



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# YLIAALTOJEN ANALYSOINTI TOIMISTO- VERKOSSA

Raine Kohopää

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2019  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Sähkövoimatekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Sähkövoimatekniikka

KOHOPÄÄ, RAINE:  
Yliaaltojen analysointi toimistoverkossa

Opinnäytetyö 32 sivua  
Toukokuu 2019

---

Tässä opinnäytetyössä analysoitiin yliaaltoja Polar 2000 Oy:n Kouvolan toimipisteellä. Toimipisteellä oli havaittu led-valaisimien särinää sekä muiden sähkölaitteiden häiriöitä. Naapurikiinteistössä, joka on osana samaa 10 kV:n sähköverkkoa, oli havaittu samanlaisia häiriöitä jo aiemmin, minkä vuoksi kyseiseen kiinteistöön oli uusittu sähkönsyöttö. Tarkoituksena oli siis saada selville toimipisteen sähkön laatu ja pohtia, kuinka se vaikuttaa käytettäviin sähkölaitteisiin ja pohtia, millä toimenpiteillä häiriöitä voidaan vähentää.

Toimipisteen sähkökeskuksesta mitattiin yliaallot vaihekohtaisesti jännitteestä sekä virrasta. Mittaustulosten perusteella selvitettiin yliaaltojen määrä sähköverkossa. Yliaaltoja esiintyi jännitteessä sekä virrassa. Kokonaissäröt laskettiin jännitteelle ja virralle mitattujen jännite- ja virtaspektrien perusteella. Standardi neuvoo yliaaltojen mittaustavan eri tavalla, joten tässä työssä tehdyt mittaukset toimivat ainoastaan perustietona mahdollisia jälkiselvityksiä varten.

Toimistoverkon kuormalaitteet ovat pienitehoisia, joten niiden ei voida olettaa olevan syy jännitteen säröytymiseen. Verkkajännitteen säröytyminen aiheutuu suuritehoisesta tasa-suuntauskäytöstä, joka on kytketty samaan 10 kV:n verkkoon, josta toimipisteen sähkökeskus saa syöttönsä. Säröytynyt jännite voi lyhentää toimistolla käytettyjen sähkölaitteiden käyttöikää. Standardin mukaan jännite on kuitenkin laadultaan kohtuullista. Jotta mahdollisten laiterikkojen korvausvelvollisuus voitaisi siirtää sähköverkon haltijalle, pitäisi keskuksesta suorittaa standardin mukaiset mittaukset.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme Electrical Engineering  
Option of Electrical Power Engineering

KOHOPÄÄ, RAINE:  
Harmonics analysis at office environment

Bachelor's thesis 32 pages  
May 2019

---

The purpose of this thesis was to analyze harmonics at Polar 2000 Ltd office in Kouvola. Ther humming led light and other electrical device interference were detected at the office. In the neighbor premise, which is a part of the same 10 kV grid, were earlier detected same kind of interferences, which led to renovation of the electric supply of the premise. The aim was to determine the quality of the electricity at the office and how it can impact the usage of electrical devices and considering action which could help reduce the interferences.

Harmonics were measured from the office switchboard one phase at a time from voltage and from current. Based on the measurements the quantity of harmonics at the grid was solved. Harmonics occurred in the voltage and in the current. Total harmonic distortions were calculated from voltages and currents based on the spectral analyses of the voltages and currents. Standard advices were measured differently, so the measurements made in this thesis acts only as base knowledge for possible further researches.

Loads in the grid of the office are low in power, it cannot be expected cause the distortion in the supply voltage. Supply voltages distortion is caused by powerful rectifier which is connected to the same 10 kV grid that the office gets its supply voltage. Distorted voltage can shorten the lifespan of electrical devices used in the office. Voltage quality is nevertheless reasonable from standards point of view. In order to shift the liability to the operator for compensation of possible damaged electric devices, measurements that fulfills standards requirements must be done.

---

Key words: harmonic, distortion, voltage

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	YLIAALTOJEN TEORIA.....	7
2.1	Fourier'n analyysi ja kokonaissärö .....	7
2.2	Yliaaltojen lähteet .....	8
2.3	Yliaaltojen vaikutukset sähköverkossa .....	8
2.4	Yliaaltojen ehkäisy ja vähentäminen .....	10
2.5	Yliaaltojen rajoitukset liittymispisteessä.....	10
3	MITTAUKSET .....	13
3.1	Yliaaltojen mittaaminen pienjänniteverkossa.....	13
3.2	Mitattava kohde .....	13
3.3	Järjestelyt ja mittalaitteet.....	16
4	MITTAUSTULOKSET JA ANALYSOINTI.....	17
4.1	Graafiset tulokset .....	17
4.2	Kokonaissärö .....	26
5	TOIMENPIDEVAIHTOEHDOT.....	29
6	POHDINTA .....	30
	LÄHTEET .....	31
	LIITTEET.....	32

**LYHENTEET JA TERMIT**

THD	kokonäissärö, total harmonic distortion
Perustaajuus	sähköverkon perutaajuus, 50 Hz
Yliaaltotaajuus	Muu taajuuskomponentti jännitteessä tai virrassa

## 1 JOHDANTO

Harmoniset yliaallot heikentävät sähkön laatua ja aiheuttavat erilaisia häiriöitä sähköverkossa. Sähköurakointiyrityksen toimipisteellä käytetään päivittäin sähköverkkoon kytkettyjä kojeita ja laitteita, joiden toiminta on oleellista toiminnan ylläpitämiseksi.

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin harmonisia yliaaltoja Polar 2000 Oy:n Kouvolan toimipisteen sähkökeskuksesta. Työn toimeksiantaja on sähköurakointiyritys Polar 2000 Oy, jonka Kouvolan toimipiste muutti syksyllä 2017 uuteen osoitteeseen. Uudet tilat olivat saneerattu ennen muuttoa, jotta ne palvelisivat paremmin toimistotyötä.

Uusien toimitilojen naapurikiinteistössä oli havaittu sähköverkon häiriöitä jo vuotta aiemmin, ennen Polarin toimiston muuttoa kyseiselle alueelle. Häiriöistä johtuen naapurikiinteistöön uusittiin verkostoliityntä, koska häiriöt aiheuttivat ongelmia valaisimien sekä muiden sähkölaitteiden kanssa. Verkostoliitynnän uusimisessa vanha liittymä purettiin ja kiinteistön viereen asennettiin uusi muuntamo, jonka kautta kiinteistö liitettiin eri verkkoon. Liittymän saneerauksen jälkeen, sähkölaitteiden ja valaisimien häiriöt poistuivat, joten liittymäsaneeraus oli onnistunut.

Polarin uusissa toimitiloissa huomattiin samanlaisia häiriöitä. Valaisimet pitävät ajoittain jopa häiritsevää särinää ja kaikki sähkölaitteet eivät aina toimineet normaalisti. Tästä heräsi ajatus suorittaa yliaaltojen analyysi uudella toimipisteellä. Mittaukset suorittamalla saataisiin selville, onko jakeluverkon haltija mahdollisesti vastuussa, jos jokin sähkölaite vikaantuu tai menee rikki.

Sähköverkon häiriöiden lähde ei ole suoranaisesti tiedossa. Voidaan kuitenkin olettaa häiriöiden johtuvan samassa verkossa osana olevasta suuritehoisesta tasasuuntauskäytöstä. Kyseinen tasasuuntaajakäyttö ei sijaitse samassa kiinteistössä Polarin toimipisteen kanssa, mutta se on kuitenkin osana samaa 10 kV:n verkkoa.

## 2 YLIAALTOJEN TEORIA

### 2.1 Fourier'n analyysi ja kokonaissärö

Yliaallot ovat sinimuotoisen jännitteen tai virran perustaaajuuden monikerrannaisia. Kun sähköverkossa havaitaan särötyynyttä jännitettä tai virtaa, aiheutuu se yliaalloista. Kyseisen särötyymisen voidaan ajatella teorian pohjalla muodostuvan monista eritaajuisista siniaalloista, jotka summautuvat keskenään. Tällöin summautunut siniaalto voidaan jakotella komponenteiksi Fourier-analyysin avulla. Yliaaltojen matemaattinen käsittely perustuu kyseiseen Fourier-analyysiin. Jaksollinen funktio  $f(t)$  voidaan esittää esimerkiksi jännitteen  $u(t)$  funktiona Fourier'n sarjana kaavalla 1 (Männistö ym. 2006, 26).

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \quad [1]$$

Jossa:

$n$  = kokonaisluku

$T$  = jakson pituus

$U_0$  = jännitteen tasakomponentti

$A_n$  ja  $B_n$  = Fourier'n sarjan kertoimia

Kaava 1 voidaan muuttaa muotoon, jossa kukin taajuuskomponentti on määritelty amplitudinsa ja nollavaihekulmansa avulla. Kaavassa 2 on esitetty kyseinen muodostuva funktio (Männistö ym. 2006, 26).

