

Masi Kallio

Led-valaistuksen vaikutus sähkön laatuun

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

22.5.2017

Tekijä Otsikko	Masi Kallio Led-valaistuksen vaikutus sähkön laatuun
Sivumäärä Aika	23 sivua + 3 liitettä 22.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Sähkösuunnittelija Eero Ajosenpää Lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Tässä insinööriyössä tutkittiin led-valaistuksen aiheuttamia sähkön laadun häiriöitä kolmessa Aalto-yliopistokiinteistö Oy:n kiinteistössä. Kahdessa kiinteistöistä oli havaittu ongelmia sähkölaitteissa led-lamppujen vaihdon jälkeen ja Aalto-yliopistokiinteistö Oy oli kiinnostunut selvittämään mistä häiriöt johtuvat. Kolmas kiinteistö otettiin mukaan vertailukohteeksi. Työ tehtiin Granlund Oy:lle.</p> <p>Työssä mitattiin kolmen eri kiinteistön sähkön laatua 3–6 vuorokauden ajan ja selvitettiin mistä häiriöt johtuvat ja voiko häiriöt poistaa. Yhden kiinteistön lamput vaihdettiin mittauksen jälkeen, minkä jälkeen tehtiin vielä yksi mittaus, jotta saatiin selvitettyä lamppujen vaihdon vaikutusta sähkön laatuun. Työssä keskityttiin etenkin harmonisten yliaallojen ja harmonisten kokonaissäröjen yhteyttä havaittuihin häiriöihin.</p> <p>Häiriöiden aiheuttajiksi löytyivät mittauksissa virran harmoniset yliaallot ja niiden aiheuttamat virran harmoniset kokonaissäröt. Työssä huomattiin myös, että vaikka kaikki käytössä olleet lamput olivat luotettavilta valmistajilta, lampuissa oli isoja eroja sähkön laadun häiriöiden aiheuttajina. Kiinteistössä, jossa vaihdettiin lamput mittauksen välissä, sähkön laatu parani ja häiriöt loppuivat. Etenkin virran harmoniset yliaallot pienenevät radikaalisti lamppujen vaihdon yhteydessä.</p> <p>Työssä tutkittiin myös led-valaisimien aiheuttamia häiriöitä sähkön laadussa, kun kolmas kiinteistö, joka otettiin työhön vertailu kohteeksi, oli valaistu pääosin led-valaisimilla. Led-valaisimien huomattiin aiheuttavan vähemmän häiriöitä sähkön laadussa. Lopuksi tutkittiin taloudellisesta näkökulmasta järkevää tapaa poistaa häiriöitä sähkön laadussa. Vertailu tehtiin lamppujen vaihdon ja pienjänniteverkon aktiivisuodattimen hyvien ja huonojen puolien kautta.</p>	
Avainsanat	sähkön laatu, led, yliaallot, kokonaissärökerroin

Author Title	Masi Kallio Power Quality in Led Lighting
Number of Pages Date	23 pages + 3 appendices 22 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Specialisation option	Electrical power engineering
Instructors	Eero Ajosenpää, Electrical Designer Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to examine power quality failures in led lighting in three different properties owned by Aalto-yliopistokiinteistöt Ltd. In two out of three properties there were noticed some failures in electrical devices after new led-lightbulbs had changed. Aalto-yliopistokiinteistöt Ltd were interested to find out what caused those failures. The third property took part as a comparison to other two. This thesis was made to Granlund Ltd.</p> <p>There were power quality measurements in three different properties lasting three to six days, finding out what caused those failures and if it is possible to remove those failures. One of the properties had its lightbulbs changed after measurements so it was measured again for finding out if changing lightbulbs affected power quality somehow. This thesis focuses on harmonics and total harmonic distortions of led lighting.</p> <p>Results show that the failures were caused by current harmonics. It was also noticed that despite the fact that lightbulbs were manufactured by trusted manufacturers, there were differences between them in power quality. After changing lightbulbs to one property, failures died out and power quality improved. Especially current harmonics decreased tremendously.</p> <p>Power quality in led lamps were also examined in the third property. Main light sources in the third property were led lamps. Led lamps didn't cause as much trouble in power quality as led lightbulbs. Lastly, there was examination about financially best way to reduce power quality failures.</p>	
Keywords	Power quality, led, harmonics, total harmonic distortion

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sähkön laatu	2
2.1	Yleisimmät häiriötyypit	2
2.2	Yliaallot	2
2.3	Harmoninen kokonaissärö	3
2.4	Sähkön laatustandardit	4
3	Mittauksen kohteet	7
	Kohteiden valaistus	7
	Led-lamput	9
	Muut häiriötä aiheuttavat laitteet kohteissa	9
	Ongelmat kohteissa	10
4	Mittaukset	10
4.1	Mittalaite	11
4.2	KytKentä	11
4.3	Tulosten tallennus ja analysointi	13
5	Mittaustulokset	14
5.1	Kiinteistö 1	14
5.2	Kiinteistö 2	17
5.3	Kiinteistö 3	18
5.4	Yhteenveto mittauksista	19
6	Toimenpiteet ja ratkaisut	20
7	Yhteenveto	21
	Lähteet	23
	Liitteet	
	Liite 1. Fluke 435 II -sarjan sähkönlaatu- ja energia-analysaattori	
	Liite 2. Kiinteistön 3 valaisinluettelon osa	
	Liite 3. Sähkön laadun mittaukset Aalto-yliopistokiinteistöt Oy	

1 Johdanto

Valaistusala muuttuu jatkuvasti kovaa vauhtia ja led-valaistus on noussut suosituksi tavaksi toteuttaa valaistus sekä sisätiloissa että ulkotiloissa. Valaistus on lämmityksen jälkeen suurin sähkön kuluttaja kiinteistöissä ja kuntien sähkön kulutuksesta valaistus aiheuttaa noin kolmasosan. Tämän vuoksi kuluttajat haluavat vaihtaa vanhan valaistuksen energiatehokkaammaksi ja ympäristöystävällisemmäksi led-valaistukseksi. Helpon ja pienimmillä investointikustannuksilla jo olemassa olevan valaistuksen saa vaihdettua niin sanotuilla retrofit-LED:illä. Retrofit-LED:illä tarkoitetaan led-lamppua, joka sopii vanhoihin valaisimiin esimerkiksi hehkulampan tai loisteputken tilalle ilman, että koko valaisinta tarvitsee vaihtaa. [1.]

Uusia rakennuksia suunniteltaessa ja tehtäessä valaistus toteutetaan kuitenkin nykyään yhä useammin led-valaisimilla. Myös valaistuksen ohjaus liike- ja/tai läsnäolotunnistuksella sekä päivänvalo-ohjauksella yleistyy hyvää vauhtia. Valaistuksen ohjauksella voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä energiankulutuksessa, kun valot eivät jää turhaan päälle tilaan, jossa kukaan ei oleskele ja valoteho säädetään todellisen tarpeen mukaan.

Huonona puolena led-valaistuksessa on kuitenkin sen taipumus aiheuttaa häiriötä sähkön laatuun. Led-valaisimissa on elektroniset liitäntälaitteet, jotka atk-laitteiden tavoin voivat aiheuttaa esimerkiksi yliaaltoja ja käynnistyksen aikaisia virtapiikkejä sekä yliaaltojen vuoksi kuormitusta nollajohtimelle. Vaikka ledien tehot ovat pieniä, niiden määrät ovat niin valtavia, että häiriöt sähkön laadussa voivat heijastua jopa sähköyhtiön verkkoon asti.

Tämä työ tehtiin toimeksiantona Granlund Oy:lle ja tarkoituksena oli tutkia Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n kolmen kiinteistön sähkön laatua ja erityisesti valaistuksen aiheuttamia häiriöitä siihen. Kahdessa näistä kiinteistöistä oli ongelmia lamppujen ja projektorien kanssa. Yksittäiset lamput sammuiivat hetkellisesti käytön aikana mutta toimivat taas myöhemmin. Projektoreissa oli häiriöitä ja ne vaativat uudelleen käynnistyksen toimiakseen. Työn tarkoituksena oli selvittää, aiheutuvatko ongelmat sähkön laadun häiriöistä ja voiko asiaa korjata.

Granlund Oy on talotekniikkasuunnittelun, kiinteistö-, energia- ja ympäristöasioiden konsultoinnin sekä ohjelmistojen asiantuntijakonserni, jossa työskentelee lähes 750 työntekijää. Granlund Oy on perustettu vuonna 1960. Granlund Oy:llä ja sen tytäryhtiöillä on 20 toimistoa eri puolilla Suomea. Pääkonttori sijaitsee Helsingissä. [2]

2 Sähkön laatu

2.1 Yleisimmät häiriötyypit

Sähkön laadun häiriöt voidaan jakaa kahteen eri päätyyppiin: galvaanisesti ja sähkömagneettisesti johtuviin. Galvaanisia häiriöitä ovat esimerkiksi maadoitusviat, yliaaltovirrat ja -jännitteet, jännitekatkot ja epäsymmetria. Sähkömagneettisia häiriöitä ovat virtojen aiheuttamat magneettikentät, jännitteiden aiheuttamat sähkökentät ja radiotaajuiset häiriöt. [3, s.1.]

