemaan servo-ohjaimeen päin. Sama pätee pystysuuntaisessa liikkeessä. Kun nostoyksikköä (LU) lasketaan, siihen vaikuttaa maanvetovoiman aiheuttamaa kiihtyvyys alaspäin. Moottoria ohjataan vetovoimasta aiheutuvaa nopeutta pienemmällä arvolla. Kuorma siis kiihdyttää moottoria, jolloin se toimii generaattorina ja tuottaa energiaa ohjaimeen päin. (3, s. 75.)

Käytössä olevan servo-ohjaimen toimintaperiaate on sama kuin välipiirillisen taajuusmuuttajan. Kolmivaiheinen vaihtojännite tasasuunnataan ensin puolijohteista valmistetun suuntaajan avulla. Tasajännitteen suuruus on 560 VDC, kun syöttävän verkon pääjännite on 400 VAC. Välipiiristä jännite katketaan kuuden IGBT-transistorin avulla takaisin vaihtojännitteeksi. (4, s. 90–91)

Energian kulkiessa ohjaimen päin, syötetään DC-välipiiriä verkon lisäksi myös moottorilta päin. Välipiirin jännite alkaa nousta, jolloin tasasuuntaus verkosta päin katkaistaan. Moottori kuitenkin tuottaa energiaa välipiiriin, jolla ei ole kykyä varastoida sitä ja näin ylimääräinen energia on johdettava pois. Erilaisia tapoja ovat vuojarutus, DC-jarrutus, jarrukatkoja tai verkkovaihtosuuntaaja. Vuojarrutuksessa moottori ylimagnetoidaan ja jarrutusenergia muutetaan moottorissa lämmöksi. DC-jarrutuksessa moottoriin syötetään tasasähköä. Jarrukatkojan avulla energia voidaan siirtää välipiiristä ulkoiseen kuormaan esimerkiksi jarruvastukseen. Monimoottorikäytössä energia voidaan siirtää saman jännitevälipiirin toiselle vaihtosuuntaajalle katkojan avulla.

Verkkovaihtosuuntaajalla energia siirretään välipiiristä takaisin verkkoon. Ohjatun tasasuuntaussillan avulla energian suuntaa voidaan vaihtaa ja se toimii verkkovaihtosuuntaajana. Verkkovaihtosuuntaaja muuttaa DC-välipiirin ylimääräisen energian ohjattujen puolijohdekomponenttien avulla 3-vaiheiseksi vaihtosähköksi ja tahdistaa sen samaan vaiheeseen verkon aaltomuodon kanssa kanssa. (3, s. 76–77.) CRA-hisseissä käytössä oleva hyötyjarrutus on toteutettu monimoottorikäytön ja verkkovaihtosuuntaajan avulla. Hisseissä oleva verkkovaihtosuuntaaja suuntaa verkkojännitteen ja muodostaa DC-välipiirin, josta LU- ja LDU -yksikön ohjaimet ottavat syöttönsä. LU-yksikössä syntyvä jarrutusenergia syötetään takaisin yhteiseen välipiiriin. DU-yksikössä on puolestaan oma ohjain, jota syötetään kolmivaihe verkkojännitteellä. Ohjain on kytketty jarrukatkojan avulla verkkovaihtosuuntaajan muodostamaan DC-välipiiriin. Näin DU-yksikön tuottama jarrutusenergia voidaan käyttää joko muissa moottoreissa tai ylimääräinen energia voidaan syöttää takaisin verkkoon päin.

PML-hisseissä käyttö eroaa CRA-hissien toteutuksesta. Niissä se on toteutettu yhden verkkovaihtosuuntaajan ja yhteisen DC-välipiiri avulla. Välipiiristä syötetään kaikkia ohjaimia. Hississä syntyvä hyötyenergia syötetään yhteiseen piiriin muiden moottoreiden käytettäväksi tai siitä syötetään takaisin verkkoon.

Lavahisseissä moottoreiden syöttö on toteutettu samantyyllisesti laatikkohissien kanssa. Erona on se, että lavahisseissä verkkovaihtosuuntaajia on kaksi kappaletta, jotka tasaavat verkkojännitteen yhteen yhteiseen DC-välipiiriin. Kaikkien moottoreiden ohjaimet ottavat tarvittavan energian yhdestä välipiiristä. Jarrutustilanteessa syntyvä energia syötetään yhteiseen välipiiriin, josta ylimääräinen energia käytetään muissa moottoreissa tai syötetään takaisin verkkoon verkkovaihtosuuntaajien avulla.

5 Työn suorittaminen

5.1 Mittalaitteiston valitseminen

Yrityksellä ei ennestään ole mittaria, joilla yliaaltoja tai muuta sähkönlaatuun liittyviä mittauksia pystyisi suorittamaan. Tarkoituksena on hankkia mittari, jota voidaan sähkönlaadun lisäksi tarkastella ja tallentaa transientteja, jännitekuoppia ja mahdollisia jännitekatkoksia. Työhön kuului myös mittalaitteiston tutkiminen yrityksen tulevaisuuden mittaustarpeita huomioiden.

Yliaaltojen mittaamiseen käytetään logger-ominaisuudella varustettua sähkönlaatu-analysaattoria. Logger-ominaisuus mahdollistaa yliaaltojen tallentamisen pidemmällä aikavälillä. Logger-ominaisuus on välttämätön, sillä tarkasteltavassa kohteessa arvot muuttuvat hissien käytettävyyden mukaan. Hetkellisen arvon tarkastelu ei välttämättä antaisi oikeaa kuvaa yliaaltojen määrästä. Mittausten nopeuttamisen vuoksi mittarin tulisi olla 3-vaiheinen, jolloin yhdestä mittauspisteestä saadaan mitattua kerralla halutut arvot. Mittalaitteistoa valittaessa on myös hyvä huomioida standardissa määritelty vaatimus yliaaltojännitteen mittaamiseen. Mittauksessa tulee tarkastella yliaaltojännitteiden 10 minuutin keskiarvoa ja verrata näitä standardissa annettuun taulukkoon, jonka alapuolella yliaaltojen tulisi pysyä. Myös THD eli kokonaissärö tulee mitata 10 minuutin keskiarvoista. Mittarissa olisi myös hyvä olla jännitteen ja virran tallennusmahdollisuus, jolloin voidaan tarkastella yliaaltojen käyttäytymistä kuormitukseen nähden. Oskillooskooppi-toiminto olisi myös hyvä olla, jolloin voidaan tarkastella virran käyrämuotoa.

Eri valmistajien mittareiden tutkimisen jälkeen parhaimmat vaihtoehdot löytyivät Fluke:n valmistamana. Esille nousi kaksi eri tyyppiä, joilla mittaukset voisi suorittaa. Ensimmäinen vaihtoehto oli Fluke 1730 kolmivaiheinen energialoggeri, joka on suunniteltu tiedonkeräystä varten. Tuote on suunnattu energian tarkasteluun, mutta ominaisuutena

on myös yliaaltojen mittaaminen. Mittarissa on tallennus mahdollisuus ja keskiarvoitusjakson valitsemismahdollisuus. Mittarin huonona puolena on se, että sillä saa yliaaltojen kokonaissäröä mitattua vain 25 yliaallosta. Energialoggeri ei myöskään näytä skooppi kuvaa virrasta ja jännitteestä. Mittari ei olisi paras mahdollinen vaihtoehto yrityksen tulevaisuuden tarpeisiin, sillä mittarilla ei saada mitattua muita vaadittavia arvoja, joita mittarilta odotetaan. (9.)

Toinen Fluke:n mittari-sarja, joka nousi selvityksessä esille, oli Fluke 430 II-sarjan mittarit. Sarja pitää sisällään kolme erilaista mittaria, 434 II, 435 II ja 437 II. Viimeisenä mainittu malli on tarkoitettu erityisesti puolustusvoimien ja ilmailualan käyttöön. Sillä voidaan mitata myös 400 hertsin järjestelmiä. Mittari ei muuten eronnut suuresti 434 II ja 435 II malleista, joten se voitiin sulkea pois valinnasta. 434 II mittari on energia-analysointilaite, joka on optimaalinen energian tiedonkeruuseen, mutta sillä saadaan myös mitattua sähkönlaatuparametreja. Mittarissa on haluttu tallennusominaisuus ja sillä saadaan yliaaltoja mitattua aina 50. yliaaltoon asti. THD arvo lasketaan standardin vaatimusten mukaisesti 40 yliaallon mukaan. Mittariin saadaan aseteltua logger-toiminnossa keskiarvoaika, jonka mukaan arvoja tallennetaan. Ominaisuuksiin kuuluu myös se, että sähkönlaadun standardin arvot ovat suoraan aseteltu mittariin, jolloin mittauksista voidaan suoraan havaita puutteita sähkönlaadussa. Mittarilla saadaan lisäksi mitattua jännitettä, virtaa, taajuutta, epäharmoniaa, jännitekuoppia, käynnistysvirtaa, energia häviöitä, tehoa ja energiaa. Aaltomuotoja voidaan myös tarkastella helposti. 430-sarjan mittareissa on myös ominaisuutena invertterin tehokkuuden mittaus. (9.)