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \hat{u}_n \sin(n\omega t + \alpha_n) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2}U_n \sin(n2ft_1 + \alpha_n) \quad [2]$$

Jossa:

$\hat{u}_n$  = amplitudi

$\omega$  = kulmanopeus

$\alpha_n$  = nollavaihekulma

Kaavalla 2 voidaan esittää jaksollinen epäsinimäinen funktio tasakomponentin, perustaa-juisen komponentin ja harmonisten yliaaltojen summana. Harmoniset yliaallot ovat perustaa-juisen aallon kokonaislukuisia monikertoja ja ne tunnistetaan järjestyslukunsa  $n$  perusteella. Yliaallon järjestysluku saadaan jakamalla yliaallon taajuus perustaa-juudella (Männistö ym. 2006, 26).

Jännitteen kokonaissärö THD (total harmonic distortion) kuva harmonisten yliaaltojen suhdetta jännitteen tehollisarvoon nähden. Särökerroin saadaan laskettua kaavalla 3 (Männistö ym. 2006, 29).

$$THD = \frac{\sqrt{h \sum_{2,3,\dots}^{\infty} U_h^2}}{U} \quad [3]$$

Jossa:

$U$  = jännitteen tehollisarvo

$U_h$  = yliaaltojännitteen tehollisarvo

Samat laskentamallit sopivat myös yliaaltovirtojen tarkasteluun.

## 2.2 Yliaaltojen lähteet

Yliaaltoja aiheuttavat verkosta epäsinimäistä virtaa ottavat laitteet. Muun muassa tasa- ja vaihtosuuntaajat, hakkuriteholähteet, elektroniikka, purkauslamput, hitsauslaitteet, valo-kaariuunit sekä vikaantuneet muuntajien ja moottorien magneettiipiirit ovat tällaisia laitteita (Männistö ym. 2006, 30).

Loistehon kompensoitiin käytettävät rinnakkaiskondensaattoriparistot saattavat muodostaa verkon induktanssien kanssa haitallisia resonanssiipiirejä. Resonanssiipiirien seurauksena verkossa olevat yliaallot voivat voimistua merkittävästi (Männistö ym. 2006, 30).

## 2.3 Yliaaltojen vaikutukset sähköverkossa

Yliaallot aiheuttavat häviöiden kasvua sähköverkossa sekä verkon käyttäjien sähkölaitteistoissa, myös laitteiden kuormitettavuus alenee. Mittareiden virhenäyttämät sekä suo- jareleiden virhetoiminnot voivat myös aiheutua yliaalloista. Laitteiden häiriöiden syynä



on usein sähköverkon käyttäjien omien laitteiden synnyttämät yliaallot sekä muut häiriöt (Männistö ym. 2006, 30).

Yliaallot aiheuttavat energianmittauksessa muutoksia saatuihin tuloksiin. Sähköverkon laskutusmittauksen kannalta tämä on huono asia, koska kuluttaja voi joutua maksamaan suuremmasta määrästä energiaa, kuin mitä todellinen tilanne on, olettaen, että yliaallot ja niiden aiheuttamat muutokset mittauksessa ovat aiheutuneet muista kuin käyttäjän omista sähkölaitteista (Männistö ym. 2006, 31).

Nollajohdin ei kuormitu symmetrisellä kolmivaihekuormalla laisinkaan. Epäsymmetrisellä kuormalla nollajohdin voi kuormittua yhtä paljon, kuin kuormittunein vaihejohdin. Yliaallot kuormittavat nollajohdinta, erityisesti kolmella jaottomat yliaallot voivat kuormittaa nollajohdinta, koska ne summautuvat nollajohtimeen. Jos yliaaltoja ei ole otettu huomioon, nollajohdin voi täten olla alimitoitettu ja aiheuttaa turvallisuusriskejä. Johtimilla ja niiden eristeillä on tietty käyttölämpötila ja jatkuvasti ylikuormitettu johdin voi aiheuttaa palovaaran. Tämä koskee erityisesti vanhoja huonosti ylläpidettyjä asennuksia, esimerkiksi vajavaisesti koteloituja keskuksia, joihin ajan mittaan voi kertyä helposti syttyvää pölyä (Männistö ym. 2006, 32).

Muuntajat edellyttävät normaalitilanteessa, että jännite ja virta ovat sinimuotoisia. Jännitteen yliaallot suurentavat muuntajan tyhjäkäyntihäviöitä. Virran yliaallot aiheuttavat muuntajissa kuormitushäviöitä, joka voi olla verkon kannalta merkittävä tekijä. Kuormitushäviöt aiheuttavat ylimääräistä muuntajan kuumenemista, joka voi olla myös turvallisuusriski joissakin tilanteissa (Männistö ym. 2006, 34).

Moottoreissa yliaallot aiheuttavat ylimääräistä lämpenemistä, ylimääräisiä eritaajuisia momentteja sekä ääni-, ja värähtelyilmiöitä. Yliaaltojen aiheuttamat magneettikentät aiheuttavat nämä ilmiöt. Jos yliaallon magneettikenttä on samansuuntainen, kuin moottorin magneettikentän pyörimissuunta, moottori pyrkii pyörimään nopeammin, jolloin syntyy ylimääräistä lämpöä. Yliaallon magneettikentän ollessa negatiivinen moottorin magneettikenttään nähden, yliaaltojen magneettikenttä jarruttaa moottoria (Männistö ym. 2006, 34–35).

## 2.4 Yliaaltojen ehkäisy ja vähentäminen

Yliaaltoja ehkäistään ja vähennetään erilaisilla kompensointilaitteilla ja suotimilla. Laitteet vaihtelevat verkoston kompensoitavien laitteiden ja yliaaltojen mukaan. Kompensointilaitteistoja ovat muun muassa kondensaattoriyksiköt, rinnakkaiskondensaattoriparistot, sarjakondensaattoriparistot, estokelaparistot ja yliaaltosuodatin.

## 2.5 Yliaaltojen rajoitukset liittymispisteessä

Verkon haltija on vastuussa sähkön laadusta liityntäkohdassa, joka on määritelty liityntäsopimuksessa. Sähkön laadun pitää täyttää standardin SFS-EN 50160 ”Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet”. Verkon haltijan näkökulmasta katsottuna käyttäjän ja sähkönjakeluverkon välillä siirtyviä yliaaltoja tarkastellaan aina liityntäkohdassa, jossa käyttäjän sähkölaitteisto liittyy yleiseen jakeluverkkoon. Mikäli useampi eri käyttäjä saa sähkönsä saman liityntäkohdan kautta, voidaan tarkastelupisteeksi ottaa esimerkiksi käyttäjäkohtainen energianmittauspiste. Tämä voi olla usein tarpeen esimerkiksi asunto-osa-  
keyhtiöissä tai liikekiinteistöissä (Männistö ym. 2006, 42).

Verkon käyttäjien itse aiheuttamiinsa yliaaltoihin standardi SS-EN 50160 ei ota kantaa, mutta kyseisen standardin perusteella käyttäjä voi halutessaan arvioida käyttämänsä sähköverkon tilaa. Verkkoyhtiö voi halutessaan suorittaa yliaaltomittauksia verkkoon liittyjän puolella, mikäli käyttäjän aiheuttamat häiriöt siirtyvät yleisen jakeluverkon puolelle (Männistö ym. 2006, 42).

Taulukoissa 1 on eitetty pienjänniteverkkoon liittyneen käyttäjän suurimmat sallitut yliaaltovirrat liittymiskohdasta tarkasteltuna.

TAULUKKO 1. Referenssirajat pienjänniteverkon liittymiskohdassa (Männistö ym. 2006, 44).

Referenssivirta	Suosittelava raja	
≤ 25 A	Saa käyttää laitestandardin 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 %	

Taulukossa 1 on annettu standardin SFS-EN 50160 mukaiset rajat, jotka käyttäjä saa tai ottaa jakeluverkosta normaalitilanteessa. Koska osuudet ovat sidottu standardissa referenssivirtaan, ovat sähköverkon käyttäjät tasapuolisessa asemassa toisiinsa nähden. Sähköverkon haltijan suostumuksella voidaan standardin mukaiset rajat kuitenkin ylittää, mikäli paikalliset verkko-olosuhteet sen sallivat. Käyttäjä on tällöin itse velvollinen pienentämään aiheuttamiensa yliaaltovirtojen määrät osuutensa mukaiseen määrään, kun muut käyttäjät tarvitsevat oman osuutensa verkon yliaaltojen siirtokyvystä. Esimerkki tästä voisi olla teollisuusalue, jossa on kaksi sähköverkon käyttäjää, jotka harjoittavat toimintaansa eri ajankohtina vuoroittain. Tällöin yksi käyttäjä kerrallaan voisi kuormittaa jakeluverkkoa ns. molempien käyttäjien puolesta (Männistö ym. 2006, 44–45).

