

HIMMENNETTÄVÄT LED-ALASVALOT JA
HARMONISET YLIAALLOT

Samuli Sieppi

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Samuli Sieppi	Vuosi	2019
Ohjaaja	DI Jaakko Etto		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Himmennettävät Led-allasvalot ja harmoniset yliaallot		
Sivu- ja liitesivumäärä	48 + 4		

Tämä opinnäytetyö on tehty Lapin Ammattikorkeakoulun Kemin toimipisteen sähkövoimatekniikan laboratorioille. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia liitännälaitteita ja himmentimiä sekä vertailla niiden vaikutusta yliaaltojen syntyyn.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsiteltiin standardin sähkönlaadulle asettamia vaatimuksia sähkön tuottajan kannalta sekä kuluttajan sähkölaitteistoille asetettuja rajoituksia yliaaltovirroille. Kuluttajan pienjänniteverkkoon aiheutetuille yliaalloille on annettu raja-arvot liittyjän pääsulakekoon määräämän referenssivirta-arvon mukaan. Lähdemateriaalina työssä käytettiin standardeja ja aikaisempia opinnäyte- ja diplomitöitä sekä alan kirjallisuutta ja julkaisuja.

Opinnäytetyössä mitattiin himmennettävien LED-allasvalojen aiheuttamien harmonisten yliaaltovirtojen suuruutta yksivaiheisella sähkönlaatuanalysointilaitteella. Laboratoriomittauksia varten valmistettiin valopaalu, johon oli asennettu kolmen tyyppistä valaisinta, jollaisia käytetään kiinteistöjen valaisinasennuksissa. Valaisimia voitiin ohjata joko suoraan tai himmentimen kautta, jolloin saatiin selville himmentimen elektroniikan vaikutus yliaaltojen syntyyn.

Työssä saatiin selville liitännälaitteiden ja himmentimien aiheuttamat yliaaltovirrat, joista suurin yliaaltojen tuottaja on himmennin. Säädettyä valaisutehoa pienemmäksi olivat virtayliaallot jopa viisinkertaiset verrattuna suoraan ohjaukseen. Laboratoriomittauksissa havaittiin myös yhden vertailtavan valaisimen sopivan hyvin himmennin käyttöön.

Kiinteistöissä suoritetuissa mittauksissa tulokset olivat saman suuntaiset. Mittauksissa saatiin myös tulostettua virtakäyrä todennäköisestä resonanssitilanteesta. Harmonisille yliaaltovirroille ei ole määritelty raja-arvoja enintään 25 A sähköliittymille, joten niissä saa käyttää laitestandardin mukaisia tuotteita. Näille pienille liittymille on valmisteilla IEC standardi 61000-3-2, joka määrittelee työssä tutkittujen valaisinten ja liitännälaitteiden ominaisuuksia ja yliaaltojen sallittuja määriä.

Avainsanat

sähkönlaatu, yliaallot, LED-valot, himmennettävä

Technology, Communication and Transport
Electrical and Automation Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Samuli Sieppi	Year	2019
Supervisor	Jaakko Etto M.Sc. (Elect. Eng)		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Dimmable LED Downlights and Harmonic Distortion		
Number of pages	48 + 4		

This thesis is done for the Kemi the Electricity Power technology Laboratories of Lapland University of Applied Sciences. The objective of thesis was to study attachment equipment and dimmers and compare the effect to the development of the harmonic distortion.

The theory of the thesis studies the regulations of the electricity quality defined by the standard from the perspective of the electricity producer. The harmonic distortion currents caused by the consumers in the low voltage network have limit values according to the consumer's main fuse size reference value.

Harmonic distortion current caused by dimmable LED downlight were measured by one-phase electricity quality analyser in the thesis. For the laboratory measurement was made a light tower of three different kinds of lights which are used in property light installations. To clarify the effect of dimmer electronics to the development of harmonic currents, the lights could be controlled directly or through dimmers.