435 II-mittari on sähkönlaatu- ja energia-analysointilaite. Se ei eroa suuresti 434 II-mittarista. Edellä mainitut ominaisuudet kuuluvat myös 435 II-malliin, mutta sen lisäksi sillä voidaan mitata välkyntää, transienteja ja verkon signaalijännitteitä. Mittarilla voidaan myös tallentaa tapahtumien aaltomuotoa ja mittariin kuuluu PowerWave - ominaisuus, jolla voidaan tallentaa jännite-, virta ja taajuussignaalit samanaikaisesti. Insinööriyön mittauksiin 434-malli sopisi hyvin, mutta yrityksen mittaustarpeita vastaisi paremmin 435-malli. 435 olisi suositeltava mittari yrityksen tarpeisiin sen lisäominaisuuksien vuoksi. (9.)

Tarvittava mittari Fluke 435 saatiin lainaan Metropolia Ammattikorkeakoululta. Tarvittavat mittaukset voidaan suorittaa kolmivaiheisesti. Kyseinen mittari on ensimmäistä mallia kun puolestaan tarkastelussa olleet mittarit olivat uusittua mallia. Käytännön eroa

mittareilla ei ole, joten kyseinen mittari sopii erinomaisesti mittaustarpeisiin. Mittaria voidaan tarvittaessa kokeilla yrityksen muihinkin mittaustarpeisiin.

5.2 Mittausten suunnittelu

Mittausten tarkoituksena oli selvittää hissien aiheuttamia häiriöitä, joten mittauspisteet tuli suunnitella sen mukaisesti. Pääkeskukselta mitattaessa mittaustuloksiin tulisi mukaan muun järjestelmän ja kiinteistön mahdolliset häiriöt. Lisäksi hissit saavat syöttönsä eri pääkeskuksilta, jolloin mittauksissa olisi todennäköisesti tullut koko varastorakennuksen häiriöt tarkasteltavaksi.

Järjestelmä on jaettu eri alueisiin, joita kutsutaan GC (Group Control) –alueiksi. Järjestelmän DPS-hissien alueet ovat nimeltään GC 81–86. Sähkönsyöttö on toteutettu siten, että kullakin alueella on oma nousukeskus, jossa kyseisen alueen hissien pääsulakkeet sijaitsevat. Myös ohjauspuoli on toteutettu samaan kaappiin. GC-keskukset ovat parhaimmat kohteet mittauksille. Näin häiriöiden tarkastelu saadaan rajattua hisseihin. Mittauksia suoritettaessa tulee noudattaa SFS 6002 –standardia, joka käsittelee sähkötyöturvallisuutta.

GC 81-alueeseen kuuluu kuusi CRA-hissiä, neljä PML-hissiä ja yksi lavahissi. GC 82-alueessa on yksi CRA-hissi enemmän kuin 81-alueessa, mutta muuten sama kokoonpano. GC 83,84 ja 86 –alueeseen kuuluu kuusi CRA-hissiä ja neljä PML-hissiä. GC 85 pitää puolestaan sisällään seitsemän CRA-hissiä ja neljä PML-hissiä.

Mittaukset päätettiin aloittaa tarkastelemalla yhden hissien häiriöitä. Näin saatiin parempi kuva kokonaisuudesta varsinkin kun hissien häiriökäyttäytymistä ei ole aikaisemmin tutkittu tarkemmin. Yhden hissien häiriökäyttäytymisen tutkimiseen riittää standardista poiketen lyhyempi tarkkailujakso. Mittarin jännite-mittajohdot kytkettiin GC-keskuksen virtakiskoihin pääkytkimen jälkeen, joista hissien sulakkeet ottavat syöttönsä. Maadoitus- ja nollamittaus kytkettiin niiden potentiaaliskiskoihin. Virranmittauslenkit suljettiin yhden hissien syöttävien vaiheiden ympärille. Myös nollajohdon virta oli mittarissa tarkastelussa.

Yhden hissien mittausten jälkeen siirryttiin aluekohtaisiin mittauksiin. Mittaukset aloitettiin GC 81 –alueen nousukeskuksesta. Mittauskytkentä muutettiin siten, että virranmit-

taus silmukat siirrettiin keskuksen syöttöjohtimien ympärille, jolloin tarkastelussa oli kaikkien hissien yhteinen yliaaltojen määrä. Ensimmäinen GC -mittaus suoritettiin standardin SFS-EN 50160 mukaisesti viikon tarkastelujaksolla ja 10 minuutin keskiarvolukemilla. CRA-hissit ovat toteutettu identtisesti toistensa kanssa kuten myös PML- ja lavahissit. Näin ollen voitiin olettaa häiriöiden olevan samaa luokkaa alueesta riippumatta. Alueiden kuormituksessa ja kuormitettavuudessa ei ole myöskään suuria eroja, joten seuraavien GC-alueiden mittaukset suoritettiin lyhyemmän tarkastelujakson mukaisesti. Sopiva tarkastelu jakso muille keskuksille oli vuorokausi, joka oli käytettävän mittarin valinnoissa. Tässä ajassa saatiin riittävä käsitys alueen häiriökäyttäytymisestä ja voitiin verrata sitä viikon mittaiseen tarkastelujaksoon.

6 Mittaustulokset

6.1 Mittausten arvot

Mittausten tarkastelua varten piti luoda taulukko jokaisesta mitattavasta pisteestä. Taulukkoihin oli hyvä lisätä myös standardin vaatimat arvot, joita voidaan käyttää vertailutuloksena. Taulukoiden avulla on myös helppo vertailla eri alueiden tuloksia keskenään.

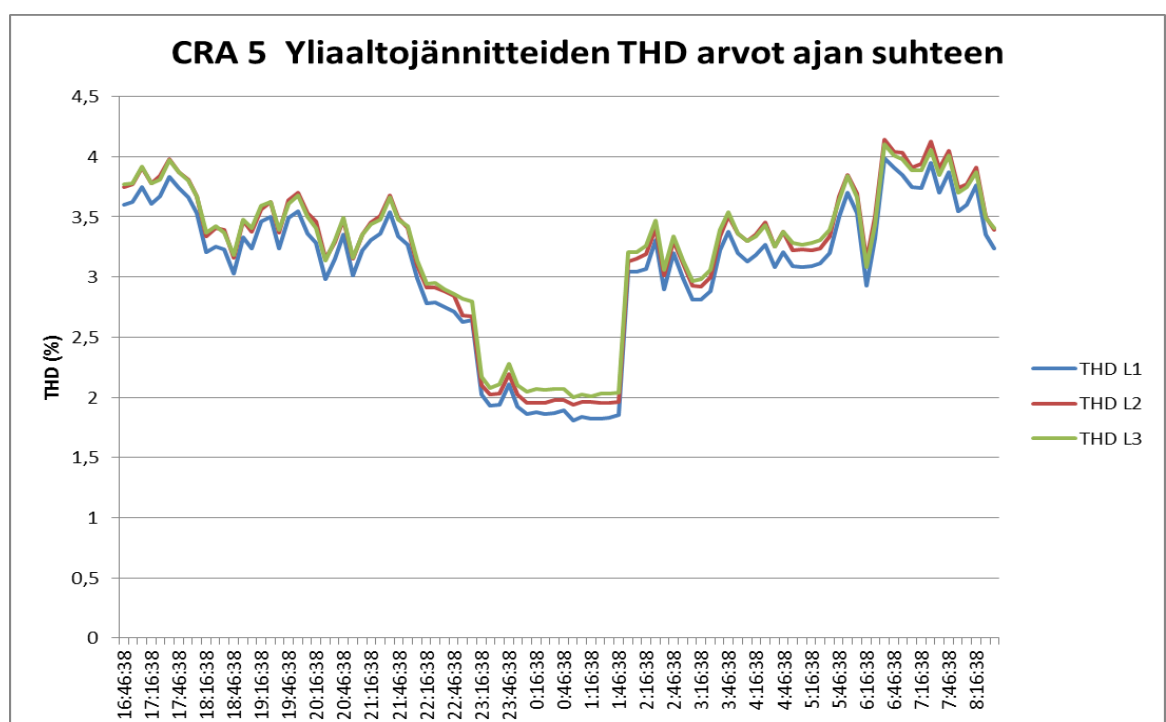
6.1.1 Yliaaltojännitteet

Mittauksissa saadut yliaaltojännitteiden arvot on esitetty alla olevissa taulukoissa. Jokainen mittauspiste on esitetty omassa taulukossaan. Taulukoissa ilmoitetut arvot ovat mittaustuloksissa saatujen lukemien keskiarvo, jolloin saadaan hyvä käsitys yliaaltojen tasosta. Taulukoiden yksi sarake kertoo kyseisen yliaallon maksimiarvon, joka mittausten aikana on esiintynyt. Tätä arvoa verrataan standardin esittämiin arvoihin. Maksimi arvo on taulukoissa merkattu vihreällä, jos arvo on alle standardin. Yli menevä arvo on merkitty punaisella pohjalla. Taulukoiden alle on piirretty graafisesti yliaaltojännitteiden THD –arvojen riippuvuus ajan suhteen jokaisessa mittauspisteessä.