Taulukko 2 Harmonisten yliaaltojännitteiden laatukriteerit (ABB. 2007, 9).

Hyvä laatu:	THD ≤ 3 %
Normaalilaatu:	THD ≤ 3 %
Standardilaatu:	$U_{nsh} \leq$ taulukon 4.4b arvot ja THD ≤ 6 %
Mittaus:	Tehollisarvot $U_{nsh}$ mitataan 1 tai 5 min jaksoina, joista jälkilaskennalla johdetaan 10 min jaksot viikon ajalle.
Laskenta:	$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}$ <p>THD = harmoninen särö  <math>h</math> = harmonisen järjestysluku  <math>U_h</math> = yksittäisen harmonisen suhteellinen amplitudi verrattuna perustaajuiseen jännitteeseen <math>u_1</math></p>

Taulukossa 2 on esitetty jännitteen säröprosenttien laatuksiteerit verkkoon liittämispisteessä. Taulukossa 3 on esitetty jännitteen laatuksiteerit yksittäisten yliaallojen osalta.

Taulukko 3 Yksittäisten yliaallojen laatuksiteerit (ABB. 2007, 9).

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
kolmella jaottomat		kolmella jaolliset			
järjestysluku h	suhteellinen jännite	järjestysluku h	suhteellinen jännite	järjestysluku h	suhteellinen jännite
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6..24	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Taulukosta 3 nähdään yksittäisten yliaallojen suhteiden rajat perustaajuiseen jännitteeseen nähden. Mikäli jännitteen särörajat ylittyvät, on verkonhaltija yleensä vastuullinen tätä. Puolestaan virran särörajojen ylittymisen syynä on yleensä käyttäjän oma sähkölaitteisto. Velvollisuus toimenpiteisiin ja vastuu mahdollisista kustannuksista ratkaistaan mittausten perusteella (Männistö ym. 2006, 46).

### 3 MITTAUKSET

#### 3.1 Yliaaltojen mittaaminen pienjänniteverkossa

Yliaaltojen jännitteen ja virran säröjä mitataan riittävän pitkältä aikaväliltä. Tavoitteena on saada selville suurin särövirran keskiarvo 10 minuutille. Seuranta-aika voi olla tunnin, vuorokauden tai viikon mittainen tarvittaessa. Mikäli tunnetaan jännitesärön käyttäytymisen, mittaukset voidaan suorittaa kyseisenä ajankohtana. Mittaukset voidaan suorittaa yksivaiheisesti kukin vaihe vuorollaan, tai kaikki vaiheet kerrallaan, riippuen käytettävästä mittalaitteistosta. Mittaukset tallennetaan tiedostoksi, jotta tuloksia voidaan tarkastella esimerkiksi taulukkolaskentaohjelmalla. Saadusta tiedostosta voidaan tällöin laskea keskiarvoja kymmenen minuutin ajanjaksoilta (Männistö ym. 2006, 46).

Keskiarvon tulee muodostua vähintään 10 mittaustuloksesta. Jos yhden kymmenen minuutin ajanjakson jännite-, tai särövirran arvo ylittää suositellun rajan, katsotaan sen olevan merkitsevän puutteellista liittyjän verkon ja jakeluverkon yhteensopivuutta (Männistö ym. 2006, 46).

Säröjännitettä ja – virtaa ei mitata yleisillä energianlaskutusmittareilla, joten mittaukset perustuvat käyttäjän tai jakeluverkon haltijan tekemiin mittauksiin. Mittaustuloksia pidetään osapuolia velvoittavina kulloinkin tarpeellisten muutoksien tekemisille (Männistö ym. 2006, 46).

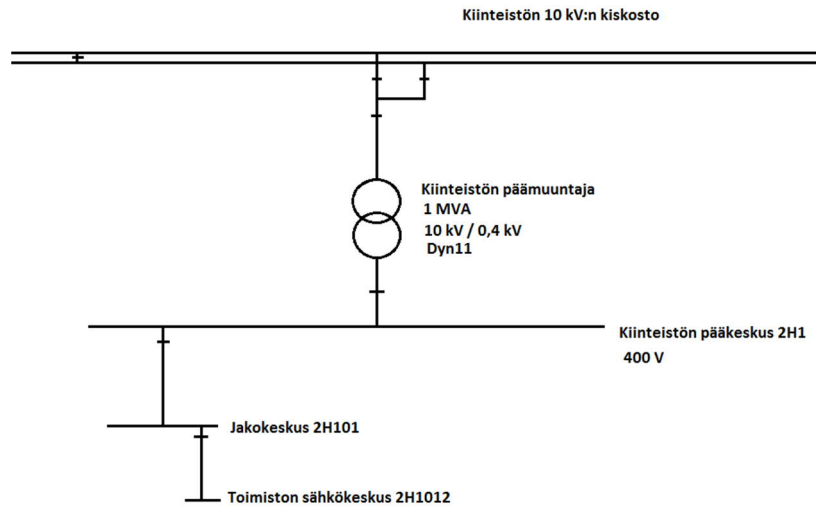
#### 3.2 Mitattava kohde

Mittausten kohde on keskus 2H1012, josta kaikki toimiston sähkölaitteet saavat syöttönsä. Keskukselta lähtee yhteensä 12 pistorasiaryhmää, 4 valaisinryhmää, ilmalämpöpumpun syöttö sekä poistoilmakoneen syöttö. Keskuksen pääkytkin on kooltaan 3x40 A, N ja PE ovat yhdistetty. Keskuksessa on 3-vaiheinen energianmittaus, mittarina AEG C11H 3-vaiheinen kWh-mittari.



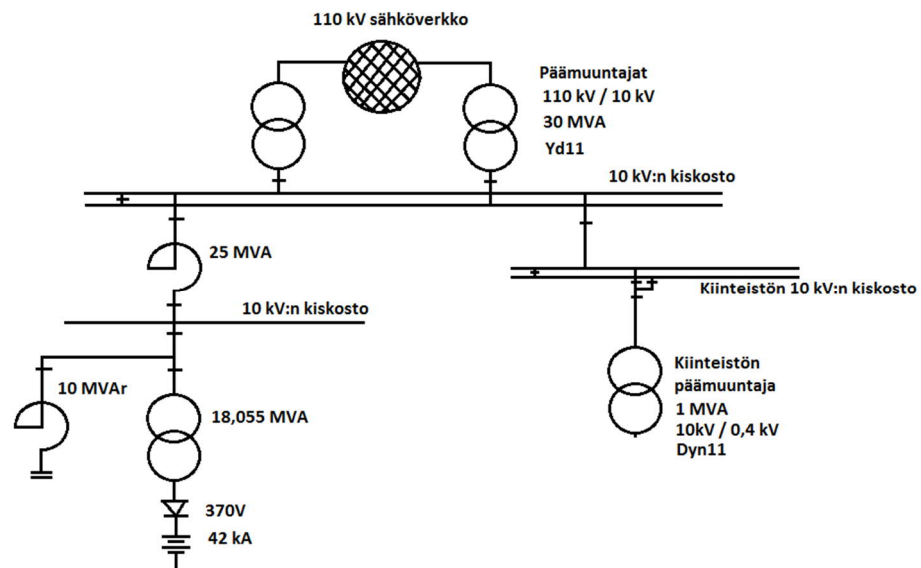
KUVA 1. Keskus 2H1012

Keskus 2H1012 on osa suurempaa sähköverkon osaa. Kiinteistön pääkeskusta 2H1 syöttää muuntaja 2T1, jotka molemmat sijaitsevat kiinteistön kellarikerroksessa. Pääkeskuk- sen lähdöstä 2H1-1-1 lähtee syöttö jakokeskukselle 2H101, josta puolestaan toimiston keskus 2H1012 saa syöttönsä. Kuviossa 1 on esitetty kiinteistön 400 V:n jakelu periaate- kuvana.



KUVIO 1. Kiinteistön 400 V:n jakelun periaatekaavio

Kuviossa 1 on esitetty kiinteistön päämuuntajan ja sähköverkon häiriöiden oletettavan lähteen yhteys 10 kV:n verkossa.



KUVIO 2. Periaatekuva kiinteistön ja oletetun häiriöiden lähteen yhteydestä

Kuten kuvioista 2 nähdään, toimipisteen kiinteistön päämuuntaja on yhteydessä 110 kV:n sähköverkkoon kahden 10 kV:n kiskoston kautta. Oletettu sähköverkon häiriöiden lähteenä oleva tasasuuntaajakäyttö on yhteydessä samaan 110 kV:n verkkoon. Mikäli häiriöiden lähteenä on kyseinen tasasuuntaajakäyttö, täytyy sen aiheuttaa 10 kV:n kiskostoon häiriöitä.