In the study, the harmonic currents caused by dimmers and connection devices were found out and the biggest harmonic currents came five-time bigger compared to the feed when light power was adjusted smaller. In the laboratory, the measurement results showed that one light fitting suited well as a dimmer.

The results made in the property were similar. A current wave graph was also obtained from a probable resonance situation in the measurements. Limit values have not been defined to the harmonic current under 25 A electricity connection and because of that the equipment standard products can be used. IEC standard 61000-3-2 is being prepared for these small attachments and it defines the features and allowable amount of harmonic currents of the lights and connection devices.

Key words power quality, harmonic, LED lights, dimmable

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 SÄHKÖN LAATU	8
2.1 Sähkön laatuvaatimukset standardissa.....	8
2.2 Harmoniset- ja epäharmoniset yliaallot	8
2.3 Yliaaltojen terminologiaa.....	9
2.4 Yliaaltojen komponentit.....	10
2.5 Standardit yliaalloille	10
2.6 Vaikutukset	12
3 VALAISINTEKNIikka	14
3.1 LED.....	14
3.2 Led-valaisin.....	14
3.3 Liitäntälaitteet.....	16
3.4 Säätimet.....	16
4 TUTKITTAVAT VALAISIMET	17
4.1 Valaisin	17
4.2 Liitäntälaitte.....	18
4.3 Säädin.....	19
5 MITTAUKSET LABORATORIOSSA	22
5.1 Käytetyt mittalaitteet.....	22
5.2 Virtamittaukset	24
5.3 Ääri- ja nollajohtimenvirta ja yliaallot	24
5.4 Mittaustulokset.....	25
5.5 Laboratoriomittauksien tulkintaa	32
6 MITTAUKSET KIINTEISTÖSSÄ.....	33
6.1 Mittauksien suoritus	33
6.2 Mittaustulokset.....	34
6.3 Syöttöjohdon mittaukset.....	39
6.4 Kiinteistömittauksien tulkintaa.....	44
7 POHDINTA.....	45
LÄHTEET	46

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

LED	Light-Emitting Diode	Led-valo
PF	Power Factor	Tehokerroin
PE	Protective Earth	Suojamaa
PEN	Combined Neutral and Protective Earth	Yhdistetty nolla ja suojamaa
PRI	Primary	Teholähteen ensiöpuoli
RLV	Red Line Version	Standardiluonnos
SEC	Secondary	Teholähteen toisiopuoli
THD	Total Harmonic Distortion	Kokonaisharmoninen särö

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä on tarkoitus tutkia Led-valojen hakkurityyppisten liitäntälaitteiden sekä säädinten aiheuttamia virran ja jännitteen harmonisia yliaaltoja. Työssä mitataan omakotitalokohteen jakokeskukselta (JK2) lähteviä yläkerran valaistusrhymiä, joissa on runsaasti Led-alasvaloja ja niiden liitäntälaitteita. Valaisimissa on lisäksi valaistusvoimakkuuden säätö.

Työssä tarkastellaan myös joidenkin valaisinten liitäntälaitteiden toimintaa laboratoriomittausten avulla ja valaisinten toimintaa yliaaltojen vaikutuksen alaisena.

Mielenkiinnon aiheen tutkimiseen herätti opiskeluaikana luetut tutkimukset nol-lajohtimen kuormittumisesta etenkin tämäntyyppisissä ratkaisuissa. Hakkurityyppiset virtalähteet ja himmentimet ovat otollisia tuottamaan harmonisia yliaaltoja niissä käytettyjen puolijohdekomponenttien ominaisuuksien vuoksi.

Harmonisten yliaaltojen vaikutuksiin on alettu kiinnittää huomiota myös sähköasennusten standardeissa ja tulevaisuudessa niiden määriin ja suuruuteen tullaan ottamaan kantaa yhä tarkemmin tämän tyyppisten vaikuttimien lisääntyessä. Harmoniset yliaallot ovat haitallisia sähköverkkojen kannalta aiheuttaen niihin häviöitä ja vaikuttaen laitteiden kuormitettavuuteen alentavasti.