Tässä työssä keskitytään led-valaistuksen aiheuttamiin galvaanisiin, erityisesti yliaaltojen aiheuttamiin, häiriöihin.

2.2 Yliaallot

Yliaallot jaetaan harmonisiin ja epäharmonisiin yliaaltoihin. Harmoniset yliaallot ovat perustaajuuden, 50 Hz:n, kokonaisluvullisia monikertoja. Kolmas yliaalto on 150 Hz, viides yliaalto 250 Hz ja niin edelleen. Yleisimpiä yliaalloista ovat kolmas, viides, seitsemäs ja yhdestoista yliaalto. Ne summautuvat verkkotaajuuden päälle ja aiheuttavat ylimääräisiä häviöitä sähkölaitteissa. Kolmas yliaalto aiheuttaa erityisen suurta haittaa, sillä se voi aiheuttaa suuriakin virtoja nollajohtimeen. Harmonisia yliaaltoja muodostuu epälineaarisisissa kuormissa, joiden ottama virta ei ole sinimuotoista. Tällöin säröytynyt virta aiheuttaa verkon yliaaltoimpedanssissa myös jännitteen säröytymisen. Yliaaltoja aiheuttavia laitteita ovat esimerkiksi taajuusmuuttajat ja atk-laitteet. [4, s.16.]

Epäharmoniset yliaallot ovat huomattavasti harvinaisempia kuin harmoniset yliaallot. Epäharmonisia yliaaltoja syntyy erittäin epälineaarisisissa kuormissa, joiden ottama virta vaihtelee jännitejaksoista riippumattomasti. Ne eivät ole perustaajuuden kerrannaisia ja

summautuessaan verkkotaajuuden päälle ne aiheuttavat verkkotaajuuden sinimuotoon joko alle tai yli 50 Hz:n jaksollista vaihtelua. [4, s.16.]

Matemaattisesti yliaallot voidaan esittää yhden tai useamman sinifunktion summana Fourier-analyysin avulla (kaava 1).

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt, \text{ missä} \quad (1)$$

f on alkuperäinen signaali aikatasossa

ω on kulmataajuus

F on Fourier-muunnettu signaali taajuustasossa [4, s.16]

2.3 Harmoninen kokonaissärö

Harmonisia yliaaltoja voidaan määrittää kahdella eri tavalla. Yksittäin kunkin yliaallon suhteellisella amplitudilla perustaajuiseen, puhtaan sinimuotoiseen, amplitudiin verrattuna tai yhdessä harmonisena kokonaissärönä.

Harmoninen kokonaissärökerroin eli THD (total harmonic distortion) kaavalla 2:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2}, \text{ missä} \quad (2)$$

u_h on yksittäisen harmonisen suhteellinen amplitudi verrattuna perustaajuiseen jännitteeseen

h on harmonisen yliaallon järjestysluku [5, s.10]

Harmoninen kokonaissärökerroin on siis kaikkien yliaaltojen suhteellinen arvo perustaajuuteen nähden ja se lasketaan järjestysluvultaan 40 saakka olevista yliaalloista. Yksittäisiä yliaaltoja tarkasteltaessa lopetetaan tarkastelu yleensä järjestysluvultaan yhdenteentoista yliaaltoon. Tässä työssä tarkastellaan yliaaltoja 15 yliaaltoon asti, sillä 15 yliaalto on vielä merkittävä tulosten kannalta.

2.4 Sähkön laatustandardit

Kuten monet muutkin asiat, myös sähkön laatu on standardisoitu ja sille on pyritty määrittämään tiettyjä raja-arvoja sähkön tuotannon ja kulutuksen toimivuuden takaamiseksi.

Standardi SFS-EN 50160 *Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet* määrittää jännitteen pääominaisuudet verkon käyttäjän liittymiskohdassa yleisiin pien-, keski- ja suurjännitteisiin vaihtosähköjakeluverkkoihin normaaleissa käyttöolosuhteissa. Standardi määrittelee rajat tai arvot, joiden sisällä kuluttaja voi olettaa liittymiskohdan jännitteen ominaisuuksien pysyvän eurooppalaisen yleisen jakeluverkon alueella. [5, s. 6.]

Standardi ottaa kantaa seuraaviin sähkön laatuun vaikuttaviin tekijöihin pienjänniteverkossa:

- verkkotaajuus
- jännitetason vaihtelut
- nopeat jännitemuutokset
- välkyntä
- jännitteen epäsymmetria
- yliaaltojännitteet
- signaalijännitteet. [5, s. 10–24.]

Taulukossa 1 on taulukoituna harmonisten yliaaltojännitteiden raja-arvot prosentteina, joita ei jakelujännite saa ylittää.

Taulukko 1. Harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot liittämiskohdassa järjestyslukuun 25 saakka prosentteina perustaajuisesta jännitteestä. [5, s. 22.]

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset			
Järjestys- luku n	Suhteellinen jän- nite	Järjestys- luku n	Suhteellinen jän- nite	Järjestys- luku n	Suhteellinen jän- nite
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					

Jakelujännitteen epäsymmetriaan EN 50160 ottaa kantaa seuraavasti: ” Normaaleissa käyttöolosuhteissa, kunkin viikon pituisen mittausjakson aikana, jokaisen, jakelujännitteen (perustaajuisen) vastakomponentin 10 minuutin tehollisarvon keskiarvoista 95 % tulee olla välillä 0...2 % (perustaajuisesta) myötäkomponentista.” [5, s. 22.]

Standardi IEEE 519 *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems* määrittelee yleisten 120 V... 69 kV jakelujärjestelmien virtasäroille taulukon 2 mukaiset rajat. Periaatteena tässä standardissa on, että lopputasiakas vastaa virran harmonisia tuottavista teholaitteista ja sähkön jakelija tai tuottaja vastaa jännitteen laadusta. [3, s.10.]

Taulukko 2. IEE 519 mukaiset virtasäron rajat 120 V ... 69 kV jakelujärjestelmille. [3, s.10.]

Maksimivirran harmoninen särö prosentteina kuormitusvirrasta IL						
Yksittäisen parittoman harmonisen kertaluku						Harmoninen kokonaissärö
Oikosulkusuhte	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	
<20 *)	4.0	2.0	1.5	0.60	0.3	5.0
20–49.9	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50–99.9	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100–999	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Huom.
 Parillisten harmonisten rajat ovat 25 % parittomista.
 Esim. puoliaaltokonverttereista aiheutuvan DC - poikkeaman virtasäröä ei sallita.
 *) Kaikki tehoa synnyttävät laitteet rajoitetaan virtasärön näihin arvoihin huolimatta todellisesta I_{scb} arvosta.

Standardi SFS-EN 50160 antaa raja-arvot myös jännitteen kokonaissärökertoimelle. Sen mukaan jakelujännitteen kokonaissärökertoimen tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin 8 %, mukaan lukien kaikki harmoniset yliaallot järjestysluvultaan 40 saakka. [5, s.22.]

Led-lamput ja suuri osa tämän työn kiinteistöissä käytetyt led-valaisimet ovat niin pieni-tehoisia, että niihin eivät standardit ota suoraan kantaa. Standardi SFS-EN 61000-3-2 *Electromagnetic compability (EMC) - part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current = 16 A per phase)* asettaa raja-arvot virran yliaalloille yli 25 W:n led-valonlähteille. Taulukossa 3 on esitetty standardin asettamat raja-arvot luokan C laitteille eli led-valonlähteille. [6, s. 19-21.]

Taulukko 3. Virran yliaaltojen raja-arvot luokan C laitteille. [6, s. 21.]

Harmonic order n	Maximum permissible harmonic current expressed as a percentage of the input current at the fundamental frequency %
2	2
3	$30 \cdot \lambda^a$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (odd harmonics only)	3

^a λ is the circuit power factor.

3 Mittauksen kohteet

Kohteiden valaistus

Mittauksen kohteina toimivat kolme Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n kiinteistöä. Kaikissa kiinteistöissä oli mitattavissa alueissa sekä opetustiloja että yleisiä tiloja, kuten aulat ja käytävät. Kahdessa kohteessa oli myös lisäksi auditoriot. Kuvassa 1 on esimerkki opetustilassa käytetystä valaistuksesta kiinteistöstä 2.



Kuva 1. Kiinteistön 2 yhden opetustilan valaistus.

Valaistuksena mitattavissa kahdessa ensimmäisessä kiinteistössä toimi pääosin E27-kantaiset led-lamput. Opetustiloissa oli myös jonkin verran loisteputkia, joko pelkästään tai led-lamppujen tukena kuten kuvassa 1. Kiinteistössä 3 valaistuksena toimi pääosin led-valaisimet, mutta sielläkin oli käytössä myös led-lamppuja.