### 3.3 Järjestelyt ja mittalaitteet

Mittalaitteena käytettiin Fluke merkkistä 4 kanavaista kenttäoskilloskooppia, Fluke 190–104 sekä 80i-110S AC/DC virtapihtejä. Laitteella olisi mahdollista mitata kaikkien vaiheiden, sekä nollajohdon virrat tai jännitteet samanaikaisesti, mutta keskuksen tilanpuutteen vuoksi mittaukset suoritettiin vaihe kerrallaan.

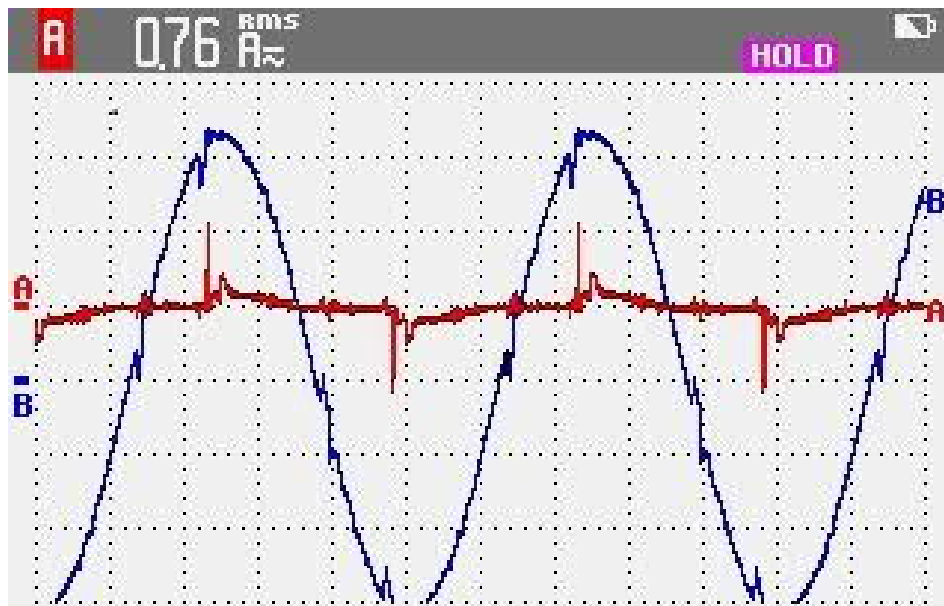
Keskukselta mitattiin vaiheiden jännitteen ja virrankäyrämuodot, sekä vaiheiden jännite ja virtaspektrit. Nollajohdosta mitattiin ainoastaan virran käyrämuodot ja virtaspektri. Pitkäaikaisia virran ja jännitteensärömittauksia ei suoritettu, sillä mittapäitä ei saanut tukevasti kiinni keskukseseen, vaan ne olisivat jääneet riippumaan johtimien varaan, joka olisi ollut turvallisuusriski. Pitkäaikaiset särömittaukset olisivat olleet mahdollisia rakentamalla väliaikaisen kotelon keskuksen viereen mittapäitä varten. Kun tiedetään valojen sirinän olevan jatkuvaa, voidaan olettaa, että mahdolliset yliaaltojen aiheuttamat virran ja jännitteen säröt ovat ajasta riippumattomia ja jatkuvia.



## 4 MITTAUSTULOKSET JA ANALYSOINTI

### 4.1 Graafiset tulokset

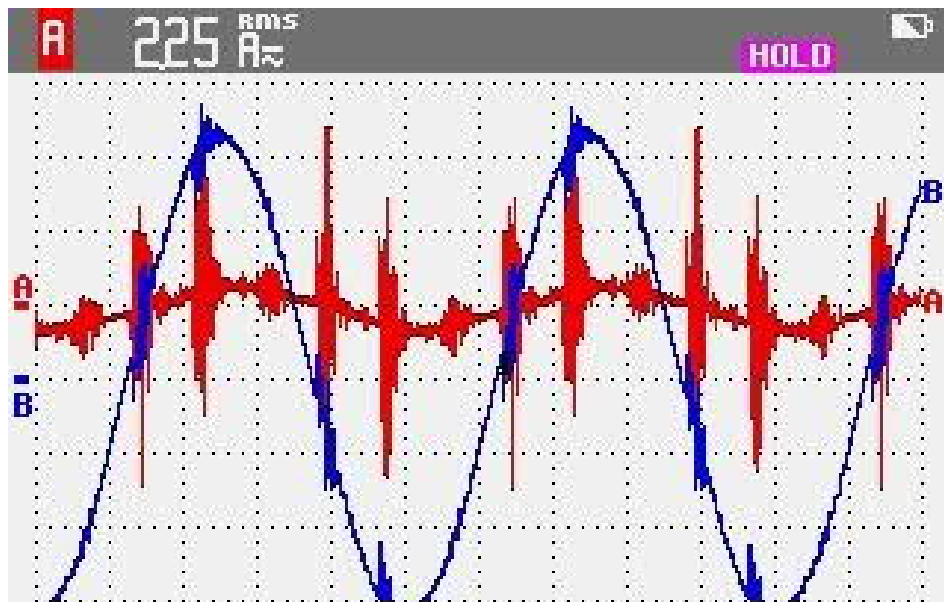
Käsitellään ensin jännitteen ja virran mitattuja aaltomuotoja. Kaikissa mittauksissa 1 pysyrytu on 5 ampeeria tai 100 voltia ja mittauksen aikaikkuna oli 4 millisekuntia.



KUVA 2. Vaiheen 1 jännite ja virtamuodot, aika 4ms/ruutu, virta 5 A/ruutu, jännite 100 V/ruutu.

Kuten kuvasta 2 nähdään, on vaiheen 1 jännite ja virta eivät ole puhdasta sinimuotoista aaltoa. Aaltomuodoissa nähdään selvää säröä. Särö esiintyy jaksollisesti, aina aivan nollakohdan nousevalla ja laskevalla puolella sekä lähellä huippuarvoja. Virran tehollisarvo on vain noin 0.76 ampeeria.

Jännitteen säröytymisestä voidaan päätellä sähköverkon häiriöiden sijaitsevan muualla verkossa. Nousevalla ja laskevalla reunalla sekä nollakohdissa olevat jännitekuopat viittaisivat kuusipulssi-tasasuuntaussillan aiheuttamiin häiriöihin.

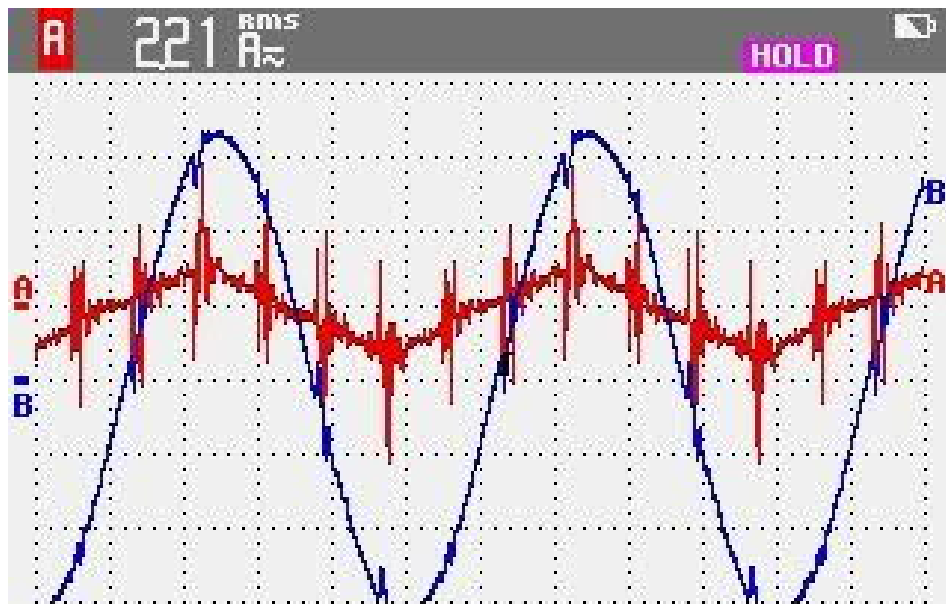


KUVA 3. Vaiheen 2 jännite ja virta, aika 4ms/ruutu, virta 5 A/ruutu, jännite 100 V/ruutu.