2 SÄHKÖN LAATU

2.1 Sähkön laatuvaatimukset standardissa

Standardi SFS-EN 50160 määrittää sähköverkosta normaalioloissa sähköverkon sähkönlaadulle tietyt vaatimukset, jotka käsittävät seuraavat sähkösuureet: taajuus, jännite, aaltomuoto ja kolmivaiheisen järjestelmän jännitesymmetria. Suomessa sähköverkon nimellistaajuus on 50 Hz +- 1%, eli välillä 49,5 – 50,5 Hz 99,5% vuodesta ja +-4% välillä 47 – 52 Hz kokoajasta. (SFS-EN 50160 2010, 20.)

Jännitteen vaihteluvälit normaaleissa olosuhteissa eivät saisi ylittää +- 10 % nimellisjännitteestä, mikä on esimerkiksi Suomessa käytettävällä 230 V jännitteellä välillä 207 V – 253V. Haja-asutusalueilla vaihteluvälit ovat +10 - -15%. Mittaukset suoritetaan viikon mittaisena ajanjaksona, jolloin jakelussa ei esiinny katkoksia. (SFS-EN 50160 2010, 20.)

Sähkön erityispiirteenä on kuluttajan sähkölaitteistojen vaikutukset sähkönlaatuun enemmän kuin sähkön tuottajan tai toimittajan, sillä juuri kuluttajan valinnat koneiden ja laitteiden ominaisuuksien osalta vaikuttavat tuottajan ja toimittajan mahdollisuuksiin toimittaa standardien mukaista sähköä laitteistojen verkostovai-
kutuksien vuoksi (SFS-EN 50160 2010, 52).

2.2 Harmoniset- ja epäharmoniset yliaallot

Harmoniset yliaallot ovat sähköverkonperustaajuuden 50 Hz kerrannaisia (kerrottuna kokonaisluvulla, esimerkiksi 2. yliaalto = 100 Hz, 3. yliaalto = 150 Hz, jne.), jotka summautuvat verkon jännitteen ja virran päälle aiheuttaen ylimääräisiä häviöitä sähkölaitteissa. Harmonisia yliaaltoja syntyy epälineaarisissa sähkölaitteissa, joiden verkosta ottama virta on siniaallosta poikkeavaa. Yliaaltoja aiheutavissa laitteissa on käytetty tehoelektroniikkaa normaalin verkontaajuuden muuttamiseksi tai tasasähkön tuottamiseksi, kuten taajuusmuuttajat, tasasuuntaajat, teholahteet ja himmentimet. (Männistö, Hietalahti, Seesvuori, Seesvuori & Wilen 2006, 13.)

Valaistuksessa käytettävien eri tekniikoiden vaikutuksia yliaaltoihin on ollut jo pidemmän aikaa käytössä purkaus- ja loistelamppujen kuristimien sekä energiansäästölamppujen ja LED-liitäntälaitteiden ominaisuuksien vuoksi. Nykyiset LED-valaistukseen käytettävät tehoelektronikan komponentit ovat kasvava harmonisten yliaaltojen tuottajaryhmä lisääntyvän käytön myötä, koska LED-valaistuksella saadaan aikaan energian kulutuksen väheneminen niiden valotehokkuuden ansiosta. Epäharmoniset yliaallot sen sijaan eivät ole perustajuuden kerrannaisia ja niiden vaikutukset eivät aiheuta merkittäviä ongelmia sähköjakeluverkoissa.

2.3 Yliaaltojen terminologiaa

Tehokerroin PF (Power Factor) = P/S (pätöteho/näennäisteho), joka sinimuotoisilla signaaleilla määrittää virran ja jännitteen välisen vaihe-erokulman. THD (Total Harmonic Distortion) = kokonaisharmoninensärö, joka kuvaa virran ja jännitteen poikkeamaa sinimuotoisesta signaalista (Hietalahti 2013, 274.)