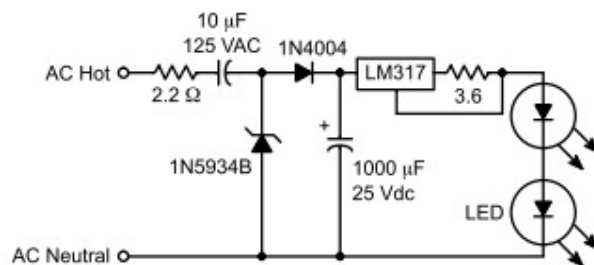
Kiinteistössä 1 led-lamppuina toimivat aulassa Osramin AA57541 (2700 K, 10 W) ja opetustiloissa Samsungin SI-I8W141UL1EU (2700 K, 13,5 W). Yhteensä valaisimia mitattavan jakokeskuksen keskusalueella kiinteistössä 1 oli noin 240 kpl. Kiinteistössä 2 led-lamppuna oli käytössä Osramin AA66582 (2700 K, 10 W). Kiinteistön 2 mitattavan keskuksen keskusalueella oli yhteensä valaisimia noin 170 kpl. Kiinteistössä 3 led-lamppuna oli käytössä Osramin AA78544 (2700 K, 9 W). Kiinteistössä 3 oli myös useita muita valaisimia käytössä, joista osa on lueteltuna valaisinluettelossa liitteessä 2. Yhteensä valaisimia mitattavan jakokeskuksen alueella kiinteistössä 3 oli noin 130 kpl. Kiinteistöön 1 vaihdettiin mittausten jälkeen opetustiloihin Airamin Megaman Pro Led M7PRAM (2800 K, 10 W) häiriöiden poistamiseksi. Tämän jälkeen suoritettiin vielä sähkön laadun mittaus, jotta saatiin tieto lamppujen vaihdon vaikutuksista.

Kiinteistössä 1 toimiva Osramin led-lamppu oli promootio-tarkoitukseen valmistettu lamppuerä, joten kaikki tekniikka kyseisessä lamppuerässä ei ollut loppuun asti hiottua. Kaikissa kohteissa valaistusta ohjattiin KNX-järjestelmällä läsnäolosensoreilla sekä painonapeilla. KNX-järjestelmä on standardoitu rakennusautomaatiotekniikka, jolla voi-

daan muun muassa ohjata valaistusta älykkäästi erilaisten sensorien avulla. Tässä tapauksessa valaistus syttyy kun läsnäolosensorit havaitsevat tilassa olevan ihmisen ja sammuu kun tilassa ei ole ennalta määrättyyn aikaan ollut ketään paikalla.

Led-lamput

Led-lamput sisältävät paljon tekniikkaa pienestä koostaan huolimatta. Led lamppuissa sähköverkosta saatava vaihtojännite muutetaan tasajännitteeksi esimerkiksi tasasuuntaajalla. Hakkurivirtalähdettä käytettäessä käytetään vielä korkeampaa taajuutta, jotta saadaan virtalähteen koko pienemmäksi. Kuvassa 2 on esitetty yksi esimerkki led lampun virtapiiristä.



Kuva 2. Led lampun virtapiiri [7, s. 4.]

Käytännössä mikään toimenpide sähkölle ei tapahdu täysin ideaalisesti, joten vaihtojännitteen muuttamisesta tasajännitteeksi ja muiden komponenttien vaikutuksesta led lamppujen aiheuttamat kuormat ovat epäsymmetrisiä, mikä saattaa aiheuttaa häiriötä sähkön laatuun.

Muut häiriötä aiheuttavat laitteet kohteissa

Kohteissa oli myös tietokoneita ja projektoreita, jotka voivat myös hyvin aiheuttaa ongelmia sähkön laadussa. Sähkön laatua mitattiin jakokeskuksista, joista saivat sähkön kaikki kyseisen keskusalueen sähkölaitteet, joten täysin varmasti ei häiriöiden lähdettä voida määrittää. Kuitenkin valaistukset ovat ainoat, jotka eroavat merkittävästi toisistaan mitattavissa kiinteistöissä. Seuraavassa kappaleessa esitetyt häiriöt ovat myös alkaneet ensimmäisten led-lamppujen vaihdon jälkeen, joten on hyvin perusteltua olettaa häiriöiden aiheutuvan valaistuksesta.

Ongelmat kohteissa

Ensimmäisessä mittauskohteessa ongelmana oli lamppujen epälooginen toiminta. Yksittäiset lamput saattoivat vikaantua kesken käytön, mutta toimia taas seuraavana päivänä.

Toisessa kohteessa ongelmana oli projektorien toimivuus. Projektorit saattoivat välillä toimia hyvin, välillä niissä ilmeni häiriöitä ja vaativat uudelleen käynnistyksen toimiakseen.

Kolmas kohde otettiin vertailuksi kahteen ensimmäiseen kohteeseen, sillä siellä ei ollut esiintynyt minkäänlaisia ongelmia, vaikka valaistuksessa oli käytetty myös led-lamppuja valaistuksessa. Pääasiallinen valaistuksen lähde kiinteistössä 3 oli kuitenkin led-valaisimet.

4 Mittaukset

Mittausten valmistelu aloitettiin tutustumalla kiinteistöiden tasopiirustuksiin ja selvittämällä missä vikoja on esiintynyt ja mistä keskuksista kyseiset vikakohdat saavat sähkönsyöttönsä. Tämän jälkeen tehtiin liitteen 3 mukainen mittaussuunnitelma, joka hyväksyttiin kiinteistön sähköasiantuntijalla. Kyseinen sähköasiantuntija osallistui myös kiinteistöissä suoritettuihin mittauksiin.

Mittaukset tehtiin aikataulusyistä 4–6 vuorokauden mittaisina, joten THD-mittaukset eivät täyttäneet standardin asettamia vaatimuksia kokonaissärökertoimen mittaamiseksi. Standardissa SFS-EN 50160 harmonisen kokonaissärökertoimen raja-arvot annetaan 10 minuutin keskiarvoilla viikon ajalta. Mittausten olisi siis pitänyt olla pidempi kestoisia täyttääkseen standardin asettamat vaatimukset, mutta kyseisissä kohteissa halettiin selvittää sähkön laadun häiriöiden aiheuttajia, johon kyseiset mittaukset riittivät hyvin. Standardissa annetut raja-arvot toimivat kuitenkin hyvänä vertailukohteena mitatuille arvoille.

4.1 Mittalaite

Mittalaitteena mittauksissa käytettiin Fluke 435 II -sarjan sähkönlaatu- ja energia-analysaattoria. Mittalaitteesta löytyy seuraavat toiminnot:

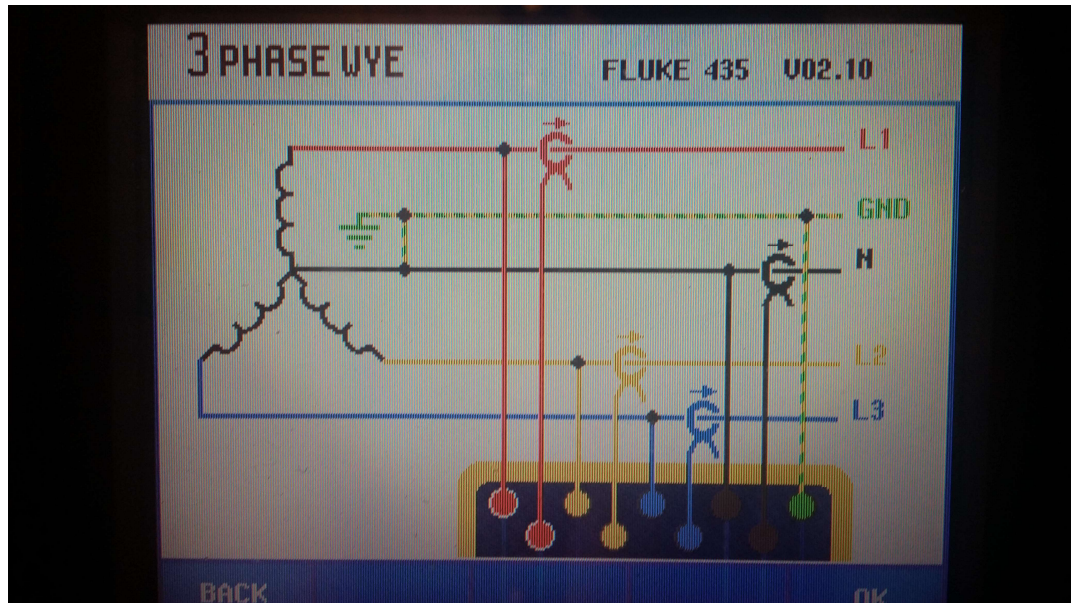
- PowerWave-tiedontallennus – RMS-tietojen tallennus: aaltomuotojen mitaus ja jännite-, virta- ja taajuusarvojen toimivuus yhdessä
- Invertterin tehokkuus – tehoinvertterin tehokkuuden mittaus
- Energiahävikin rahallisen arvon laskeminen – huonosta sähkönlaadusta aiheutuvien kustannusten mittaus
- Energiankulutusselvitykset – energiaa säästävien laitteiden hyötyjen ja vaikutuksien mittaus ennen laitteen asentamista ja sen jälkeen
- Ennaltaehkäisevä kunnossapito – sähkönlaatuongelmien mittaus
- Pitkän aikavälin analyysit – vaikeasti havaittavien ja satunnaisten ongelmien mittaus
- Kuormitustutkimukset – sähköjärjestelmien kapasiteetin mittaus

[8.]

Liitteessä 1 on esitetty analysaattorin mittaustarkkuudet.