Kuvassa 3 nähdään vaiheen 2 jännite ja virta. Vaiheella 2 on selvästi enemmän kuormitusta, virran tehollisarvo on 2.25 ampeeria. Jännite ja virta säröytyvät samoissa kohdissa kuin ensimmäisen vaiheen jännite sekä virta, joten voidaan olettaa häiriöiden lähteen olevan sama kuin ensimmäisen vaiheen mittauksessa. Särö on selvästi suurempaa sekä jännitteen, että virran kohdalla. Virran huippuarvo käy hetkellisesti yli 10 ampeerissa.

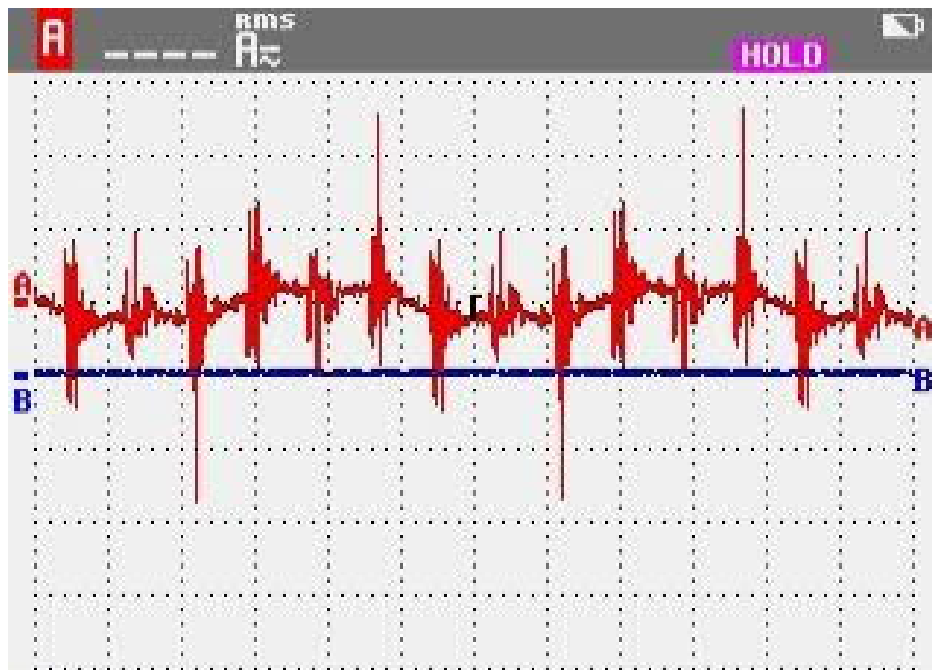
Eroten ensimmäisen vaiheen jännitteestä ja virrasta, toisen vaiheen jännitteen ja virran säröt ovat pidempiaikaisia ja niin suuria, että virta käy positiivisella puolijaksolla negatiivisena ja negatiivisella puolijaksolla positiivisena. Tällöin verkon ottama teho on hetkellisesti negatiivinen eli keskus syöttää tehoa verkkoon päin.

Koska virran säröytyminen on huomattavan suurta ja mittauksen mukaan keskus syöttää hetkellisesti tehoa verkkoon päin, on syytä olettaa mittauksessa tapahtuneen mittauslaitteistosta aiheutuvaa mittavirhettä. Mittauksessa käytetyllä aikaskaalalla ei virtapihdissä riittä tarkkuus mittaamaan virtaa oikein, koska jännitteessä on huomattavan suurta säröytymistä.



KUVA 4. Vaiheen 3 jännite ja virta, aika 4ms/ruutu, virta 5 A/ruutu, jännite 100 V/ruutu.

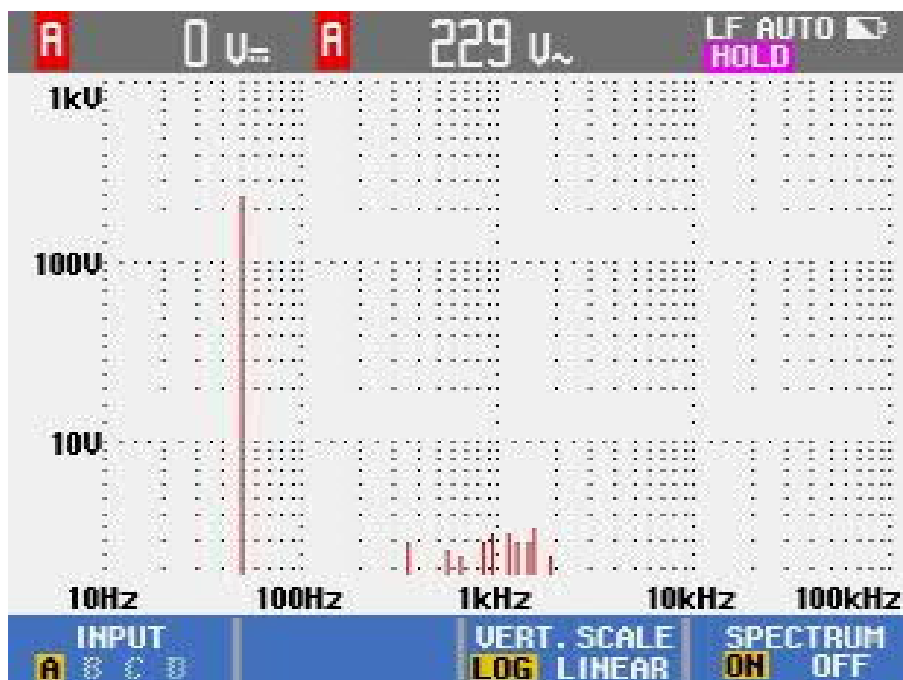
Kuvassa 4 on esitetty vaiheen 3 jännite ja virta. Jännite ja virta käyttäytyvät samalla tavalla kuin vaiheiden 1 ja jännitteet ja virrat. Jännitteessä nähdään kutakuinkin samanlaista säröä kuin ensimmäisen vaiheen jännitteessä. Virran tehollisarvo on noin 2.21 ampeeria. Vaiheen 3 virta käyttäytyy kuin vaiheen 2 virta. Se käy positiivisella puolijaksolla negatiivisen puolella ja negatiivisella puolijaksolla positiivisena. Särökohdat ovat aaltomuodoissa samat kuin muissakin vaiheissa, joten voidaan edelleen olettaa häiriöiden lähteen olevan sama. Virran mittauksessa voidaan olettaa tapahtuneen samanlaista mittavirhettä, kuin toisen vaiheen virtamittauksessa.



KUVA 5. Nollajohdon virta, aika 4ms/ruutu, virta 5 A/ruutu, jännite 100 V/ruutu.

Kuvassa 5 nähdään nollajohdosta mitattu virta. Nollajohdossa kulkee samanlainen säröytynyt virta kuin vaihejohtimissa.

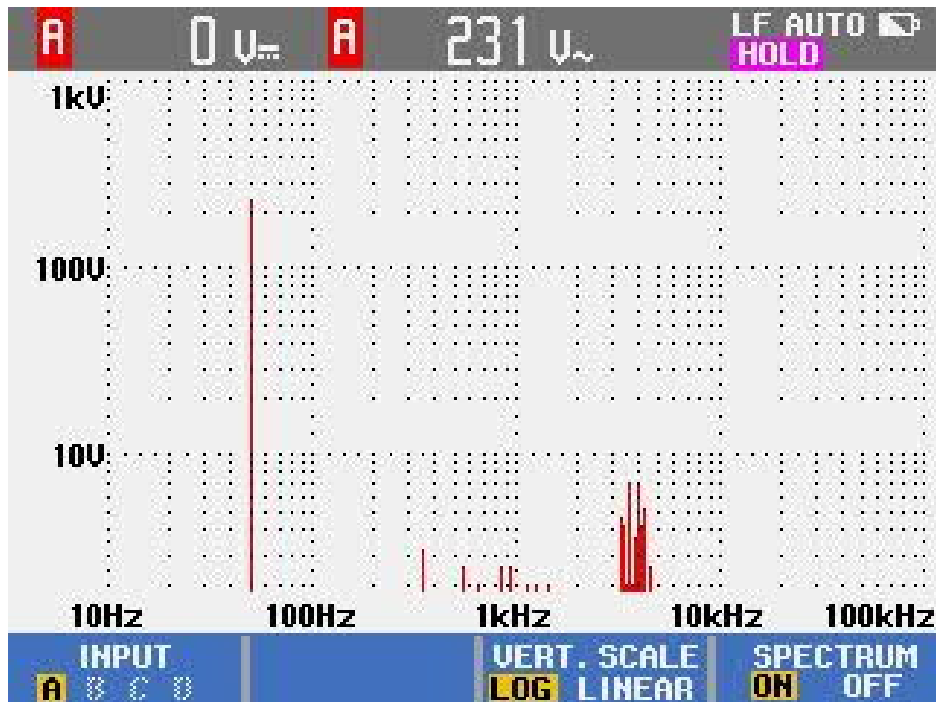
Seuraavaksi tarkastellaan vaihejohtimien jännitteiden spektrianalyysijä. Kuvassa 6 nähdään ensimmäisen vaiheen jännitteen spektrianalyysi.