CRA 5

Yliaalto nro.	L1	L2	L3	Max	Standardi
2	0,08	0,07	0,08	0,11	2,00
3	0,10	0,30	0,36	0,42	5,00
4	0,03	0,03	0,03	0,05	1,00
5	2,05	2,29	2,16	3,07	6,00
6	0,03	0,03	0,03	0,04	0,50
7	1,34	1,32	1,40	1,74	5,00
8	0,03	0,03	0,03	0,04	0,50
9	0,30	0,23	0,43	0,5	1,50
10	0,03	0,02	0,03	0,04	0,50
11	0,67	0,72	0,59	1,07	3,50
12	0,03	0,03	0,03	0,05	0,50
13	0,69	0,49	0,71	1,01	3,00
14	0,03	0,03	0,03	0,05	0,50
15	0,30	0,28	0,39	0,56	0,50
16	0,03	0,03	0,03	0,05	0,50
17	0,85	0,68	0,71	1,06	2,00
18	0,04	0,04	0,04	0,06	0,50
19	0,75	0,71	0,84	1,22	1,50
20	0,05	0,04	0,04	0,06	0,50
21	0,15	0,23	0,33	0,45	0,50
22	0,04	0,04	0,04	0,06	0,50
23	0,64	0,51	0,59	0,96	1,50
24	0,04	0,04	0,04	0,07	0,50
25	0,36	0,56	0,54	0,87	1,50
THD	3,07	3,21	3,23	4,14	8,00

Taulukko 3. Yksittäisen CRA –hissin (CRA 5) aiheuttamat yliaaltojännitteet.

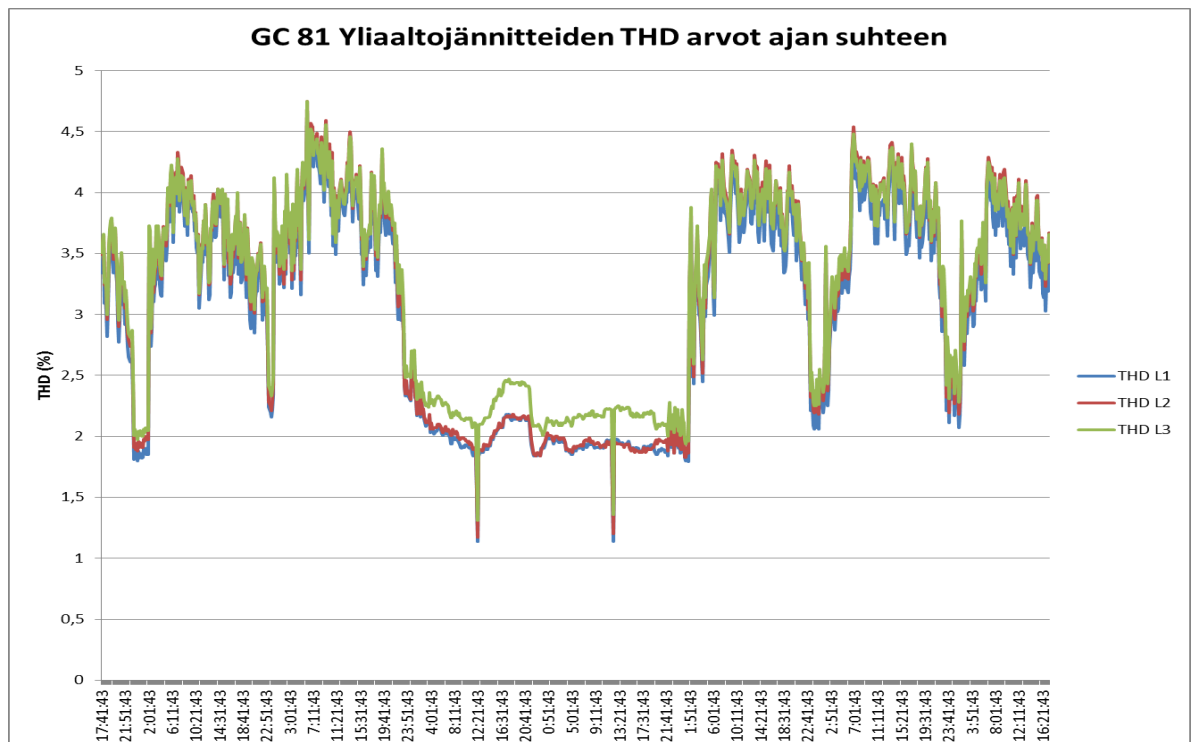


Kuva 5. Yksittäisen CRA –hissin (CRA 5) yliaaltojännitteiden THD arvot ajan suhteen.

GC 81

Yliaalto nro.	L1	L2	L3	Max	Standardi
2	0,08	0,08	0,08	0,16	2
3	0,10	0,28	0,33	0,43	5
4	0,04	0,03	0,03	0,06	1
5	2,01	2,24	2,14	3,65	6
6	0,03	0,03	0,03	0,06	0,5
7	1,32	1,32	1,40	1,88	5
8	0,04	0,03	0,03	0,05	0,5
9	0,31	0,25	0,42	0,52	1,5
10	0,03	0,02	0,03	0,04	0,5
11	0,76	0,80	0,69	1,37	3,5
12	0,03	0,03	0,03	0,05	0,5
13	0,67	0,47	0,69	1,14	3
14	0,03	0,03	0,03	0,06	0,5
15	0,27	0,26	0,40	0,71	0,5
16	0,03	0,03	0,03	0,06	0,5
17	0,79	0,67	0,69	1,16	2
18	0,05	0,04	0,05	0,07	0,5
19	0,71	0,61	0,77	1,29	1,5
20	0,05	0,04	0,04	0,07	0,5
21	0,15	0,20	0,31	0,46	0,5
22	0,04	0,04	0,04	0,07	0,5
23	0,65	0,48	0,62	0,93	1,5
24	0,05	0,04	0,04	0,07	0,5
25	0,37	0,55	0,57	0,89	1,5
THD	3,04	3,14	3,21	4,75	8,00

Taulukko 4. GC 81 –alueen aiheuttamat yliaaltojännitteet.

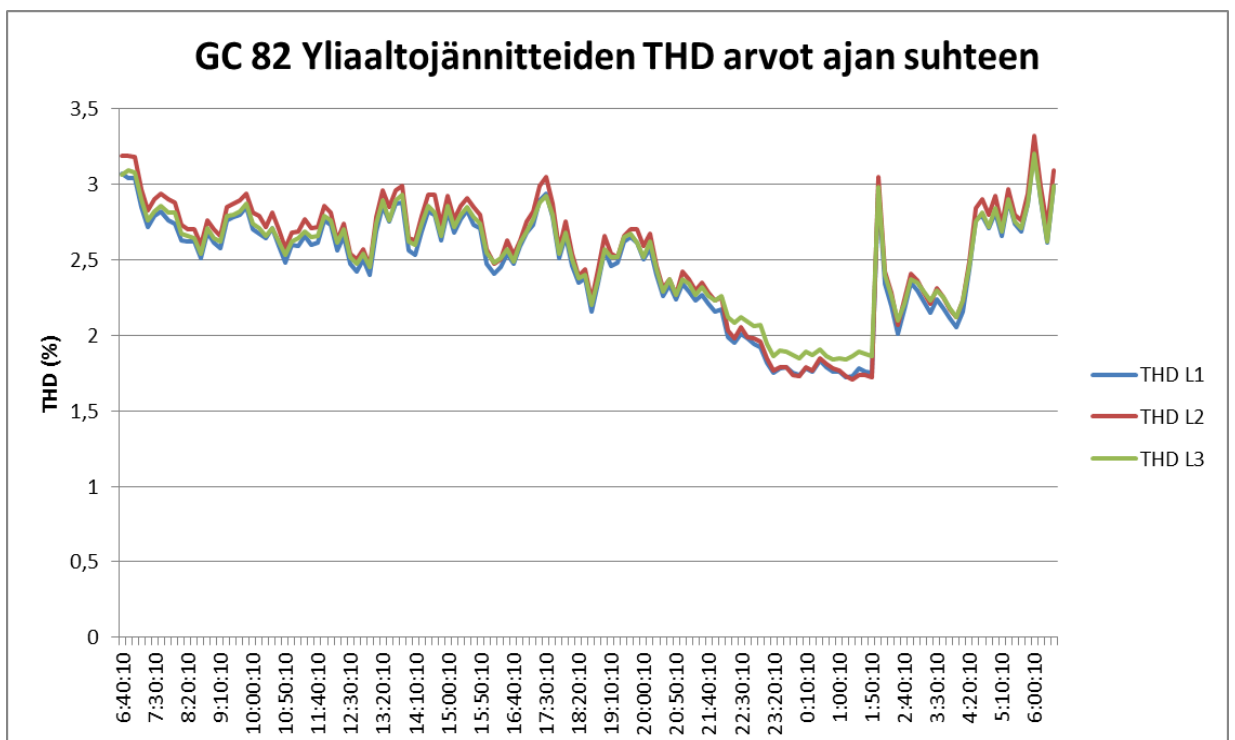


Kuva 6. GC 81 –alueen aiheuttamat yliaaltojännitteiden THD arvot ajan suhteen.

GC 82

Yliaalto nro.	L1	L2	L3	Max	Standardi
2	0,08	0,07	0,07	0,1	2,00
3	0,09	0,16	0,16	0,22	5,00
4	0,04	0,03	0,03	0,05	1,00
5	1,78	1,85	1,80	2,53	6,00
6	0,03	0,03	0,03	0,04	0,50
7	0,94	1,09	1,07	1,38	5,00
8	0,03	0,03	0,03	0,04	0,50
9	0,06	0,08	0,04	0,1	1,50
10	0,03	0,02	0,03	0,03	0,50
11	0,43	0,45	0,43	0,68	3,50
12	0,03	0,03	0,03	0,04	0,50
13	0,43	0,39	0,42	0,64	3,00
14	0,03	0,03	0,03	0,04	0,50
15	0,07	0,13	0,08	0,18	0,50
16	0,03	0,03	0,03	0,05	0,50
17	0,71	0,67	0,58	1,05	2,00
18	0,05	0,05	0,05	0,07	0,50
19	0,81	0,73	0,90	1,19	1,50
20	0,05	0,05	0,05	0,06	0,50
21	0,21	0,25	0,10	0,38	0,50
22	0,04	0,04	0,03	0,05	0,50
23	0,28	0,28	0,22	0,45	1,50
24	0,03	0,03	0,03	0,04	0,50
25	0,14	0,17	0,13	0,29	1,50
THD	2,46	2,54	2,51	3,32	8,00

Taulukko 5. GC 82 –alueen aiheuttamat yliaaltojännitteet.