4.2 Kytkentä

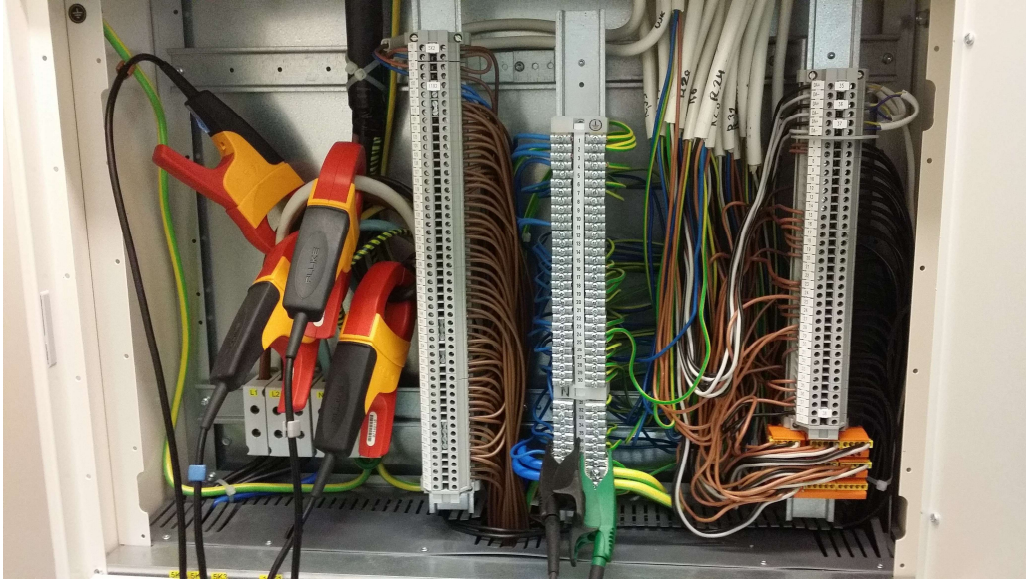
Fluke 435 II -sarjan sähkönlaatu- ja energia-analysaattori kytkettiin kuvan 2 mukaisesti 3-vaiheisesti tähtikytkennällä. Mittarista valittiin, mitä kytkentätapaa mittauksessa halusi käyttää, ja mittari näytti kuvassa 3 näkyvän kuvan, joka on otettu suoraan mittarin näytöstä. Varsinainen mittauskytkentä tuli tehdä tämän kyseisen kuvan mukaan, jotta mitaustulokset olivat oikeellisia. Mittauksissa oli erityisen tärkeää, että mittaus tehtiin samalla kytkennällä kuin mittariin oli asetettu, jotta tuloksista saatiin vertailukelpoisia.



Kuva 3. Mittauksissa käytetty analysaattorin 3-vaiheinen kytkentä.

Kytkentä tehtiin ryhmäkeskukseen, joka syötti alueen valaistusta. Ryhmäkeskuksesta saivat syöttönsä myös muut saman keskusalueen sähkölaitteet, joten mittaustuloksissa tulee ottaa huomioon, että sähkön laatua voivat heikentää myös muut alueen sähkölaitteet. Minkään mitattavan ryhmäkeskuksen alueella ei kuitenkaan ollut tietokonealuokkia tai muuten merkittäviä määriä atk-laitteita, joiden tiedetään vaikuttavan sähkön laatuun.

Kuva 4 esittää yhden mittauksen virtapihtien kytkennän jakokeskukseen.

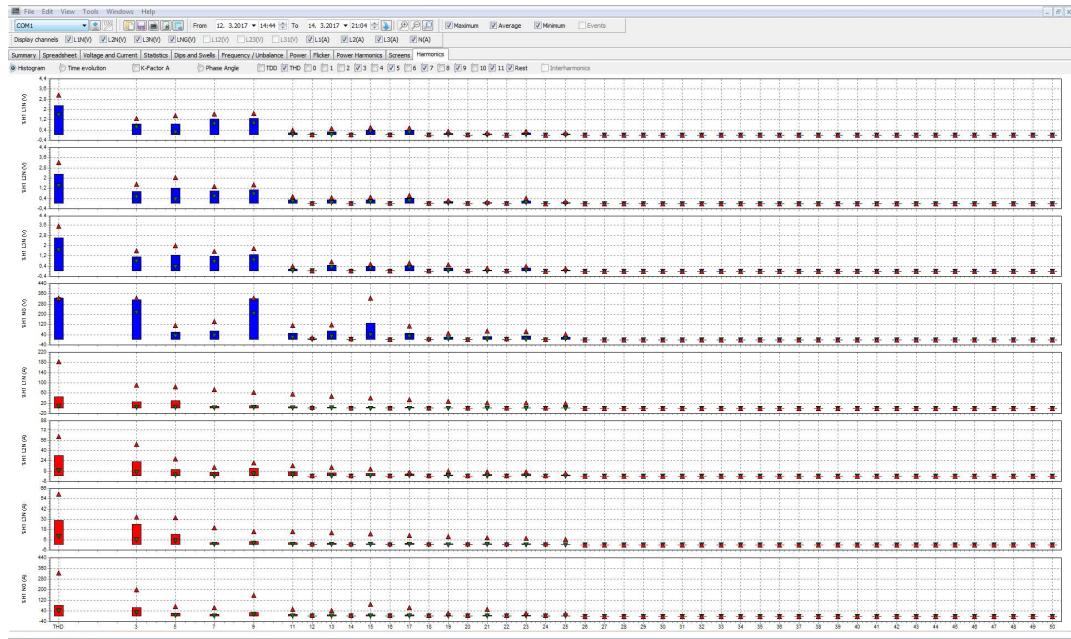


Kuva 4. Virtapihtien kytkentä.

4.3 Tulosten tallennus ja analysointi

Mittaukset tehtiin mittalaitteen logger-toiminnolla eli tiedonkeruutoiminnolla, jolloin mittalaite tallensi kaikki mittaamansa tiedot yhdeksi tiedostoksi, jonka sai mittauksen jälkeen siirrettyä tietokoneelle mittalaitteen mukana tulleen optisen kaapelin avulla. Mittariin asetettiin mittauksen aika ja aikaväli, jonka ajalta mittari tallensi minimi-, maksimi- ja keskiarvot. Tässä työssä esitetyt tulokset ovat maksimiarvoja, jotta tarkastellut määreet sähkön laadussa olisivat pahimman tilanteen mukaan. Seuraavaksi asetettiin mitattavat suureet. Tämän työn mittauksissa mitattiin jännitteen ja virran piikkejä ja kuoppia, taajuutta ja epätasaisuutta, välkyntää ja harmonisia yliaaltoja sekä tehoa ja tehon harmonisia yliaaltoja. Mittariin asetettiin myös raja-arvot, joiden ylittyessä mittari tekee niistä kyseisistä arvoista erillisen tilanteen. Tässä mittauksessa raja-arvoina käytettiin standardin SFS-EN 50160 asettamia raja-arvoja.

Tietokoneelle piti asentaa Fluken Power Log Classic-ohjelmisto, jolla kyseistä tiedostoa pääsi käsittelemään ja analysoimaan. Kuvassa 5 on kuvankaappaus kiinteistön 1 harmonisista yliaalloista esimerkkinä Power Log Classic-ohjelmiston näkymästä tulosten analysoinnissa. Power Log Classic-ohjelmistosta vein työn kannalta oleellimmat mitaustulokset Excel-taulukoihin ja tein niistä kuvaajia, jotta ne olisivat havainnollisempia ja helpommin ymmärrettäviä.



Kuva 5. Harmoniset yliaallot kiinteistössä 1.

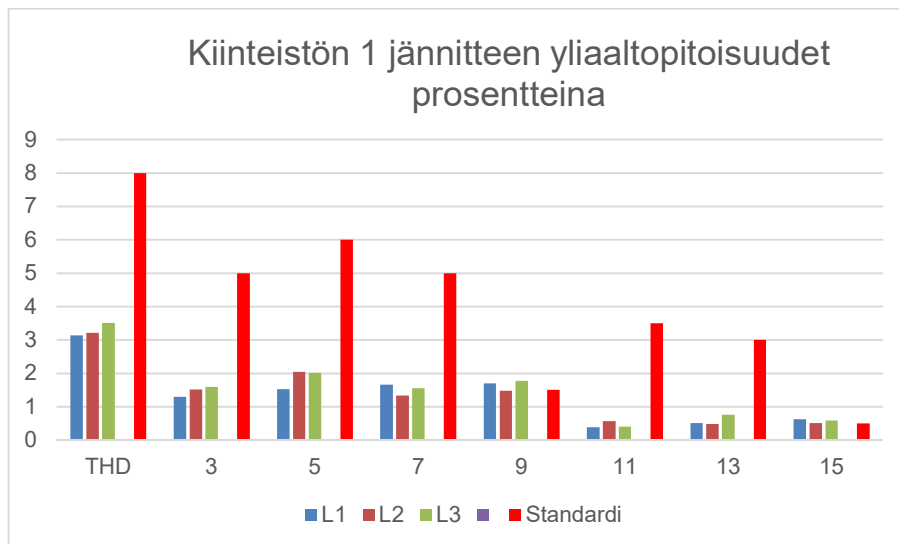
5 Mittaustulokset

Mittauksista saatiin hyvin paljon tuloksia jännitteen, virran ja taajuuden ominaisuuksista ja käyttäytymisestä kyseisissä kiinteistöissä. Mittausten alkaessa olettamuksena oli häiriöiden aiheutuvan jännitteen aaltomuodon säröistä, eli yliaaltojen vaikutuksista. Mittaustuloksista on koostettu taulukoita ja kuvaajia jännitteen ja virran yliaaltojen ja kokonaissäröjen osalta. Tuloksissa käsitellään kaikkia kolmea mitattua vaihejohdinta erikseen ja ne ovat merkitty tunnuksilla L1, L2 ja L3. Esitetyt mittaustulokset ovat mitausten maksimiarvoja, jotta tuloksista ilmenisi pahimmat tilanteet sähkön laadussa. Valaistus on päällä vain ajoittain, joten keskiarvot ottavat huomioon myös tilanteet, jolloin valaistus ei ole päällä ollenkaan.