KUVA 6. Vaihe 1 jännitespektri

Kuten kuvasta 6 nähdään, vaiheen 1 jännite sisältää yliaaltoja taajuuksiltaan 350 Hz, 550 Hz, 650 Hz, 850 Hz, 950 Hz ja yli 1kHz. Vaiheen 1 jännite siis sisältää yliaaltoja, joiden järjestysluvut ovat 7, 11, 13, 17, 19 ja muita korkeamman järjestysluvun yliaaltoja.

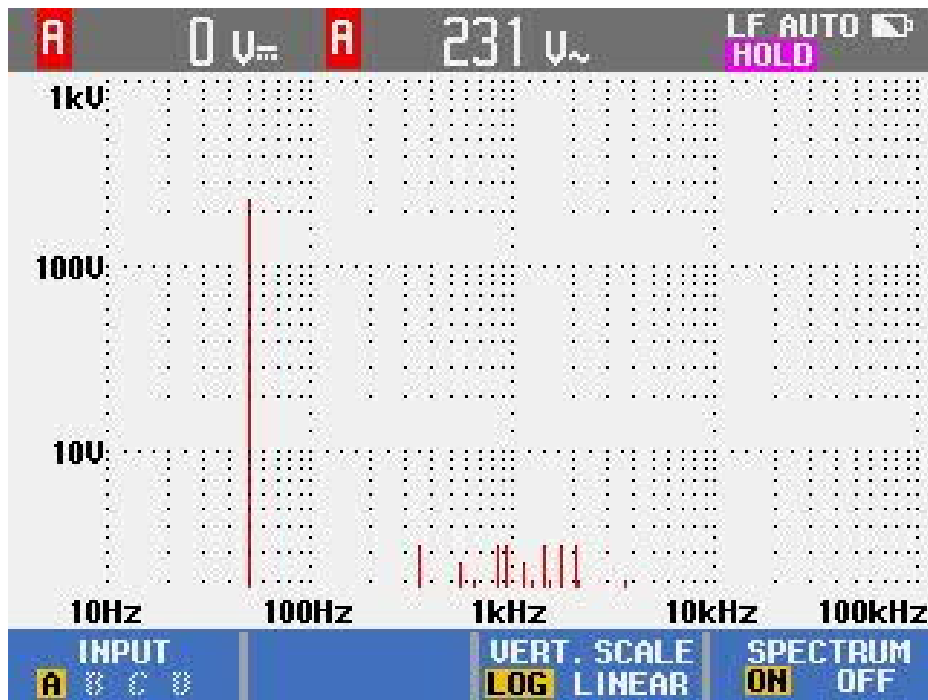
Kuvassa 7 on esitetty vaiheen 2 jännitespektri.



KUVA 7. Vaiheen 2 jännitespektri

Kuvasta 7 nähdään, että vaiheen 2 jännitteen merkittävimmät yliaallot ovat 350 Hz:n seitsemäs yliaalto, 550 Hz:n 11:sta yliaalto, 850 Hz:n 17:sta yliaalto, 950 Hz:n 19:sta yliaalto sekä yli 3kHz:n yliaallot. Yli 3 kHz yliaaltojen osuus on huomattavasti suurempi kuin yliaaltojen 7, 11, 17 ja 19 osuudet.

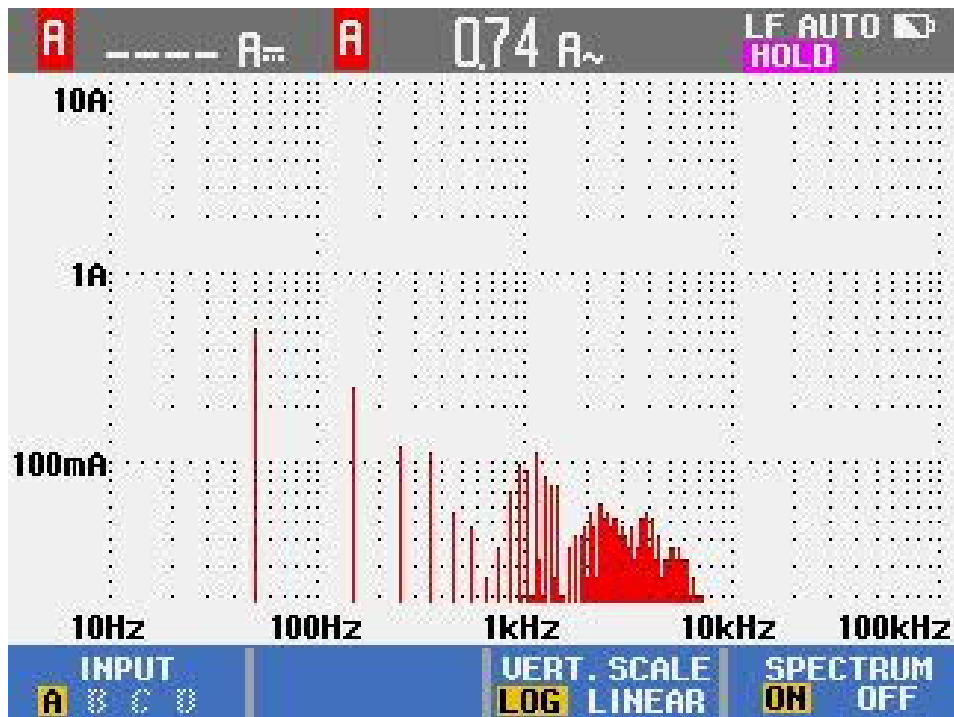
Kuvassa 8 nähdään vaiheen 3 jännitespektri.



KUVA 8. Vaiheen 3 jännitespektri

Kuvasta 8 nähdään, että kolmannen vaiheen jännitespektri on hyvin samankaltainen vaiheen 1 jännitespektrin kanssa. Kolmannen vaiheen jännitespektri sisältää järjestyslukujen 7, 11, 17 ja 19 yliaaltoja. Myös korkeamman järjestysluvun yliaaltoja esiintyy samankaltaisesti kuin ensimmäisen vaiheen jännitteessä. Näiden taajuudet ovat pääosin 1 kHz ja 2 kHz välillä.

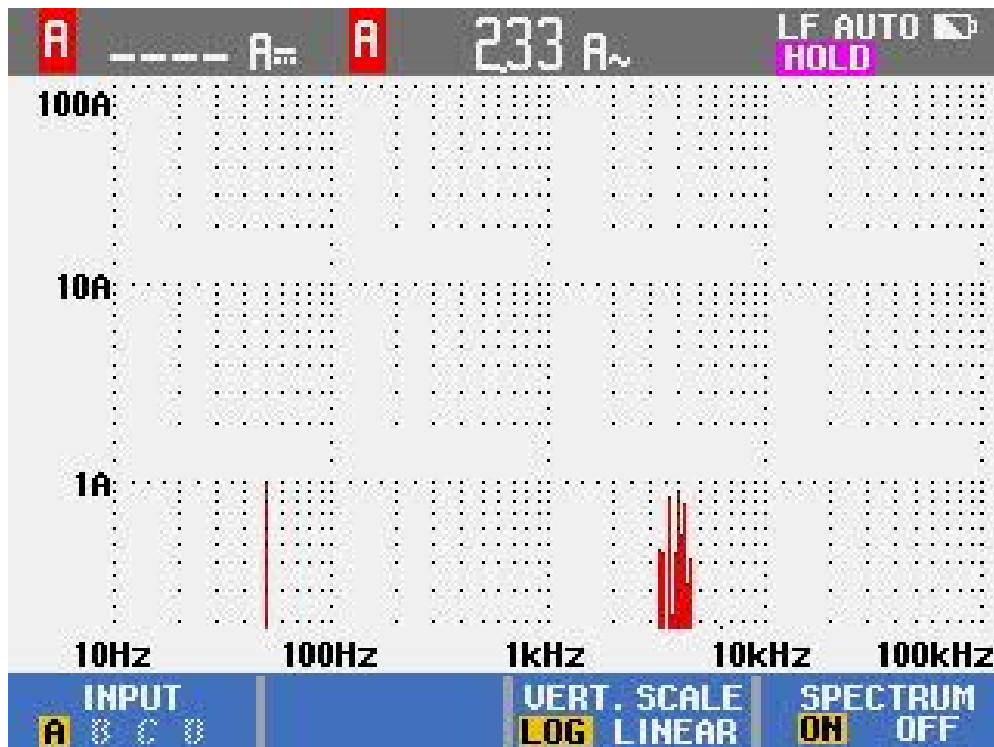
Tarkastellaan seuraavaksi vaiheiden ja nollajohdon virtaspektrejä. Kuvassa 9 on esitetty vaiheen 1 virtaspektri.