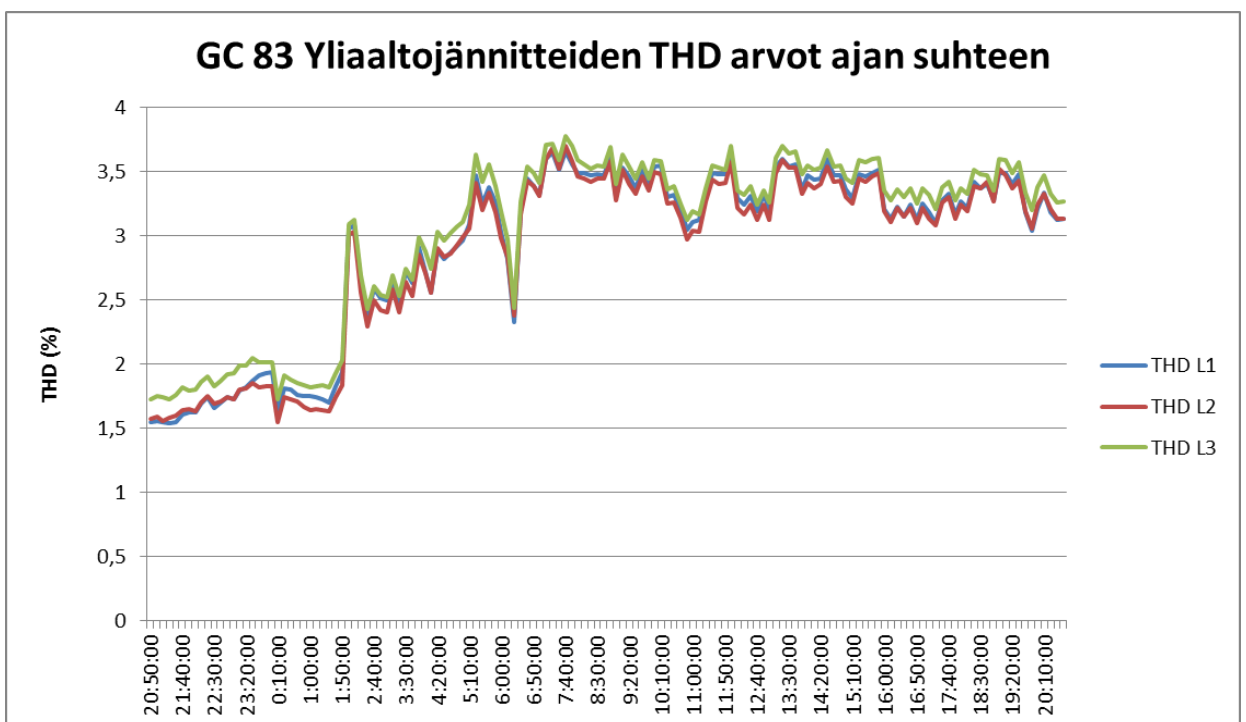


Kuva 7. GC 82 –alueen aiheuttamat yliaaltojännitteiden THD arvot ajan suhteen.

GC 83

Yliaalto nro.	L1	L2	L3	Max	Standardi
2	0,08	0,07	0,08	0,1	2,00
3	0,17	0,34	0,37	0,43	5,00
4	0,05	0,03	0,04	0,06	1,00
5	1,97	2,05	1,97	2,74	6,00
6	0,05	0,03	0,04	0,07	0,50
7	1,30	1,26	1,44	1,82	5,00
8	0,05	0,03	0,04	0,06	0,50
9	0,33	0,25	0,32	0,43	1,50
10	0,05	0,03	0,03	0,07	0,50
11	1,22	1,12	0,98	1,69	3,50
12	0,05	0,04	0,04	0,06	0,50
13	1,02	0,92	1,27	1,85	3,00
14	0,03	0,02	0,03	0,04	0,50
15	0,22	0,04	0,15	0,27	0,50
16	0,02	0,01	0,02	0,02	0,50
17	0,22	0,21	0,26	0,34	2,00
18	0,02	0,01	0,02	0,02	0,50
19	0,23	0,21	0,25	0,35	1,50
20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,50
21	0,05	0,06	0,05	0,08	0,50
22	0,01	0,01	0,01	0,01	0,50
23	0,06	0,16	0,16	0,19	1,50
24	0,01	0,01	0,01	0,02	0,50
25	0,07	0,10	0,06	0,13	1,50
THD	2,91	2,88	3,02	3,78	8,00

Taulukko 6. GC 83 –alueen aiheuttamat yliaaltojännitteet.

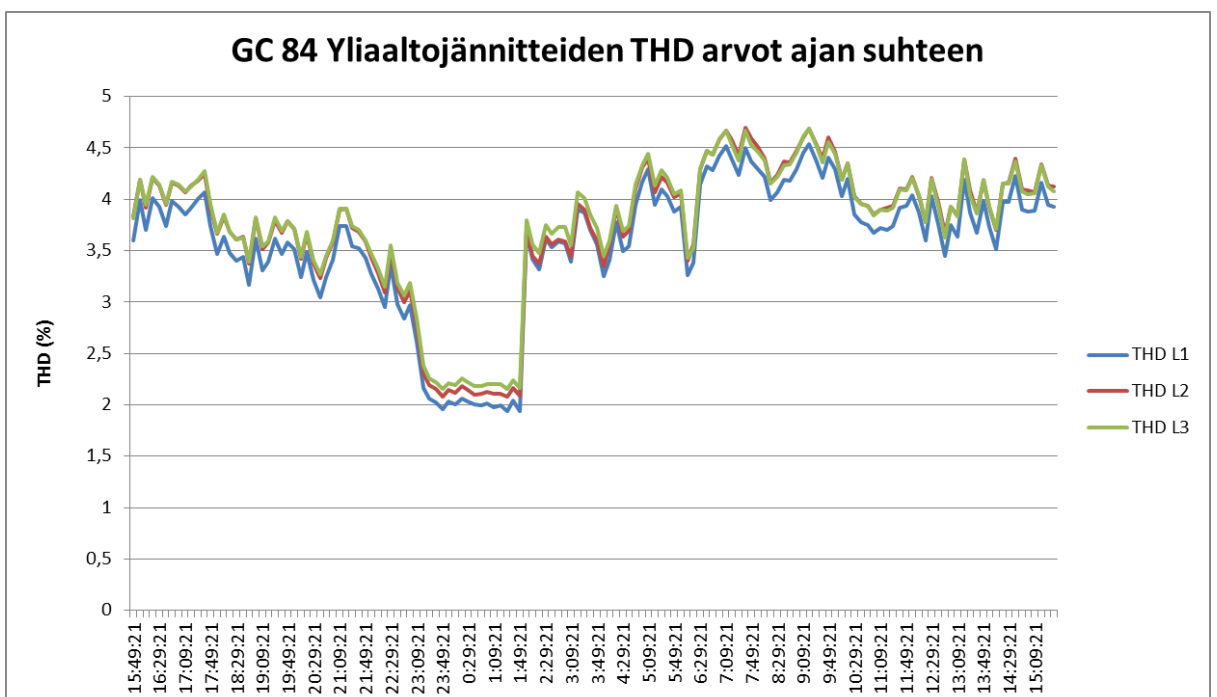


Kuva 8. GC 83 –alueen aiheuttamat yliaaltojännitteiden THD arvot ajan suhteen.

GC 84

Yliaalto nro.	L1	L2	L3	Max	Standardi
2	0,09	0,08	0,08	0,11	2,00
3	0,08	0,28	0,33	0,39	5,00
4	0,04	0,03	0,04	0,05	1,00
5	2,55	2,80	2,73	3,65	6,00
6	0,04	0,04	0,04	0,05	0,50
7	1,43	1,42	1,48	1,7	5,00
8	0,04	0,04	0,04	0,05	0,50
9	0,29	0,21	0,39	0,45	1,50
10	0,03	0,03	0,03	0,04	0,50
11	0,91	0,96	0,83	1,41	3,50
12	0,04	0,04	0,04	0,06	0,50
13	0,82	0,57	0,81	1,09	3,00
14	0,04	0,03	0,03	0,06	0,50
15	0,26	0,25	0,43	0,58	0,50
16	0,04	0,03	0,04	0,05	0,50
17	0,87	0,75	0,77	1,15	2,00
18	0,06	0,05	0,05	0,07	0,50
19	0,76	0,61	0,79	1,09	1,50
20	0,05	0,04	0,05	0,06	0,50
21	0,13	0,23	0,32	0,43	0,50
22	0,04	0,04	0,05	0,06	0,50
23	0,70	0,59	0,64	0,89	1,50
24	0,05	0,05	0,05	0,07	0,50
25	0,38	0,64	0,61	0,85	1,50
THD	3,58	3,74	3,76	4,7	8,00

Taulukko 7. GC 84 –alueen aiheuttamat yliaaltojännitteet.