5.1 Kiinteistö 1

Kuviossa 1 on esitetty kiinteistön 1 jänniteyliaaltopitoisuudet prosentteina standardin SFS-EN 50160 määrittämien raja-arvojen kanssa. Kuten kuvasta näkyy, yliaallot 9 ja 15 ylittävät standardin raja-arvot hieman. Yliaalto 9 korkeimmillaan 0,27 prosenttiyksikköä ja yliaalto 15 0,12 prosenttiyksikköä. Muut yliaallot ovat reilusti standardin määrit-

tämiä arvoja pienempiä. Kaikkien muiden yliaaltojen jäädessä raja-arvoja pienemmiksi, myös kaikista yliaalloista muodostuvat kokonaissärökertoimet ovat reilusti maksimiraja-arvoja pienempiä. Kokonaissärökertoimet ovat hieman yli kolme prosenttiyksikköä kun standardi sallii kahdeksan prosenttiyksikköä.



Kuvio 1. Kiinteistön 1 jännitteen yliaaltopitoisuudet prosentteina.

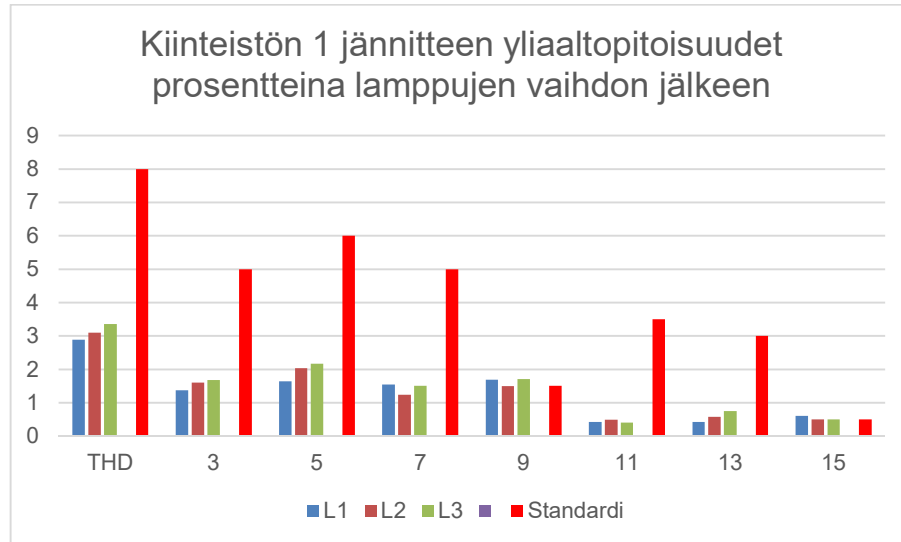
Mittauksissa mitattiin myös virran yliaaltoja, jotka jäävät yleensä vähemmälle huomiolle. Taulukkoon 4 on taulukoitu kiinteistön 1 virran yliaaltopitoisuudet prosentteina verrattuna hetkellisiin virta-arvoihin. Niihin standardit eivät ota suoraan kantaa, joten vertailua on haasteellista suorittaa. Virran yliaaltopitoisuudet vaikuttavat erittäin suurilta, mutta myös kulutetut virrat on suhteellisen pieniä joten vaikutuksista jännitteen säröön on vaikea arvioida.

Taulukko 4. Kiinteistön 1 virran yliaaltopitoisuudet prosentteina.

	THD	3	5	7	9	11	13	15
L1	182	90	84	72	63	55	48	41
L2	62	50	27	13	20	16	14	11
L3	59	33	32	20	15	15	14	13

Kuviossa 2 on esitetty kiinteistön 1 jänniteyliaaltopitoisuudet prosentteina lamppujen vaihdon jälkeen. Kuvasta nähdään, että jännitteen yliaaltopitoisuudet eivät juurikaan ole muuttuneet lamppujen vaihdon yhteydessä. Edelleen yliaallot 9 ja 15 ylittävät hieman standardin asettamat raja-arvot, kun muut yliaallot pysyvät reilusti raja-arvojen

alapuolella. kokonaissärökertoimet pysyvät myös reilusti standardin asettamien arvojen alapuolella, noin kolmessa prosenttiyksikössä.



Kuvio 2. Kiinteistön 1 jännitteen yliaaltopitoisuudet prosentteina lamppujen vaihdon jälkeen.

Taulukossa 5 on esitetty kiinteistön 1 virran yliaaltopitoisuudet prosentteina lamppujen vaihdon jälkeen. Taulukosta nähdään, että lamppujen vaihdot ovat vaikuttaneet melko paljon virran yliaaltopitoisuuksiin. Varsinkin ensimmäisen vaiheen THD on laskenut melkein kolmasosaan.

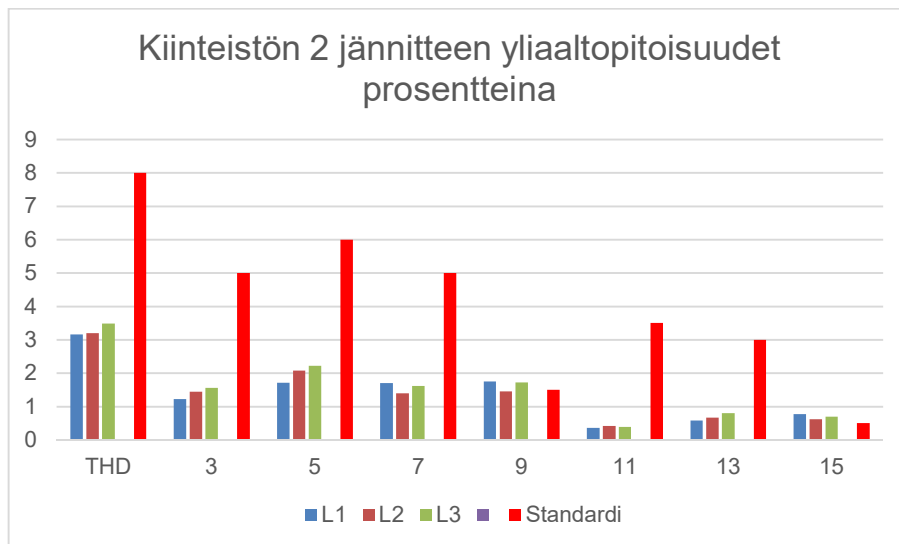
Taulukko 5. Kiinteistön 1 virran yliaaltopitoisuudet prosentteina lamppujen vaihdon jälkeen.

	THD	3	5	7	9	11	13	15
L1	66	47	37	19	16	12	11	8
L2	78	59	36	20	20	14	8	7
L3	66	51	31	15	14	10	6	4

Tästä voisi päätellä, että virran yliaaltopitoisuudet eivät juurikaan vaikuta jännitteen säröön vaikka ne muuttuisivat paljonkin. On kuitenkin mielenkiintoista huomata, että alkuperäiset häiriöt valaistuksessa, missä lamput saattoivat vikaantua hetkellisesti kesken käytön, ovat poistuneet, vaikka jännitteen yliaaltopitoisuudet ovat pysyneet samoina, melkein standardin mukaisina.

5.2 Kiinteistö 2

Kiinteistön 2 sähkön laatu muistuttaa hyvin paljon ensimmäistä kiinteistöä ennen lampujen vaihtoa. Kuvio 3 kertoo, että myös toisessa kiinteistössä jännitteen yliaallot 9 ja 15 ovat ainoat, jotka ylittävät standardin asettamat rajat. Myös kokonaissärökertoimet pysyvät ensimmäisen kiinteistön tavoin noin kolmessa prosenttiyksikössä eli reilusti alle standardin SFS-EN 50160 määrittämän raja-arvon.



Kuvio 3. Kiinteistön 2 jännitteen yliaaltopitoisuudet prosentteina.