KUVA 9. Vaiheen 1 virtaspektri

Kuvasta 9 nähdään, että ensimmäisen vaiheen virta sisältää yliaaltoja laajalla skaalalla. Järjestysluvun 3, 5, 7, 9, 11, 13, 17 ja 19 ovat selkeästi näkyvissä. Lisäksi yli 1 KHz yliaaltoja havaittiin aina 7 kHz:iin saakka. Vaiheen 1 virta oli mittaustilanteessa niin pieni, että epäilen, johtuuko suuri korkeiden taajuuksien yliaaltojen runsas määrä mittarin epätarkkuudesta vai sisältääkö vaiheen 1 virta todella kuvan 7 tavoin todella monen eri korkean taajuuden yliaaltoa.

Kuvassa 10 on esitetty vaiheesta 2 mitattu virtaspektri.

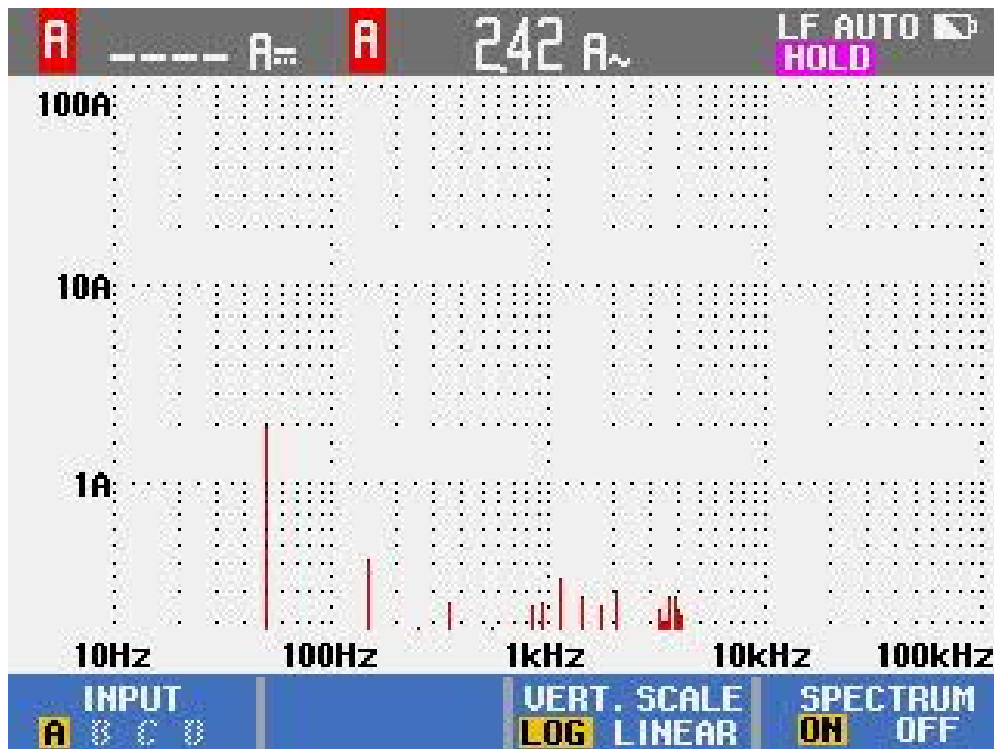


KUVA 10. Vaiheen 2 virtaspektri

Kuvasta 10 nähdään, että vaiheen 2 virta ei sisällä muita kuin erittäin korkeidentaajuuksien yliaalloja. Yliaallot ovat taajuuksiltaan yli 3 kHz: ä. Näiden suhde perustaajuuteen on kuitenkin huomattavan iso. Joidenkin taajuuksien yliaallot ovat lähes perustaajuuden virtamäärää vastaavia. Yliaaltojen osuus voi selittyä oletettavasta mittavirheestä, joka on käynyt vaiheen 2 jännitteen ja virran aaltomuotojen mittauksessa.

Kuvassa 11 on esitetty vaiheen 3 virtaspektri.

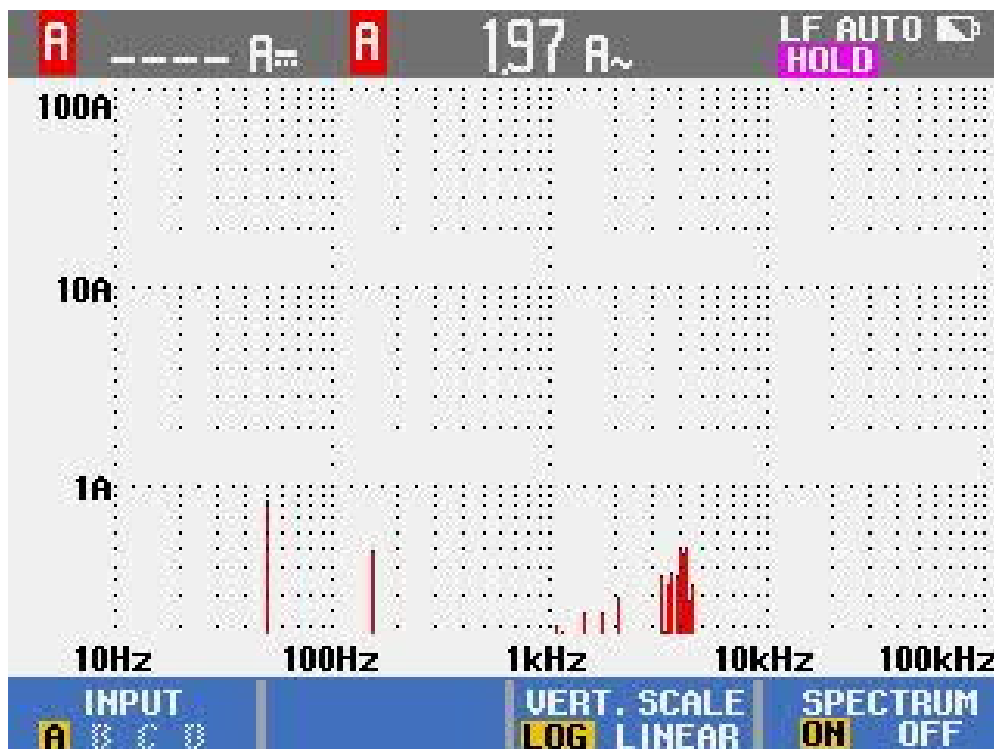




KUVA 11. Vaiheen 3 virtaspektri

Kuvasta 11 nähdään, että kolmannen vaiheen virta sisältää perusaaltensa lisäksi 3:ttä, 7:ttä, 1:sta ja 19:sta yliaaltoja sekä korkeamman taajuuden yliaaltoja. Kuten toisen vaiheen virrassa, myös kolmannen vaiheen virrassa esiintyy yli 3 kHz:n yliaaltoja.

Kuvassa 12 on esitetty nollajohdosta mitattu virtaspektri.

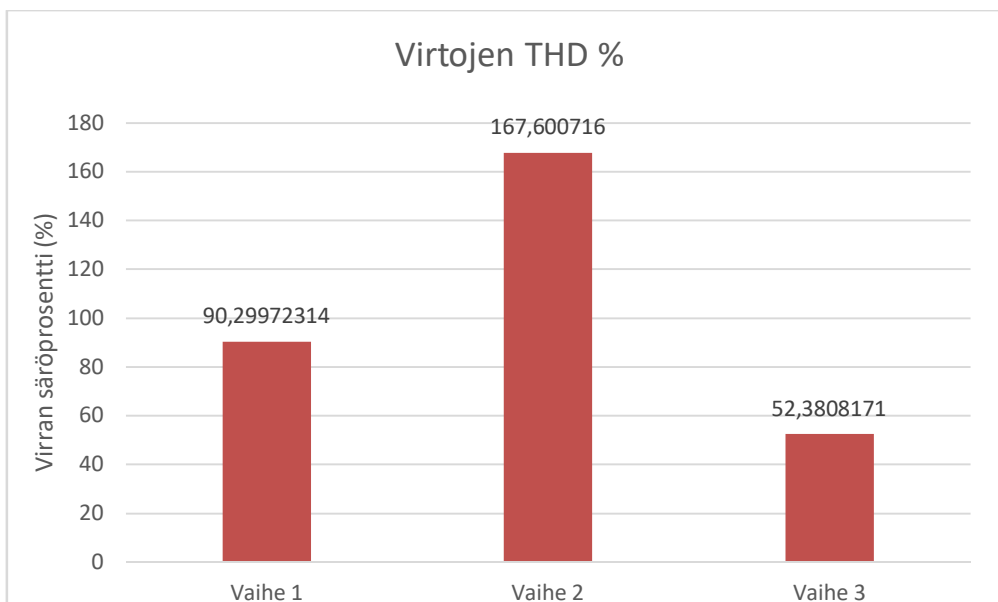


KUVA 12. Nollajohdon virtaspektri

Kuvassa 12 nähdään, että nollajohdossa havaitaan virran perustaajuuden lisäksi kolmatta yliaaltoja sekä korkeita yli 1 kHz:n yliaaltoja. Yli 3 kHz:n yliaaltojen osuus on jälleen huomattavan suuri verrattuna nollajohdossa kulkevaan virtaan.