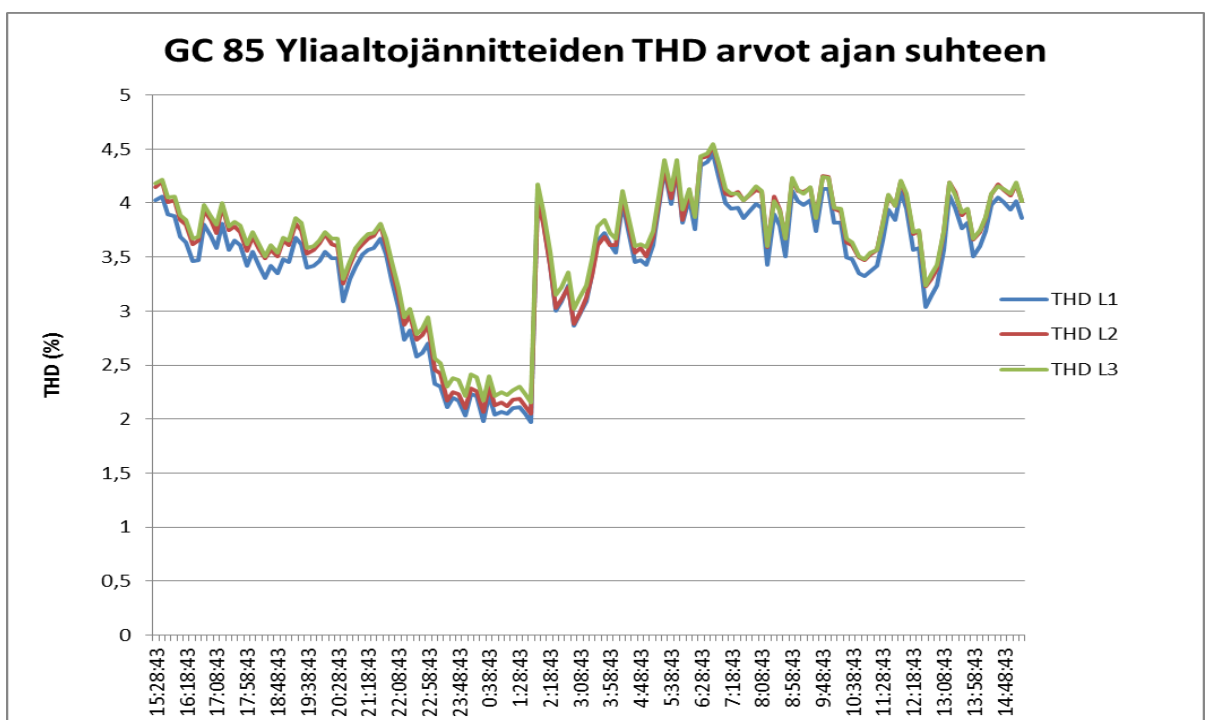


Kuva 8. GC 84 –alueen aiheuttamat yliaaltojännitteiden THD arvot ajan suhteen.

GC 85

Yliaalto nro.	L1	L2	L3	Max	Standardi
2	0,09	0,08	0,08	0,11	2,00
3	0,08	0,29	0,32	0,39	5,00
4	0,04	0,04	0,04	0,05	1,00
5	2,53	2,72	2,66	3,59	6,00
6	0,04	0,04	0,04	0,05	0,50
7	1,37	1,35	1,44	1,65	5,00
8	0,04	0,04	0,03	0,05	0,50
9	0,30	0,21	0,38	0,44	1,50
10	0,03	0,03	0,03	0,04	0,50
11	0,81	0,84	0,72	1,32	3,50
12	0,04	0,04	0,04	0,06	0,50
13	0,75	0,50	0,73	1,09	3,00
14	0,04	0,03	0,03	0,06	0,50
15	0,28	0,25	0,42	0,59	0,50
16	0,04	0,03	0,04	0,05	0,50
17	0,80	0,65	0,67	1,15	2,00
18	0,05	0,04	0,05	0,07	0,50
19	0,68	0,55	0,73	1,08	1,50
20	0,05	0,04	0,05	0,06	0,50
21	0,11	0,24	0,33	0,44	0,50
22	0,04	0,04	0,04	0,06	0,50
23	0,72	0,59	0,65	0,88	1,50
24	0,05	0,05	0,05	0,07	0,50
25	0,38	0,64	0,64	0,82	1,50
THD	3,46	3,57	3,62	4,55	8,00

Taulukko 8. GC 85 –alueen aiheuttamat yliaaltojännitteet.

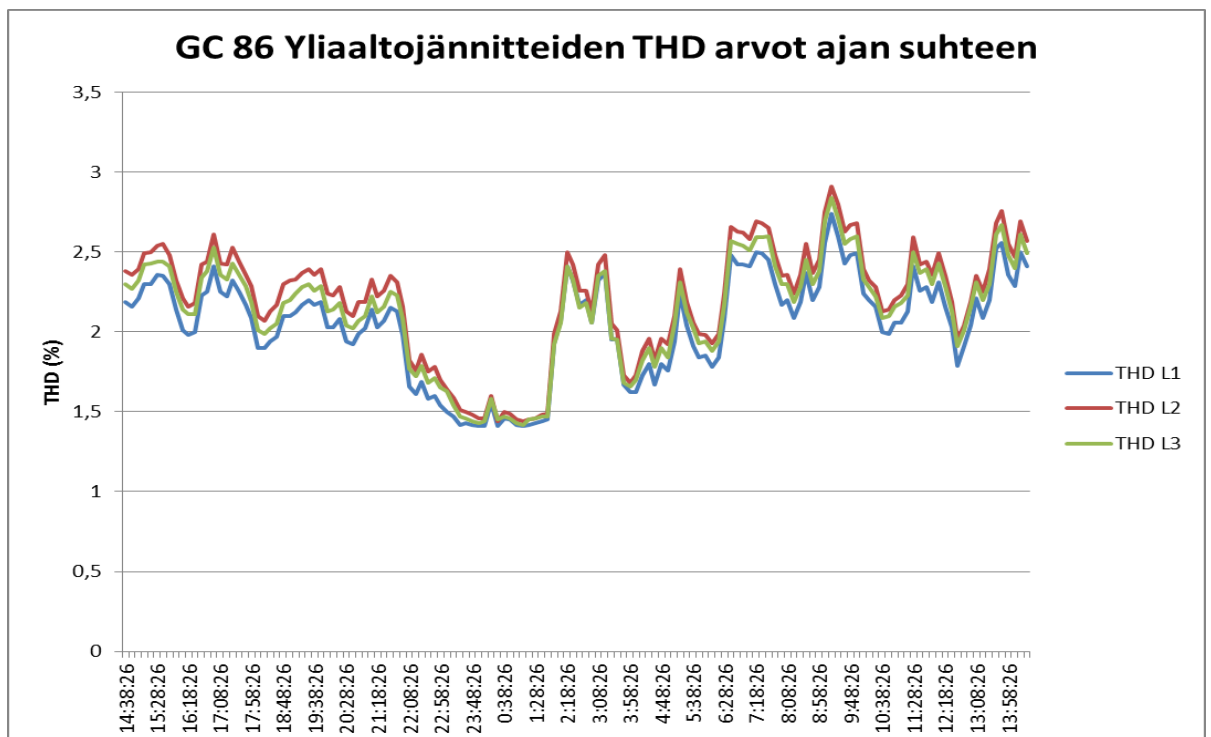


Kuva 9. GC 85 –alueen aiheuttamat yliaaltojännitteiden THD arvot ajan suhteen.

GC 86

Yliaalto nro.	L1	L2	L3	Max	Standardi
2	0,08	0,07	0,08	0,11	2,00
3	0,11	0,13	0,18	0,25	5,00
4	0,03	0,03	0,04	0,05	1,00
5	1,44	1,58	1,53	2,28	6,00
6	0,03	0,03	0,03	0,05	0,50
7	0,67	0,79	0,79	1,1	5,00
8	0,03	0,03	0,03	0,04	0,50
9	0,04	0,07	0,07	0,11	1,50
10	0,02	0,02	0,02	0,03	0,50
11	0,27	0,28	0,28	0,46	3,50
12	0,03	0,03	0,02	0,04	0,50
13	0,52	0,49	0,47	0,65	3,00
14	0,03	0,03	0,03	0,03	0,50
15	0,05	0,07	0,08	0,11	0,50
16	0,02	0,02	0,02	0,03	0,50
17	0,59	0,56	0,53	0,72	2,00
18	0,03	0,03	0,03	0,05	0,50
19	0,51	0,50	0,52	0,66	1,50
20	0,04	0,04	0,04	0,05	0,50
21	0,10	0,14	0,09	0,2	0,50
22	0,04	0,04	0,04	0,06	0,50
23	0,54	0,59	0,52	0,8	1,50
24	0,04	0,05	0,04	0,08	0,50
25	0,33	0,39	0,37	0,56	1,50
THD	2,05	2,20	2,13	2,91	8,00