Yliaaltoja voidaan tarkastella myös matemaattisesti Fourier-analyysin avulla kaavalla 1.

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

missä

f on alkuperäinen signaali aikatasossa

ω on kulmataajuus

F on Fourier-muunnettu signaali taajuustasossa

(Alanen ja Hätönen 2006, 16)

2.4 Yliaaltojen komponentit

Yliaaltokomponenttien luokat ovat positiivinen, negatiivinen ja nolaluokka, joita käytetään esimerkiksi moottorilähtöjen magneettikenttien tutkimiseen (Taulukko 1). Positiivisen luokan yliaallon magneettikentän pyörimissuunta on sama kuin perusaallolla, joka aiheuttaa lämpenemistä moottorikäytössä. Negatiivisen luokan yliaallolla pyörimissuunta on vastakkainen, mikä jarruttaa moottorikäyttöä aiheuttaen lisähäviöitä. Nolaluokan yliaallolla (kolmella jaollinen) vaihejärjestys on sama ja ne pysyvät perusaallon taajuuden mukana summautuen nolajohtimeen kuormittaen sitä vaihejohtinta suuremmalla virralla (Männistö ym. 2006, 35.)

Taulukko 1. Yliaaltojen komponentit (Männistö ym. 2006, 35.)

Yliaallon nimi:	(Perustaajuus)	toinen	kolmas	neljäs	viides	kuudes	...	yhdeksäs	n:nnes
Yliaallon järjestysluku:	1	2	3	4	5	6	...	9	n
Yliaallon taajuus:	50 Hz	100 Hz	150 Hz	200 Hz	250 Hz	300 Hz	...	450 Hz	n · 50 Hz
Komponenttijako:	+	-	0	+	-	0	...	0	...

2.5 Standardit yliaalloille

Standardi SFS-EN 50160 määrittelee myös harmonisille yliaalloille raja-arvon, joka on $THD \leq 8\%$, missä on mukana kaikki yliaallot 40. yliaaltoon asti (Taulukko 2). (SFS-EN 50160 2010, 22).

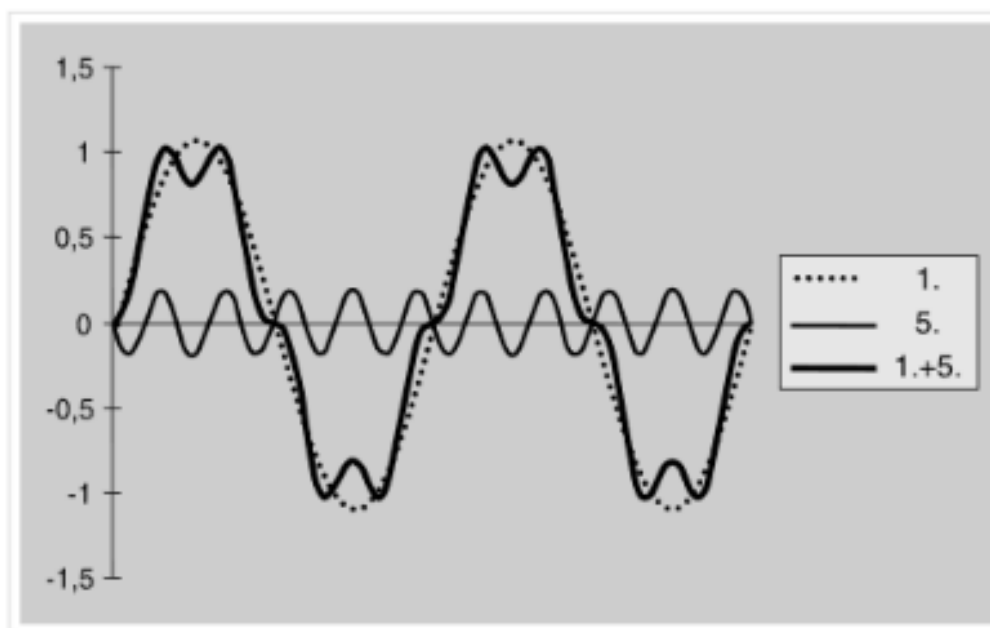
Taulukko 2. Harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot järjestyslukuun 25 asti prosentteina perustaajuisesta jännitteestä (SFS-EN 50160 2010, 22.)