## 4.2 Kokonaissärö

Kokonaissäröt laskettiin virran ja jännitteen spektriesitysten perusteella, käyttäen avuksi kaavaa 3. Kuvaajaan 1 on koottu vaiheiden virtaspektriin pohjalta lasketut kokonaissäröprosentit vaihekohtaisesti.

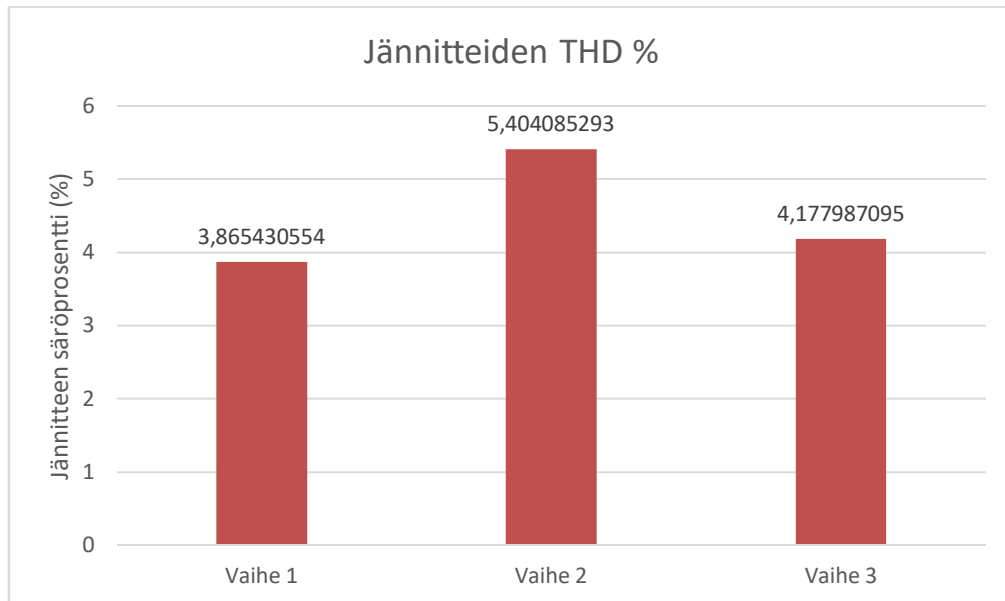


KUVAAJA 1. Virran THD

Kuvaajasta 1 nähdään, että vaihekohtaisten virtojen säröprosentit ovat erittäin suuret. Tämä oli oletettavaa sillä kuten vaihekohtaisten virtojen kuvaajista aiemmin nähtiin, olivat virtojen käyrämuodot kaukana puhtaasta siniaallosta. Vaiheen 1 virran säröprosentti oli noin 90,3 %, vaiheen 2 noin 167,6 % ja vaiheen 3 säröprosentti oli noin 52,4 prosenttia.

Suuret säröprosentit eivät mielestäni kokonaan voi selittyä toimiston omista kuormalaitteista. 3 tietokonetta, 1 tulostin ja huoneiston led-lamput aiheuttavat kyllä itsessään yliaaltoja toimistoverkkoon, mutta en usko näiden riittävän yksin aiheuttamaan lasketun laisia säröprosentteja. Erittäin suuret säröprosentit selittyisivät virtojen mittauksessa tapahtuneesta virtapihdistä johtuvasta mittavirheestä.

Kuvaajassa 2 nähdään vaiheiden jännitespektriin pohjalta lasketut säröprosentit.



KUVAAJA 2. Jännitteen THD

Kuvaajassa 2 nähdään jännitteen vaihekohtaiset säröprosentit. Vaiheen 1 säröprosentti oli pienin noin 3,9 %. Vaiheen 2 jännitteen säröprosentti oli kaikista suurin, noin 5,4 %. Vaiheen 3 säröprosentti oli noin 4,2 %. Jännitteiden lasketut säröprosentit korreloivat hyvin jännitteiden mitattujen käyrämuotojen perusteella.

## 5 TOIMENPIDEVAIHTOEHDOT

Häiriöiltä voitaisiin välttyä muutamalla eri keinolla. Tasasuuntaajakäytön kompensointia optimoimalla, voitaisiin sen verkkoon aiheuttamia yliaaltoja mahdollisesti vähentää. Myös kiinteistön päämuuntajan ensiö- tai toisiopuolelle voitaisiin asentaa kompensointia, jolla yliaaltojen aiheuttamia häiriöitä voitaisiin pienentää.

Päämuuntajien tehoa kasvattamalla välijänniteverkosta voitaisiin tehdä tarpeeksi jäykkä, jotta tasasuuntaajan aiheuttamat häiriöt eivät saisi aikaan välijännitekiskosten jännitteen säröytymistä. Tämä vaihtoehto olisi kustannuksiltaan suurin, joten pidän tämän toteutumista todella epätodennäköiseltä.

Liittymäsaneeraus olisi vielä yksi vaihtoehto. Tämä ei olisi mielestäni paras vaihtoehto Polarin toimipisteen kannalta, koska Kouvolan toimipisteessä työntekijämäärä on pieni ja koska toimitilat ovat vuokrattuja. Liittymäsaneerauksen kustannukset ovat suuruudeltaan huomattavat, joten kustannustehokkaampi keino olisi etsiä toimipisteelle tilat, jossa sähköverkon häiriöitä ei ole havaittavissa.

Kompensoinnin asennus kiinteistöön olisi mielestäni paras edellä mainituista vaihtoehdoista. Erilaisia suotimia valmistavilta ja asentavilta yrityksiltä saisi varmasti tarjouksen kompensointilaitteistosta asennuksineen, mikäli kiinnostusta ja resursseja löytyisi tarpeeksi.

## 6 POHDINTA

Yliaaltojen analysointi onnistui mielestäni kohtuullisesti. Tulokset eivät ole tarkimpia mahdollisia, johtuen mittaustavasta ja säröprosenttien laskutavasta. Spektriesityksistä tarkkojen arvojen lukeminen on haastavaa, jolloin virhemarginaali myös kasvaa. Yliaaltoja havaittiin, kuten oli oletettu.

Jännitteen säröistä johtuen myöskin virta säröytyy enemmän, kuin mitä kuormalaitteet yksin saisivat aikaan. Jännitteen säröytymisestä voidaan päätellä, että yliaaltojen lähde on muualla verkossa. Häiriöiden lähteen oli oletettu olevan samassa 10 kV:n verkossa oleva suuritehoinen tasasuuntaajakäyttö. Mittausten perusteella tämä pitäisi paikkansa. Mittauksissa havaitut kuopat jakelujännitteessä viittaavat tasasuuntaajakäytön olevan kuusipulssi-tasasuuntaaja. Voidaan olettaa, että tasasuuntaaja aiheuttaa verkkoon niin paljon yliaaltoja, että 10 kV:n kiskostojännite säröytyy. Säröytynyt kiskostojännite aiheuttaa häiriöitä samassa verkossa olevien kiinteistöjen jakelujännitteeseen.

Keskuksen 2H1012 jännite on standardin mukaan laadultaan kohtuullista, joten jännitteen kokonaissärön aiheuttamia mahdollisia laiterikkoja ei voida tässä vaiheessa korvaamaan verkonhaltijan toimesta. Korvausvelvollisuutta varten täytyisi suorittaa mittaukset standardin ohjeistamalla tavalla.

## LÄHTEET

ABB Oy, TTT-Käsikirja 2000-07, luku 4. Helsinki: ABB Oy.

[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/04\\_0\\_S%84hk%94n%20laatu.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/04_0_S%84hk%94n%20laatu.pdf)

Männistö, M., Hietalahti, L., Seesvuori, R., Seesvuori, V., Wilen, T. 2006. Yliaallot ja kompensointi. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.

SFS-EN 50160. 2010. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Helsinki: SESKO ry.

**LIIITEET**