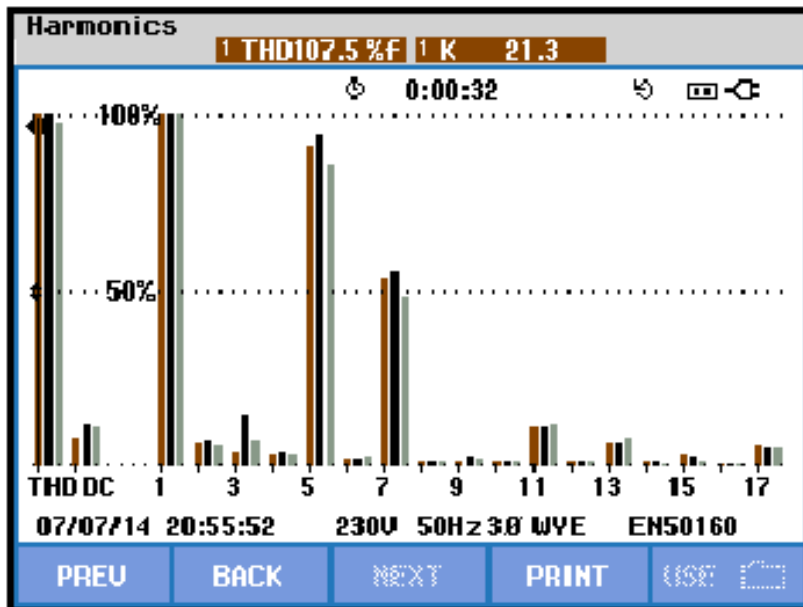
Taulukko 9. GC 86 –alueen aiheuttamat yliaaltojännitteet.



Kuva 10. GC 86 –alueen aiheuttamat yliaaltojännitteiden THD arvot ajan suhteen.

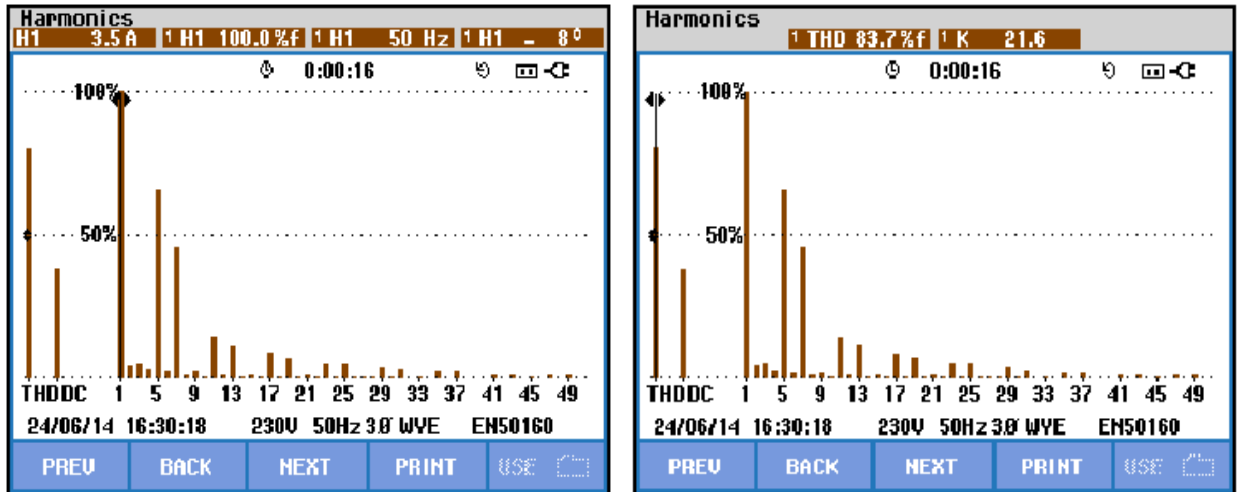
6.1.2 Yliaaltovirrat

Yliaaltovirtojen mittausta osoittautui kyseisissä sovelluksissa hankaliksi. Mittauspisteiden kuorman voidaan sanoa olevan suurimmaksi osin tasasuuntaajakäyttöjä. Hissien ollessa paikoillaan tasasuuntaajien ottama virta on erittäin pieni. Tästä syystä mittauspisteiden syöttämän virran arvo on myös pieni. Tämä aiheuttaa sen, että yliaaltojen osuus syötettävässä virrassa kasvaa erittäin suureksi, jolloin mittaustulokset vääristyvät. Hissien ollessa paikallaan yliaaltovirran THD arvot nousevat reilusti yli 100 %:iin. Sähkölaatumittarin laskiessa 10 minuutin keskiarvoja, nousevat mittaustulosten arvot niin suuriksi, etteivät ne anna oikeaa kuvaa hissien yliaaltovirroista. Tämän takia yliaaltovirtaa on parempi tulkita hetkellisarvosta. Kuvassa 11 on esitetty yhden GC –alueen (GC 83) virran yliaaltospektri kun mikään alueen hisseistä ei liiku. Yliaaltospektri oli samankaltainen myös muissa GC –alueissa. Kuva on otettu mittarin kuvankaappaus –toiminnolla.



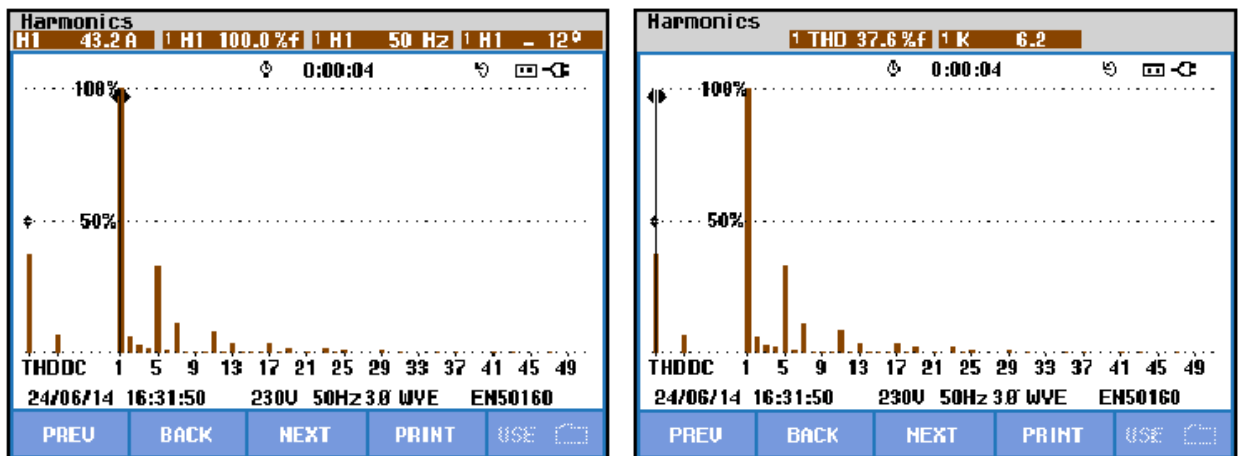
Kuva 11. GC 83 –alueen virran yliaaltospektri hissien ollessa paikallaan.

Kuvassa 12 on esitetty yksittäisen CRA –hissin (CRA 5) virran yliaaltospektri hissien ollessa paikoillaan. Kuvasta 12 huomataan hissien ottaman virran olevan melko pieni. Tällöin virran THD arvo on melko suuri johtuen kuormana olevasta tasasuuntaajasta. Yliaaltospektri on myös 5. ja 7. yliaallon osalta erittäin suurina.



Kuva 12. Yksittäisen CRA –hissin (CRA 5) virran yliaaltospektri hissien ollessa paikallaan.

Kuvassa 13 on esitetty saman hissien yliaaltospektrit sen liikkuessa. Kuvasta nähdään, että kun hissien ottama virta on suurempi, yliaaltovirtojen taso putoaa verrattuna seisovaan hissiin. Virran THD arvo on näin ollen yli puolet pienempi. Kyseistä arvoa voidaan käyttää hissien aiheuttamana THD arvona. Kuvasta pystytään arvioimaan myös yliaaltojen määrää.

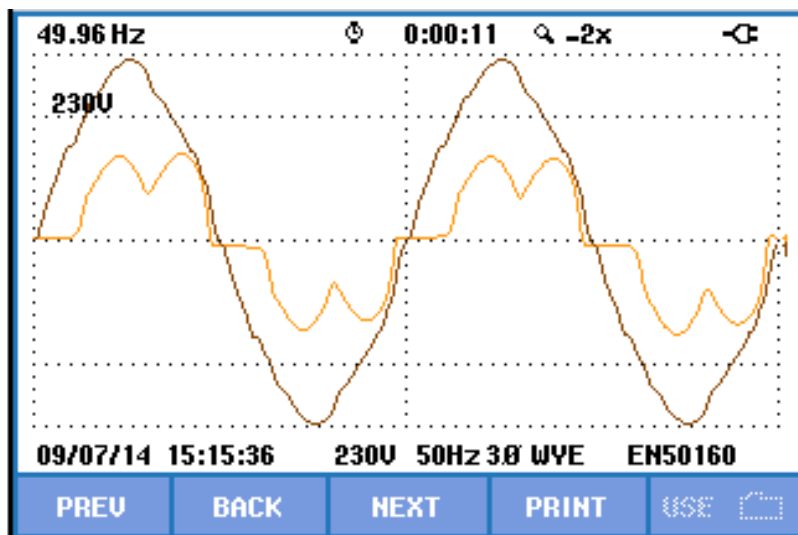


Kuva 13. Yksittäisen CRA –hissin (CRA 5) virran yliaaltospektri hissien liikkuessa.