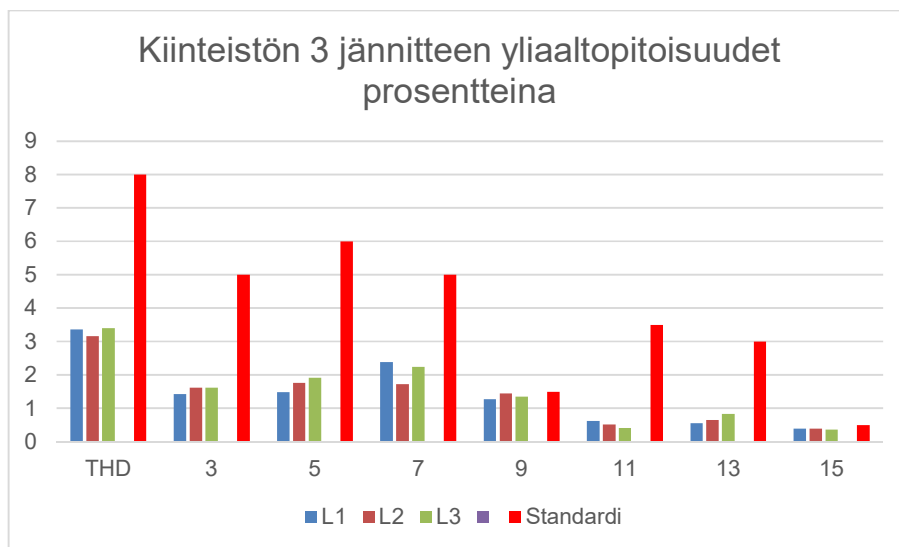
Kiinteistössä 2 on myös selvästi epätasaisuutta virtojen yliaaltojen kanssa. Taulukossa 6 on listattuna kiinteistön 2 virran yliaaltopitoisuudet prosentteina yliaaltoon 15 saakka ja sekä virran kokonaissärökertoimet. Kuten ensimmäisessä kiinteistössä ennen lampujen vaihtoa, myös toisessa kiinteistössä yhden vaiheen virran kokonaissärökerroin on selvästi muita korkeampi.

Taulukko 6. Kiinteistön 2 virran yliaaltopitoisuudet prosentteina.

	THD	3	5	7	9	11	13	15
L1	63	32	31	29	29	17	12	13
L2	112	50	52	49	49	32	23	29
L3	59	23	21	24	29	16	18	18

5.3 Kiinteistö 3

Kiinteistö 3 otettiin mukaan mittauksiin vertailukohteeksi. Siellä ei ollut havaittu min-käänlaisia häiriöitä sähkölaitteissa. Kiinteistössä 3 valaistuksena toimivat pääosin led-valaisimet, mutta kahden ensimmäisen kiinteistön tavoin siellä oli myös E27-kantaisia led-lamppuja. Lamput ovat kuitenkin eri tuotantoerää kuin muissa kiinteistöissä. Kiinteistössä 3 jännitteen yliaaltopitoisuudet ovat hyvin samanlaiset kuin kahdessa ensimmäisessä kiinteistössä. Kuvio 4 on kiinteistön 3 jännitteen yliaaltopitoisuudet prosentteina. Suurimpana erona kahteen ensimmäiseen kiinteistöön on, että tässä kiinteistössä kaikki yliaaltojen arvot pysyvät standardin rajojen alapuolella.



Kuvio 4. Kiinteistön 3 jännitteen yliaaltopitoisuudet prosentteina.

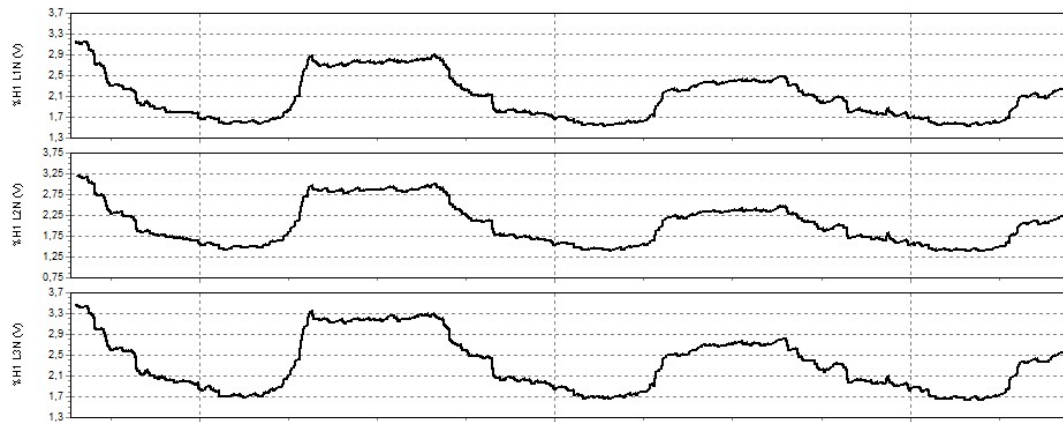
Kiinteistön 3 virran yliaaltopitoisuudet on listattu taulukkoon 7. Taulukosta on helppo huomata, että virran yliaaltopitoisuudet ovat selvästi kahden ensimmäisen kiinteistön vastaavia arvoja pienempiä. Tästä syystä myös virran kokonaissärökertoimet ovat alhaisempia. Kiinteistössä 3 on myös huomattavaa, että virran kokonaissärökertoimet ovat kahta ensimmäistä kiinteistöä tasaisemmat, eikä yhden vaiheen THD nouse niin selkeästi muita korkeammaksi.

Taulukko 7. Kiinteistön 3 virran yliaaltopitoisuudet prosentteina.

	THD	3	5	7	9	11	13	15
L1	38	24	15	22	19	12	8	9
L2	75	46	39	34	26	18	10	14
L3	55	36	26	25	19	9	5	3

5.4 Yhteenveto mittauksista

Ennen mittauksia oletuksena oli, että sähkön laadun häiriöt johtuvat valaistuksen aiheuttamista jännitteen yliaalloista. Ajatuksena oli, että jos tuloksissa ilmenee virran yliaaltoja, heijastuu se suoraan jännitteen yliaaltoihin ja siten jännitteen kokonaissärökertoimiin. Yleensä aina kun puhutaan yliaalloista sähkön laadun häiriöinä, tarkoitetaan automaattisesti jännitteen yliaaltoja, sillä ne ovat tarkemmin standardoituja. Tässä työssä on mielestäni hyvin perusteltua olettaa, että aikaisemmin mainitut häiriöt kiinteistöissä 1 ja 2 johtuvat nimenomaan virran yliaalloista. Tuloksista voisi myös olettaa, että häiriöitä aiheuttivat yhden vaiheen selvästi muita korkeammat yliaaltovirrat, jotka rikkoivat aaltomuotoa tarpeeksi paljon sammuttaakseen lamppujen toiminnan ja aiheuttivat mahdollisesti projektorien toiminnan häiriöt. Kuvasta 6 nähdään yliaaltojen määrä ajankohdittain. Pystysuunnassa olevat katkoviivat merkitsevät vuorokauden vaihtumista eli keskiyötä. Kuvasta nähdään, että yliaaltoja syntyy päiväsaikaan, kun valaistus ja muut sähkölaitteet ovat käytössä. Tästä voi päätellä, että yliaaltojen aiheuttaja ei ainkaan ole ilmanvaihdon ja lämmityksen käyttämät sähkölaitteet. Yliaaltojen ja kuormitusten mittaustuloksista nähdään myös, että yliaaltoja syntyy eniten silloin kuin kuormat ovat suurimmillaan, eli kaikki valaisimet ovat samaan aikaan päällä.



Kuva 6. Kiinteistön 2 jännitteen yliaallot aikajanassa

6 Toimenpiteet ja ratkaisut

Toimenpiteitä häiriöiden poistamiseksi aloitettiin jo työn aikana vaihtamalla lamput kiinteistössä 1. Mittaustulosten perusteella lamppujen vaihto oli hyvin perusteltu ja toimiva ratkaisu. Koska led-lamppujen hinnat ovat viime vuosien aikana tulleet hyvin alaspäin, lamppujen vaihto oli melko edullinen ja helppo keino saada häiriöt poistettua.

Jos led-lamppuja vaihdetaan 200 kappaletta ja yksi lamppu maksaa noin 10 euroa, lamppujen kustannus on 2000 euroa. Lamppujen vaihtoon tarvitaan noin 10 tuntia ja yhden tunnin hinta esimerkiksi 85 euroa. Tällöin vaihtotyön hinnaksi saadaan 850 euroa ja lamppujen vaihdon kokonaiskustannuksiksi 2850 euroa.

Toinen vaihtoehto yliaaltojen ehkäisyyn olisi niiden suodattaminen esimerkiksi aktiivisuodattimella, jolla pystyy suodattamaan yliaallot melkein kokonaan pois ja jopa yksittäisiä yliaaltoja niiden esiintyessä. Aktiivisuodattimet tuottavat virran yliaaltokomponentin kanssa yhtä suuren, mutta vastakkaisessa vaiheessa olevan virran kumoten samalla alkuperäisen yliaallon. Yksi esimerkki tämmöisestä suodattimesta on ABB:n pienjänniteverkon aktiivisuodatin PQFS. Suodatin asennetaan keskuksen viereen keskushuoneeseen. Yliaaltojen vaimennuskerroin on 97 %, ja suodatin ohjelmoidaan yliaaltokohteisesti. Taulukossa 8 on listattuna kyseisten tuotteiden hintatiedot virrankestoisuuden mukaan. Tässä työssä esiteltujen kiinteistöjen jakokeskuksiin riittäisi 60 A:n aktiivisuodatin. Taulukosta 8 nähdään, että hintaa kyseisellä laitteella on noin 10000 €. Asennuskustannuksineen laitteen hinta nousee noin 11000 euroon. Tämä on hieman yli 8000 euroa enemmän kuin lamppujen vaihdon kustannukset. Valmiiksi rakennetuis-

sa kiinteistöissä jakokeskuksen keskustilat voivat olla niin ahtaasti mitoitettut että kyseistä suodatinta ei pysty asentamaan ilman tilan laajennusta. Tällöin mahdollisuutena on laajentaa keskustilaa jos mahdollista tai sijoittaa suodatin pääkeskustilaan. Tämä kasvattaa kuitenkin kustannuksia, kun suodattimen tulee kestää suurempia virtoja.