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.

Harmonisten yliaaltovirtojen sallitut raja-arvot annetaan standardissa kuluttajalle referenssivirta-arvosta, joka on liittäjän pääsulakkeen koko. Pienjänniteverkkoliittymän, jossa sulakekoko on alle 25 A, saa käyttää laitestandardin mukaisia laitteita. Sulakekokojen 25 A – 200 A virran harmoninen kokonaissärö saa olla enintään 10 % referenssivirrasta. Yli 200 A:n liittäjillä kokonaissärö saa olla korkeintaan 8 %, kuitenkin vähintään 20 A on sallittu. (Männistö ym. 2006, 44.)

Kuviossa 1 on esitetty perustaajuinen siniaallon muotoinen virta ja viidennen yliaallon virta sekä niiden summavirta (ABB-Tekninen opas nro 6.)



Kuvio 1. Kokonaisvirta perustaajuudenvirran ja 5. yliaallon summana

IEC standardi 61000-3-2: 2018 RLV (Red Line Version) käsittelee yleiseen siirtoverkkoon aiheutettujen harmonisten virtojen rajoittamista. Standardi määrittää harmonisten raja-arvot tietyissä olosuhteissa testatuissa laitteissa ja sitä voidaan soveltaa sähkö- ja elektroniikkalaitteisiin, joiden nimellisvirta on enintään 16 A sekä tarkoitettu yleiseen käyttöön (IEC 61000-3-2 2018).

Standardi sisältää raja-arvot valaistuslaitteille, joiden teho on enintään 25 W jättäen kuitenkin huomioimatta alle 5 W tehoiset valaisimet ja himmentimiin sovellettavia vaatimuksia hehkulamppuja käytettäessä sekä yksittäisen alle 2 W valaisimen ohjausmoduulin (IEC 61000-3-2 2018).

2.6 Vaikutukset

Harmonisia yliaaltoja tuottavilla, kuten yksinkertaisella kokoaaltotasasuuntaajalla ilman tehokertoimen korjausta toteutettujen LED-valaisinten liitäntälaitteilla, on merkittävä osuus harmonisten yliaaltojen tuottamisessa. Uudemmissa kehittyneemmissä ja hinnaltaan arvokkaammissa toteutuksissa on käytetty DC/DC muunninta, jolla jännite saadaan sopivaksi ja toteutetaan aktiivinen virranrajoitus. Kuviossa 2 on esitetty kahden erityyppisen liitäntälaitteen kytkentäkaaviot. (Pakonen, Pikkarainen, Siddiqui & Verho. 2013, 13.)

Yliaaltovirrat aiheuttavat kolmivaihejärjestelmissä kolmella jaollisia parittomia yliaaltoja, jotka summautuvat nollajohtimeen saman vaiheisina aiheuttaen nollajohtimen ylikuormittumista. Nollajohtimen ylikuormitus on haitallinen etenkin kiinteistöjen syöttöjohtimissa, missä yhdistetty PE ja nollajohdin (PEN) ovat poikkipinnoilta pienempiä kuin vaihejohtimet. (Pakonen ym. 2013, 14.)