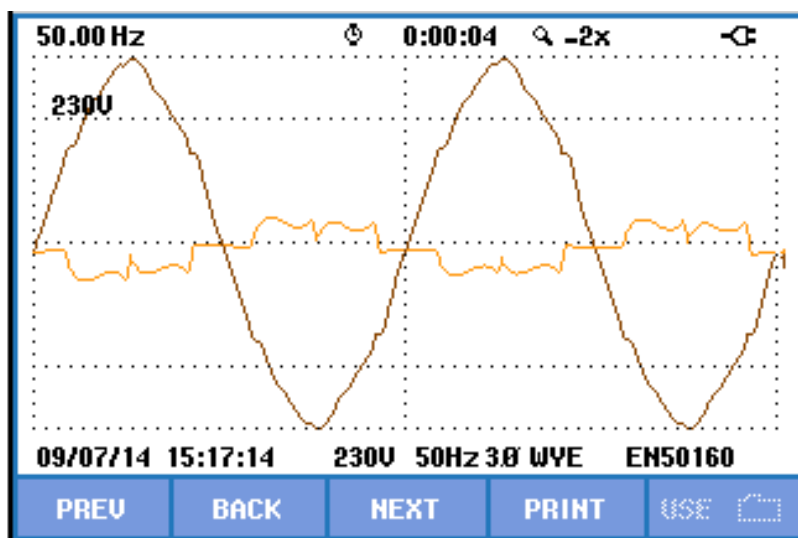
6.1.3 Aaltomuodot

Jännitteen ja virran aaltomuoto GC –alueella on esitetty kuvassa 14. Kyseessä on GC 84 –alueen käyrämuodot ja kuva on kaapattu hetkellä, jolloin virran arvo oli mahdollisimman suuri. Näin samaan kuvaan sai tallennettua selkeän virran aaltomuodon sekä jännitteen. Kuvassa on esitetty vain yhden vaiheen käyrät selkeyden vuoksi. Aalto-

muodot olivat samanlaiset kaikissa mittauspisteissä. Jännitteen käyrämuoto on melko sinimuotoista eikä siinä esiinny pahaa säröytymistä. Aaltomuoto pysyi myös samana kuormituksesta riippumatta. Kuvasta voidaan havaita virran aaltomuodon olevan sini-
muodosta poikkeavaa johtuen tasasuuntaajien ottamasta epälineaarista virrasta.



Kuva 14. GC –alueen jännitteen ja virran aaltomuodot kuormitushetkellä.



Kuva 15. GC –alueen jännitteen ja virran aaltomuodot hyötyjarrutuksen aikana.

Kuvassa 15 puolestaan on esitetty saman mittauspisteen aaltomuoto hyötyjarrutuksen hetkellä. Virran kulkusuunnan muuttuessa, voidaan havaita aaltomuodon kääntyvän verkkoon syötettäessä 180 asteen vaihesiirtokulmaan jännitteeseen verrattuna. Virran aaltomuodossa on havaittavissa säröytymistä paljon, mutta jännitteessä ei jarrutettaessa esiinny suurempaa säröytymistä.

6.2 Tulosten tarkastelu

Mittaustuloksista pystyy hyvin havaitsemaan aikaisemmin teoreettiselta näkökannalta tarkkailtuja 6-pulssitasasuuntaajan ominaisuuksia. Tarkastelussa olevat sähkökäyttökuormat koostuvat pääasiassa 6-pulssitasasuuntaus käytöistä. Tuloksista voidaan havaita tarkastelukohteiden tuottavan kaavan $n = pk \pm 1$ mukaisia yliaaltoja eli 6-pulssisuuntaajalla yliaaltoja 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23 ja 25. Yliaaltojännitetulosten ja virtaspektrin mukaan kyseiset yliaallot ovat suurimmat yliaallot, joita mittauksissa esiintyi. Mittauksissa oli havaittavissa myös muita yliaaltoja, joita tarkastelussa olevien laitteiden pääkäytöt eivät aiheuta. Aiheuttajia ovat jotkin muut hissien komponentit.

6.2.1 Yliaaltojännitteet

Yliaaltojännitteiden arvot pysyivät pääasiassa vertailussa käytettävien standardiarvojen alapuolella. Osassa mittauspisteessä 15. yliaallon arvo nousi korkeammalle kuin standardin antama arvo. 15. yliaaltojännitettä ei teoriassa pitäisi syntyä 3-vaihe tasasuuntaajassa, joka on toteutettu 6-pulssisuuntauksella. Muita teoriasta poikkeavia yliaaltoja ei jännitepuolella mittaustulosten mukaan esiinny. Jos kyseisen yliaallon aiheuttaja halutaan saada selville, on laitteistoa tutkittava ja mitattava yksityiskohtaisemmin. Mittaustuloksista pystyi myös havaitsemaan sen, että 15. yliaallon ylitys viitearvoon verrattuna tapahtui ainoastaan kolmannessa vaiheessa. Arvo nousi korkeaksi ainoastaan yöaikana, jolloin hissien kuormitus ja kokonaissärön määrä on pientä. Tämä sulkee pois ylityksen vaikutuksen käytettävyyteen.

THD –kuvaajista voidaan havaita kuormituksen vaikutus kokonaissäröön. Särön määrä putoaa kussakin mittauspisteessä yöllä huomattavasti alemmas kuin päivällä. GC 81 –alueen mittauksessa voidaan huomata viikonlopun vaikutus särönmäärään, jolloin hissit eivät liiku lainkaan. THD –arvot pysyivät hyvänä kunkin mittauksen aikana eikä lukema noussut missään pisteessä kovin lähelle standardin asettamaa rajaa. STUL:n mukaan kuitenkin jo 3 %:n ylitys THD –arvossa voi aiheuttaa ongelmia joidenkin laitteiden toiminnassa (2, s. 21). Mittausten aikana THD –arvo nousi melkein kaikissa mittauspisteissä yli kyseisen arvon. Laitteiden käytettävyydessä ei havaittu minkäänlaisia ongelmia, jotka voisivat viitata yliaaltoihin.

Mittaustuloksissa on havaittavissa pieniä eroja eri mittauspisteiden välillä. Erot ovat kuitenkin pieniä, joten suurin vaikuttava tekijä mittaustulosten eroavaisuuteen on aluei-

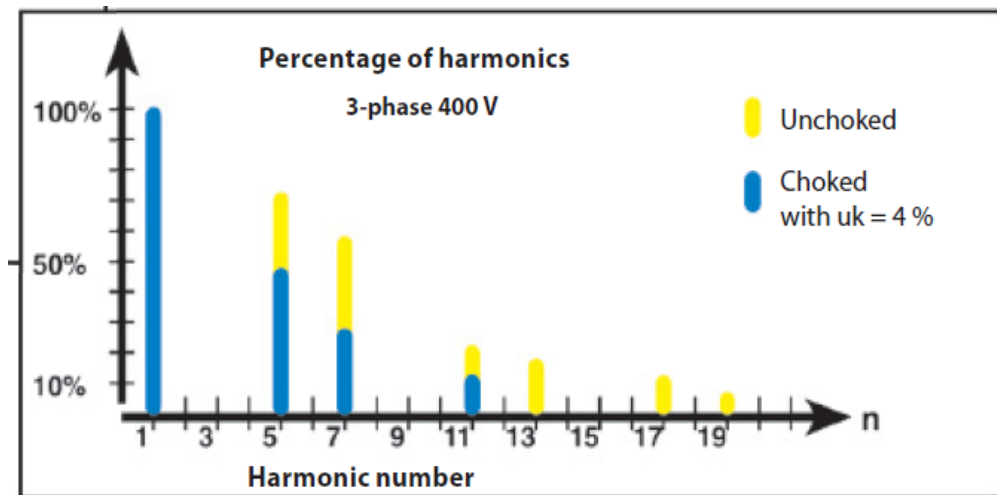
den kuormituksessa. Mittauksia on vaikea suorittaa siten, että alueiden kuormitus olisi täysin identtinen. Tulokset kuitenkin osoittavat, että alueiden yliaaltomäärät ovat samassa luokassa jännitepuolella.

6.2.2 Yliaaltovirrat

Yliaaltovirtojen mittauksista ei saanut suoranaisia lukuarvoja suositusten mukaisilla mittausmenetelmillä. Virran yliaaltojen määrästä sai parhaan käsityksen hetkellisarvon perusteella. Standardi ei ota kantaa yliaaltovirtojen arvoihin, sillä tärkeintä on, että jännitteen aaltomuoto ei säröydy liikaa. STUL:n laatimaa suositusta virran yliaaltojen määrään voidaan käyttää vertailuna kyseisissä mittauksissa.

Kuvasta 13 nähtiin virran THD –arvon olevan CRA –hissin liikkua 37,6 %. Suosituksen mukaan yliaaltovirran kokonaissärö saisi olla maksimissaan 10 %. Mittaukset ylittivät suositellun arvon reilusti, mutta suositeltu arvo on suunnattu sähkökäyttäjän liittymispisteeseen. Yliaaltojen tarkastelussa tärkeintä on tarkkailla jännitteen säröytymistä, koska yliaaltojännitteet aiheuttavat enemmän häiriöitä. Kuvasta 14 voitiin havaita jännitteen käyrämuodon säröytyvän vain hieman, joten virran kokonaissärön määrä ei vaikuta käytettävyyteen.