Taulukko 8. ABB:n aktiivisuodattimen PQFS hintatiedot. [9.]

Tuotekoodi	Virta/A	Hinta/€
PQFS V0 1M0S30 IP30 CE NEW	30 A	8000
PQFS V0 1M0S45 IP30 CE NEW	45 A	9000
PQFS V0 1M0S60 IP30 CE NEW	60 A	10000
PQFS V0 1M0S70 IP30 CE NEW	70 A	10500
PQFS V0 1M0S80 IP30 CE NEW	80 A	11000
PQFS V0 1M0S90 IP30 CE NEW	90 A	11500
PQFS V0 1M0S100 IP30 CE NEW	100 A	12000
PQFS V0 1M0S120 IP30 CE NEW	120 A	13500

Suodattimen hyvänä puolena on sen toimintavarmuus. Jos häiriöt tiedetään aiheutuvan jännitteen tai virran yliaalloista, aktiivisuodattimella saadaan varmasti yliaallot suodatettua niin pieniksi, että niistä ei aiheudu minkäänlaisia häiriöitä. Lamppujen vaihdossa on aina riski, että uudet lamput eivät ole edellisiä parempia, vaikka kokeilisi niitä ensin pienemmälle alueelle. Lamppujen aiheuttamat yliaallot saattavat resonoida keskenään vasta kun niitä on suurempi määrä, jolloin ne aiheuttavat työssä esitetyn kaltaisia häiriöitä.

7 Yhteenveto

Mittauskohteissa kaikki käytetyt led-lamput olivat luotettavien ja suurien valmistajien valmistamia. Led-lampuissa näytti silti olevan suuria eroja keskenään, ja tämän vuoksi suurina määrinä käytettynä retrofit led-lamput ovat melko epävarma tapa toteuttaa valaistus. Ongelmia voi etenkin esiintyä, jos lähistöllä on paljon elektroniikkaa sisältäviä laitteita. Tämän vuoksi led-lamppuja vaihdettaessa häiriöiden poistamiseksi kannattaa ehdottomasti vaihtaa pienempi alue ensin, että voi kokeilla kyseisten lamppujen toiminnan. Led-lamput ovat kuitenkin huomattavasti edullisempi ja helpompi tapa vaihtaa valaistus ledeillä toimivaksi kuin vaihtaa valaisimet kokonaan uusiin.

Kiinteistön 3 mittaustulosten perusteella uusia rakennuksia suunniteltaessa tai isompia remontteja tehtäessä suosittelisin ehdottomasti käyttämään led-valaisimia valaistuksen toteuttamiseksi. Retrofit led-lamppuja käytetäänkin yleensä vain joko rahan säästöllisistä syistä tai arkkitehtuurisista syistä vanhojen hehkulamppuvalaisimien lamppujen päivitykseen.

Jotta olisi saanut täyden varmuuden sähkön laadun häiriöiden aiheuttajista, mittauksia olisi voinut jatkaa mittaamalla pelkästään valaistuksen lähtöjä. Lähdöt olisi pitänyt kuitenkin eristää keskusalueen muita sähkölaitteita syöttävistä lähdöistä mittaushäiriöiden välttämiseksi. Mittauksia olisi myös voinut tehdä yksittäisille lampuille erillisellä mittausalustalla. Tätä varten olisi pitänyt rakentaa mittauksia varten erillinen alusta, johon saisi yksittäisen lampun ja sähkön laadun analysaattorin kytkettyä. Yksittäisiä lamppuja mittaessa ei ole mahdollista huomata useampien lamppujen yliaaltojen resonointia.

Sähkön laadun häiriöiden ehkäisy ja poistaminen on hyvin kiinteistökohtainen asia eikä siitä voi yleistää yhtä yleistä ohjetta. Tämän työn kiinteistöissä lamppujen vaihto osoittautui kuitenkin helpommaksi ja taloudellisesti kannattavammaksi tavaksi poistaa havaitut häiriöt.

Mielestäni työ onnistui erinomaisesti, sillä häiriöiden lähteet saatiin selville ja osaltaan jopa korjattua työn aikana. Aalto-yliopistokiinteistöt Oy sai varmistuksen epäilyilleen, että häiriöt aiheutuivat pääosin led-lampuista.

Lähteet

- 1 Valaistustieto. i.a. Verkkodokumentti. Motiva. <<https://valaistustieto.fi/>>. Luettu 30.3.2017.
- 2 Yhtiöstä. i.a. Verkkodokumentti. Granlund. <<http://www.granlund.fi/yhtiosta/>>. Luettu 23.3.2017.
- 3 Teknisiä tietoja ja taulukoita luku 4. Sähkön laatu. ABB. <http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/04_0_S%84hk%94n%20laatu.pdf>, 25.3.2017.
- 4 Alanen Raili & Hätönen Hannu, 2006, Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta, VTT.
- 5 Suomen standardisoimisliitto SFS. Standardi SFS-EN 50160 Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet, 4. painos.
- 6 Suomen standardisoimisliitto SFS. 2014. Standardi SFS-EN 61000-3-2 Electromagnetic compability (EMC) - part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current = 16 A per phase).
- 7 Walding, Carl. 2004. AND8146/D High Current LED -Capacitive Drop Drive Application Note, ONsemi.
- 8 Fluke 435 II -sarjan sähkönlaatu- ja energia-analysaattori. i.a. Verkkodokumentti. Fluke. <<http://www.fluke.com/fluke/fifi/sahkonlaatutyokalut/kolmivaiheinen/fluke-435-series-ii.htm?pid=73939>>. Luettu 25.3.2017.
- 9 Kesäläinen Ilkka, ABB Oy, Grid Integration Service. Aktiivisuodattimen PQFS hintatiedot. Henkilökohtainen tiedonanto. 20.4.2017.

Fluke 435 II -sarjan sähkölaatu- ja energia-analysaattori

Harmoniset yliaallot				
Harmonisten yliaaltojen järjestys (n)		DC, ryhmittely 1-50: Harmoniset ryhmät IEC 61000-4-7-standardin mukaisesti		
Epäharmonisten yliaaltojen järjestys (n)		OFF, ryhmittely 1-50: Harmoniset ja epäharmoniset alaryhmät IEC 61000-4-7-standardin mukaisesti		
Jännite	%f	0,0...100 %	0,1 %	± 0,1% ± n x 0,1 %
	%r	0,0...100 %	0,1 %	± 0,1% ± n x 0,4 %
	Absoluuttinen	0,0-1000 V	0,1 V	±5 % *
	Harmoninen kokonaissärö (THD)	0,0...100 %	0,1 %	± 2,5 %
Virta	%f	0,0...100 %	0,1 %	± 0,1% ± n x 0,1%
	%r	0,0...100 %	0,1 %	± 0,1% ± n x 0,4 %
	Absoluuttinen	0,0-600 A	0,1 A	±5 % ±5
	Harmoninen kokonaissärö (THD)	0,0...100 %	0,1 %	± 2,5 %
W	%f tai %r	0,0...100 %	0,1 %	± n x 2%
	Absoluuttinen	Riippuvainen virtapihdin skaalauksesta ja nimellisjännitteestä	—	±5% ±n x 2 %, ±10 lukemaa
	Harmoninen kokonaissärö (THD)	0,0-100 %	0,1 %	± 5 %
Vaihekulma		-360°...+0°	1°	± n x 1°
Välkyntä				
Plt, Pst, Pst(1 min) Pinst		0,00...20,00	0,01	± 5 %
Epäsymmetria				
Jännite	%	0,0...20,0 %	0,1 %	±0,1 %
Virta	%	0,0...20,0 %	0,1%	± 1 %