Yliaaltojen haittavaikutuksina ovat häviöiden kasvu sähkönsiirrossa ja käyttäjien laitteissa sekä sen myötä kuormitettavuuden alentuminen. Yliaallot vaikuttavat myös mittalaitteiden tarkkuuteen ja aiheuttavat virhetoimintoja automaatio- ja suojalaitteille. Yliaalloista haitallisimpia ovat pienitaajuiset yliaallot, jotka aiheuttavat sähkölaitteille lämpenemistä. Suuret yliaaltotaajuudet sen sijaan aiheuttavat häiriöitä ääni- ja radiotaajuuksille. (Männistö ym. 2006, 30-31.)

Pienjänniteverkossa nollajohtimen kuormitus perustaajuisella symmetrisellä kolmivaihekuormalla on lähes nolla, koska vaihevirratt kumoavat toisensa. Epäsymmetrinen kuormitus aiheuttaa nollajohtimeen korkeintaan vaihevirran suuruisen kuorman. Perusaallon monikerrat, jotka ovat kolmella jaollisia, voivat saada aikaan nollajohtimeen tehollisarvoltaan vaihejohtinta suuremman virran summautuuksaan nollajohtimeen. (Männistö ym. 2006, 32.)

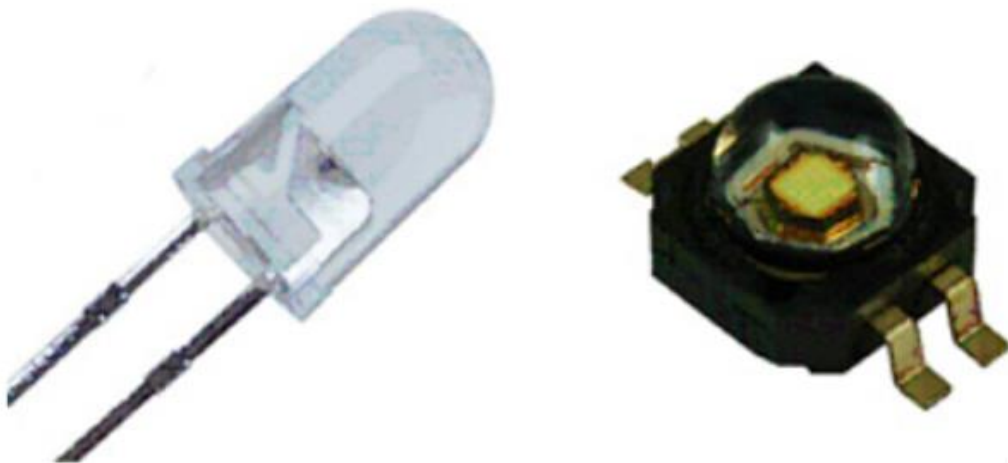
Harmonisten yliaaltojen vaikutuksia jakokeskusten liitoksiin on tutkittu. Tutkimuksissa on todettu, että ne saavat komponentit resonoimaan ja näin itsestään löysäämään liitoksia. Löystyneet liitokset ovat paloturvallisuusriski, kuten johtimien ylikuormituskin ja näiden molempien yhteisvaikutus tulisi huomioida tarkemmin suunnittelussa ja asennuksissa. (Alhainen 2015.)

Yliaaltojen vaikutukset itse valaistukseen ilmenevät ainoastaan välkyntänä, joiden häiritsevyys riippuu esiintymistiheydestä ja kestosta. Led-valaisimiin niillä ei oleteta olevan juurikaan merkitystä valaisimissa olevan hakkuriteholähteen ominaisuuksien ansiosta, koska hakkurin käyttöjännitealue on hyvin laaja, noin 110-260 V. (Ylimannila 2011.)