Kuvassa 16 on esitetty hisseissä käytettävän verkkovaihtosuuntaajan valmistajan antama virran yliaaltospektri. Siinä on kuvattu yliaaltojen määrää verkkokuristimen kanssa ja ilman. Tarkastelussa olevissa kohteissa käytössä on kyseinen kuristin ja sen arvot ovat merkitty kuvaan sinisellä. Kuvaa voidaan verrata mittauksissa saatuun yliaaltospektriin (kuva 14) ja havaita mittauksissa saadun kuvan olevan melko samanlainen kuin valmistajan ilmoittama. Mittauksissa saadussa kuvassa yliaallot ovat hieman alhaisempia, mutta yliaaltospektri käyttäytyy samalla tavalla.



Kuva 16. Käytettyjen verkkovaihtosuuntaajien valmistajan ilmoittama yliaaltovirtojen määrä (10, s. 4)

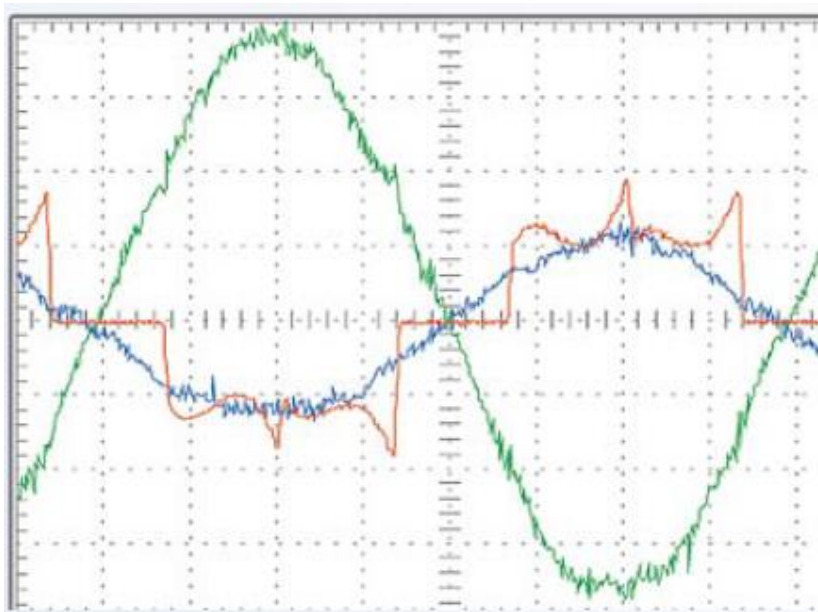
7 Johtopäätökset ja parannusehdotukset

Yliaaltojännitteiden mittauksissa ei esiintynyt merkittäviä ongelmia. Yliaaltojännitteiden pienentämiseen ei mittausten perusteella ole tarvetta, sillä niiden suodattamiseen tarvittava laitteisto olisi suhteessa kallis verrattuna siitä saatuun hyötyyn. Yliaaltojännitteiden ainoa poikkeama oli 15. yliaallon määrä eräissä mittauspisteissä. Ylitys tapahtui kuitenkin ainoastaan yön aikana, jolloin hissien käytettävyys on pienintä. THD –arvo oli myös pienin tällöin. Näistä syistä johtuen arvon ylitys ei ole merkittävää eikä siitä aiheudu haittaa järjestelmään. Yliaaltojännitteiden tasot pysyivät suhteellisen matalina, joten voidaan olettaa etteivät ne aiheuta häiriöitä käytettävyyteen.

Yliaaltovirtojen mittauksissa esiintyi erittäin suurta säröytymistä ja yliaaltotasot nousivat suuriksi. Aaltomuodon tarkastelussa kuitenkin pystyttiin havaitsemaan jännitteen käyrämuodon olevan melko säröytymätöntä. Mittausten aikana ei myöskään esiintynyt sähkönlaadusta aiheutuvia ongelmia. Näistä syistä voidaan todeta, ettei virran säröytyminen aiheuta ongelmaa järjestelmän käytettävyyteen. Virran säröytyminen johtuu ainoastaan verkosta otettavasta epäsymmetrisestä kuormasta. Mittauksissa saatu virran yliaaltospektri osoittautui myös samanlaiseksi kuin laitevalmistajan ilmoittama kuvaaja.

Yliaaltovirtojen vähentämistä varten on saatavilla suodatin harmonisia varten. Verkkovaihtosuuntaajan valmistajalla on saatavana kyseinen suodatin, joka voidaan kytkeä ennen suuntaajaa. Tällä hetkellä käytössä on kuristin, joka vähentää virran kulkusuunnan muutoksesta aiheutuvia virtapiikkejä. Suodattimen ominaisuutena on yliaaltojen

suodattamisen lisäksi myös takaisinsyötettävän virran aaltomuodon parantaminen. Suodattimen kanssa takaisin verkkoon syötettävän virran aaltomuoto on lähes sinimuotoista kun puolestaan kuristimen kanssa syötettävä virta on kanttimaista. Kuvassa 17 on esitetty laitevalmistajan ilmoittamat aaltomuodot virralle takaisin syötön aikana kun käytetään kuristinta ja suodatinta. Kuvaajassa jännite on kuvattu vihreällä, virta kuristimen kanssa punaisella ja virta suodattimen kanssa sinisellä.



Kuva 17. Laitevalmistajan ilmoittama virran aaltomuotojen eroavaisuus kuristimen ja suodattimen välillä (11, s. 5).

Suodattimen avulla saataisiin parannettua virran yliaaltojen tasoa sekä takaisin syötettävän virran aaltomuotoa. Hyödyn aikaansaamiseksi tulisi suodatin asentaa jokaiseen hissiin ja näin ollen kustannukset nousisivat suuriksi. Muutoksen hyöty olisi vähäistä verrattuna kustannuksiin, joten sitä ei ole kannattavaa tässä tilanteessa lähteä tekemään. Asian voisi ottaa huomioon valmistusvaiheessa, jolloin pystytään vaikuttamaan komponenttien valintaan ja kustannukset eivät nouse niin suuriksi kuin jälkepäin vaihdettaessa.

Insinööriyössä suoritettavat mittaukset antavat hyvän käsityksen automatisoitujen hissien aiheuttamista häiriöistä ja sähkönlaadusta niitä syöttävässä verkossa. Suoritettavat mittaukset toimivat myös vertailuarvoina, jos mittaukset joskus uusitaan. Yliaaltojen mittaukset olisi myös hyvä suorittaa muuhunkin osaan järjestelmää, sillä suoritettavat mittaukset rajoittuivat hisseihin. Sähkökäytöt ovat erilaisia muussa osassa järjestelmää, joten tuloksissa voi ilmetä eroavaisuuksia yliaaltojen suhteen. Mittausten suorittamisessa voidaan hyödyntää insinööriyön mittausmenetelmiä. Insinööriyön tuloksia voi-

daan myös mahdollisesti ottaa huomioon yrityksen tulevissa projekteissa. Yritys on myös työn jälkeen tietoisempi laitteiden muodostaman kokonaisuuden aiheuttamista häiriöistä.

Lähteet

- 1 Witron yritystietoa. 2014. Verkkodokumentti. <<http://www.witron.de/en/company>>. Luettu 8.6.2014.
- 2 Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL Oy: Männistö, Matti – Hietalahti, Lauri – Seesvuori, Reino – Seesvuori, Vesa – Wilén, Tarmo. 2006. Yliaallot ja kompensointi. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 3 Hietalahti, Lauri. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Vantaa: AMK-Kustannus OY, Tammertekniikka.
- 4 Hietalahti, Lauri. 2011. Tehoelektroniikan perusteet. Vantaa: AMK-Kustannus OY, Tammertekniikka.
- 5 Markku J.J. Mäkinen – Raimo Kallio. 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Keuruu: Otava.
- 6 ABB. 2001. Tekninen opas nro. 6 – Vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas. Verkkodokumentti. <[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/\\$file/tekninen_opas_nro_6.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/$file/tekninen_opas_nro_6.pdf)>. Luettu 14.6.2014.
- 7 Suomen standardisoimisliitto SFS. 2010. Standardi SFS-EN 50160, Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Verkkodokumentti <<http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/ProductServlet?action=productInfo&productID=241486>>. Luettu 22.6.2014, Metropolia Ammattikorkeakoulun Online-sopimuksella.
- 8 ABB. 2001. Tekninen opas nro. 8 – Sähköinen jarrutus. Verkkodokumentti. <[http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/2e30f9c0e2d07b9ac1256d28004152df/\\$File/Tekninen_opasnro8.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/2e30f9c0e2d07b9ac1256d28004152df/$File/Tekninen_opasnro8.pdf)>. Luettu 10.6.2014.
- 9 Fluke, sähkönlaatutyökalut. .2014. <<http://www.fluke.com/fluke/fifi/products/sahkonlaatumittarit.htm>>. Luettu 12.6.2014.
- 10 KEB kuristimien ja suodattimien luettelo. 2014. Verkkodokumentti. <https://www.keb.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/media/Catalogs/0000000-5LIN-02-2014.pdf&t=1406753579&hash=032c8b9e875901e38769d9b61d4ac1feb137aba7>. Luettu 21.7.2014.

- 11 KEB tuotesesite. 2014. Verkkodokumentti.
<https://www.keb.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/media/Cata-logs/000000091R6_2009_M08.pdf&t=1406753579&hash=4b07e6336533d529af349e8fb73b3e765a13fa33>. Luettu 21.7.2014.