Kiinteistön 3 valaisinluettelon osa

Pos. N:o	Valmistajaa koskevat tiedot Valmistaja / tyyppi	Luettelo		Valaisimen tiedot										Yht. kpl.	Huom.					
		N:o	Sivu	Häijä Teho sud W	Lamp- pu	Asenn- tapa	Kom- pens.	Ala- kellari	Ylä- kellari	1 Kerros	2 Kerros	Vesi- katto	Ulko- valaisimet							
101	Energosave CL (ES6612), DALI, halk. 228mm, 4000K			35	Led	U				11							11	UUSI VALAISIN		
102	Energosave CL (ES6612), DALI, halk. 228mm, 4000K			18	Led	U					13						13	UUSI VALAISIN		
103	Innolux Belle, opaillasi, E27			max 35	Led	V					50						50	UUSI VALAISIN		
104	Energosave CL (ES6612), DALI, halk. 228mm, 4000K			25	Led	U					24						24	UUSI VALAISIN		
105	Erco Starpoint Spotlight, 87639.000, 3000K, musta			6	Led	U			6								6	3) UUSI VALAISIN		
106	LinLed Side Power Short Pitch, IP40, 2700K			9,7m	Led	S			1								1	4) UUSI VALAISIN		
107	Glamox C50-S SL/SU, valkoinen, Dali + upotuskannakkeet			2x35	T5	U					4		8				12	UUSI VALAISIN		
108	LTS PLL 25.1000.40.1/Dali, valkoinen, 4000K, 1000mm			165	Led	U				50	35						85	UUSI VALAISIN		
109	Alppilux, Monix slim AMS228K-N			2x28	T5	RT				1	2						3	UUSI VALAISIN		
110	Alppilux, Monix slim AMS249K-N			2x49	T5	RT				52	10			6			68	UUSI VALAISIN		
111	Fagerhult, 10999-2041 Ligne SPECIAL			1x28	T5	U				20	22		16				58	UUSI VALAISIN		
112	Ensto, Jono Led AVR66.112L			14	Led	S				3	2		4				13	UUSI VALAISIN		
113	Alppilux, Alco AP352433			2x35	T5	RT			4	3	2						62	UUSI VALAISIN		
114	Ifö Electric, Modul 54, suora, opaillasi kupu 150mm			13	E27	K			1	1	4		1				7	UUSI VALAISIN		
115	Fagerhult, 10999-2042 Ligne SPECIAL, turvavalo			1x28	T5	U				6	8		7				21	UUSI VALAISIN		
116	Ensto, Jono Led AVR66.124L			24	Led	S			2	2	2		1				5	UUSI VALAISIN		
117	Fagerhult, Multi five Basic Beta			1x35	T5	U					2						2	UUSI VALAISIN		
118	Ifö Electric, Modul 54, vino, opaillasi kupu			13	E27	S			4		8			4			16	UUSI VALAISIN		
119	Ifö Electric, Modul 54, suora, opaillasi kupu 180mm			13	PL	K				6	16		2				24	UUSI VALAISIN		
120	Fagerhult, Multi five Basic Beta 2x35W			2x35	T5	U					2						2	UUSI VALAISIN		
121	Rexel SLR-110, T5, kirkas			2x28	T5	K					4						4	UUSI VALAISIN		
122	Alppilux Alpo - AP491433 T5, + upotuskehys			1x49	T5	U					4						4	UUSI VALAISIN		
123	Fagerhult, 10999-2041 Ligne SPECIAL/dali-ohj.			2x35	T5	K							19				19	UUSI VALAISIN		
124																	0	UUSI VALAISIN		
125	Konstsmide Mantova, Valkoinen, muovi, IP44, T.nro.64068			9	Led	S				3							3	UUSI VALAISIN		
126	XAL Loggy 052-7210517M, (221x45mm) + upotus kehys			4	Led	U/S				11	7						18	UUSI VALAISIN		
127	Zumbobel Arcos 2 flood, valkoinen, 4000K, Dali			22	Led	KK							19				19	2) UUSI VALAISIN		
128	Less-n-more, Zeus Z-AL2-FTS, musta			2,5	Led	KL				7							7	UUSI VALAISIN		
129	Glamox C50-S SL/SU, valkoinen, Dali			2x35	T5	K					3		6				23	UUSI VALAISIN		
130	Teknoware Opas 20 TWT4751WK + upotuskehys					K				3	6		31				8	5) UUSI VALAISIN		
131	Teknoware Opas 20 TWT4751WK					S				5	2		2				5	5) UUSI VALAISIN		
132	Teknoware TriSpot TWT7851WK									7	18		30				35	90 UUSI VALAISIN		
133	Teknoware TriSpot TWT2951WK																4	UUSI VALAISIN		
134	Derksen, Phos 40 downlight, valkoinen, 6500K																3	UUSI VALAISIN		
135	Glamox i20-1500 LED, dali-ohjattu			2x49	T5	K											96	UUSI VALAISIN		
										Yhteensä	54	245	306	117	12	0	0	0	734	kpl.
ASENNUSTAPAMERKINNÄT		LAMPULYHENNYKSET			HÄIKÄISYSUJAMERKINNÄT					HEIJASTIMEN MERKINN/HUOMAUTUKSET:					2) Tarkistettava että virran-ottolaitte sopii N.A. Global Trac pulse kiskoon.					
K	= keittosennus	L	= loistelamppu	RR	= ruuturitiä	HM	= maalattu heijastin	Muutos A, 9.6.2015					3) Huomioltava tilauksessa erikoisväri, musta + liitäntälaitte							
S	= seinäsennus	K	= hehkulamppu, kirkas	LA	= poikkiamelliritiä	HE	= eloksoitu heijastin	Muutos B, 26.6.2015					4) Yht. 19m, mitataan paikan-päällä + 3 kpl liitäntälaitetta ä 150W							
V	= vajierasennus	H	= hehkulamppu, matta	TR	= poikkiamellialumiini (taittoritiä)			Muutos C, 14.8.2015					5) + opasteet							
U	= upposennus	He	= heijastinlampu	PM	= prisma muovi			Muutos D, 15.09.2015												
RT	= ripustuskiiksoasennus	Kd	= kohdelamppu	OM	= opaalimuovi			Muutos E, 21.10.2015												
KK	= kosketinkisoksoasennus	HPd	= pääpeililamppu	L	= lasi			Muutos F, 20.11.2015												
RP	= ripustusputkiasennus	Halo	= halogeenilamppu	OL	= opaalilasi			Muutos G, 26.11.2015												
KL	= kalustossa	HgX	= elohopealamppu	TER-R	= reijitetty teräsritiä			Muutos H, 08.12.2015												
P	= valaisinyväsasennus	SpNa	= Suurpainelaternilamppu	ML	= matalaluminanssiritiä			Muutos I, 22.12.2015												
M	= valaisinmastoasennus	MM	= monimitalilamppu	PC	= polykarbonaattimuovi			Muutos J, 21.03.2016												
		PL	= pienisloistelamppu																	
		PLK	= pienisloistelamppu (kompaktillamppu)																	
		2D	= pienisloistelamppu 2D																	

Sähkön laadun mittaukset Aalto-yliopistokiinteistöt Oy

Mittaus 1: Kiinteistö 1

Ajankohta: 14-16.3.2017

Mittaus suoritetaan keskuksesta AJK 201.

Mittaus tehdään Fluke 435-sähkönlaatu- ja energia-analysaattorilla.

KytKentä: 3-vaiheinen, analysaattorin ohjeen mukaan

Mittauksen kesto n. 2,5 vrk.

Mitattavat suureet: Yliaaltojännitteet, yliaaltovirrat, THD.

Toimenpiteet: Kiinnitetään analysaattori keskukseen. Mahdollisuuksien mukaan sytytetään ja sammutetaan valot muutaman kerran, minkä jälkeen jätetään valot päälle loppumittauksen ajaksi.

Mittaus 2: Kiinteistö 2

Ajankohta: 16-22.3.2017

Mittaus suoritetaan keskuksesta UJK 202.

Mittaus tehdään Fluke 435-sähkönlaatu- ja energia-analysaattorilla.

KytKentä: 3-vaiheinen, analysaattorin ohjeen mukaan

Mittauksen kesto n. 6 vrk.

Mitattavat suureet: Yliaaltojännitteet, yliaaltovirrat, THD.

Toimenpiteet: Kiinnitetään analysaattori keskukseen. Mahdollisuuksien mukaan sytytetään ja sammutetaan valot muutaman kerran, minkä jälkeen jätetään valot päälle loppumittauksen ajaksi. Jos mahdollista, laitetaan jokin projektoreista päälle.

Mittaus 3: Kiinteistö 3

Ajankohta: 22-28.3.2017

Mittaus suoritetaan keskuksesta RK 13.

Mittaus tehdään Fluke 435-sähkönlaatu- ja energia-analysaattorilla.

KytKentä: 3-vaiheinen, analysaattorin ohjeen mukaan

Mittauksen kesto n. 6 vrk.

Mitattavat suureet: Yliaaltojännitteet, yliaaltovirrat, THD.

Toimenpiteet: Kiinnitetään analysaattori keskukseen. Mahdollisuuksien mukaan sytytetään ja sammutetaan valot muutaman kerran, minkä jälkeen jätetään valot päälle loppumittauksen ajaksi.

Mittaus 4: Kiinteistö 1, vertailu lamppujen vaihdon jälkeen

Ajankohta: 28-31.3.2017

Mittaus suoritetaan keskuksesta AJK 201

Mittaus tehdään Fluke 435-sähkönlaatu- ja energia-analysaattorilla.

KytKentä: 3-vaiheinen, analysaattorin ohjeen mukaan

Mittauksen kesto n. 3 vrk

Mitattavat suureet: Yliaaltojännitteet, yliaaltovirrat, THD.

Toimenpiteet: Kiinnitetään analysaattori keskukseen. Mahdollisuuksien mukaan sytytetään ja sammutetaan valot muutaman kerran, minkä jälkeen jätetään valot päälle loppumittauksen ajaksi.