3 VALAISINTEKNIikka

3.1 LED

Led (Light Emitting Diode) on valoa lähettävä puolijohdekomponentti, jonka toiminta perustuu elektroluminenssiin, missä kiinteään aineeseen johdettu sähkövirta saa aineen emittoimaan valoa. Ledien valmistusmateriaali määrittää sen lähettämän valon aallonpituuden, mistä johtuen sen spektri on hyvin kapea. Ledin emittoimaa valonväriä voidaan muuttaa käsittelemällä Ledin pintaa erilaisilla pinnoitteilla ja loisteaineilla, tai lisäämällä Lediyksikköön useamman värin tuottavia Ledejä. Kuvassa 1 nähdään Ledien mallit, perinteinen pienehkö lampun näköinen led ja pintaliitosled (Ensto valaistus, lamput ja valaisimet, led. 2009.)



Kuva 1. Led-tyypit. (Ensto valaistus, lamput ja valaisimet, led. 2009).

3.2 Led-valaisin

Ledivalaisimille on annettu suositeltavat vertailuparametrit, jotka tulee olla valaisimessa nähtävillä. Parametrit ovat, valaisimen teho (W), valovirta (lm), valotehokkuus (lm/W), värielämpötila (K), värintoistoindeksi (Ra), valaisimen ympäristön lämpötila (min ja max) sekä valonjakotiedosto (Näin vertaillet ledivalaisimia 2.0, 2016, Liite 3).

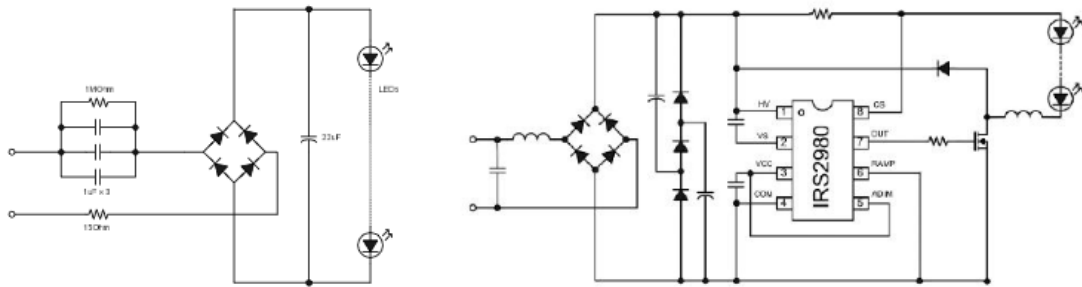
Edellä esitetyistä parametreista värintoistoindeksi ei kuvaa ledivalaisimen värintoistokykyä oikein ledien kapean spektrin johdosta, jonka vuoksi ollaan kehittämässä uusia mittaussuomenetelmiä ja määritelmiä. Alustavat Ra-arvot fotometristä koodia varten ovat taulukon 3 mukaiset (Näin vertaillet ledivalaisimia 2.0, 2016, 13).

Taulukko 3. Värintoiston arvoasteikko (Näin vertaillet ledivalaisimia 2.0, 2016 , 13).

Koodi	R _a -vaihteluväli	Värintoisto-ominaisuudet
6	57 – 66	huono
7	67 – 76	kohtalainen
8	77 – 86	hyvä
9	87 – 100	erinomainen

3.3 Liitântälaitteet

Liitântälaitteiden ominaisuuksia saadaan parannettua käyttämällä kehittyneempiä ja pidemmälle suunniteltuja tasasuuntaustekniikoita. Kuviossa 2 vasemmalla perusliitântälaitteen kytkentäkaavio, oikealla kehittyneempi tehokertoimen korjauksella toteutettu kytkentäkaavio (Pakonen, Pikkarainen, Siddiqui & Verho. 2013. 14).



Kuvio 2. Kytkentäkaavio

Kuviossa 2 olevassa kytkentäkaaviossa piirin IRS2980:n ominaisarvot ovat seuraavat, sisääntulo jännite 70-240 VAC, ulostulo jännite 0-50 VDC, ulostulovirta 350 mA, tehokerroin ~0,9, himmennys 0-100 % (Green P, 2011).

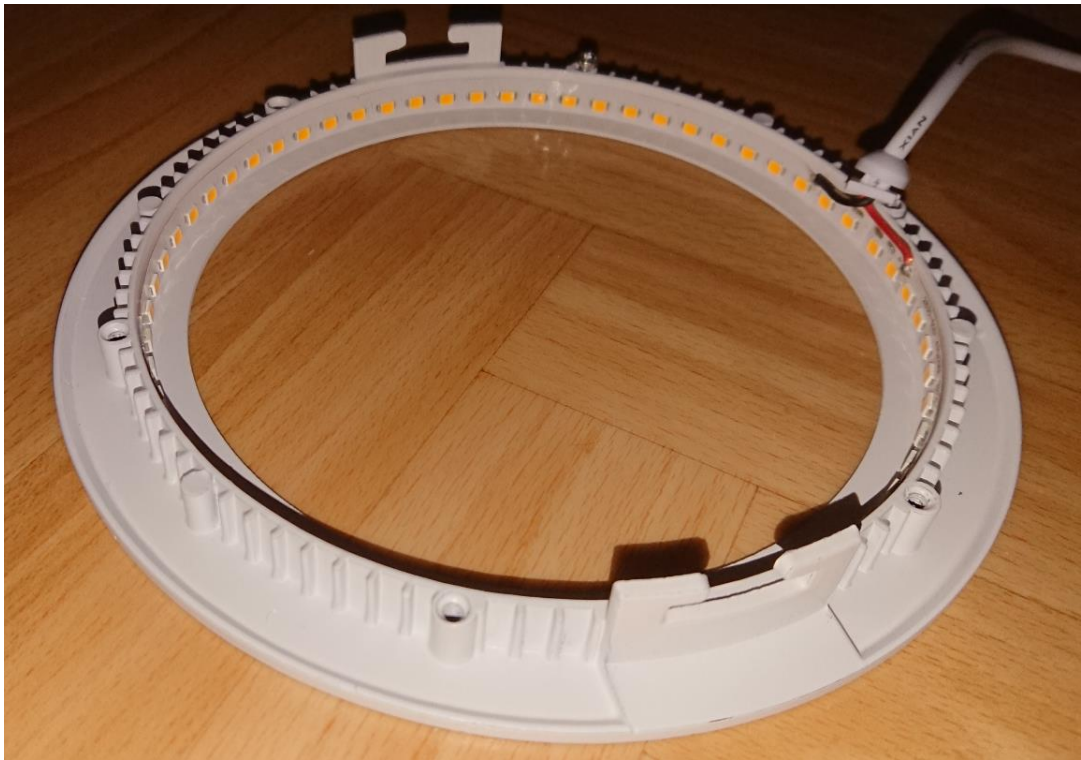
3.4 Säätimet

Triac- himmennyksellä tarkoitetaan tässä transistori-, tyristori- ja triac- himmentimillä tehtävää himmennystä. Käytetyt valaisimet ovat niin sanottuja vakiovirtavalaisimia, joiden kirkkautta säädetään muuttamalla jännitettä välillä 21 – 40 V. Vakiojännitteellä käytettävissä valaisimissa sen sijaan muutetaan teholähteestä tulevaa virtaa (Laine 2018).

4 TUTKITTAVAT VALAISIMET

4.1 Valaisin

Kuvassa 2 nähdään eräs alasvalo purettuna, jossa näkyy rakenne yksinkertaisuudessaan. Valaisimen runkoon on liimattu sisäpuolelle LED-nauha, jonka teho on 12 W / 4000K, valonmäärä 849 lm ja värinöistoindeksi 80. Valaisimessa on lisäksi erilaisia kalvoja valonjaon tasaamiseksi. Valaisimen vaatiman virtalähteen arvot ovat DC 300 mA, 21 – 40 V, joten kyseessä on vakiovirtalähteellä toimiva valaisin.



Kuva 2. Alasvalo purettuna.

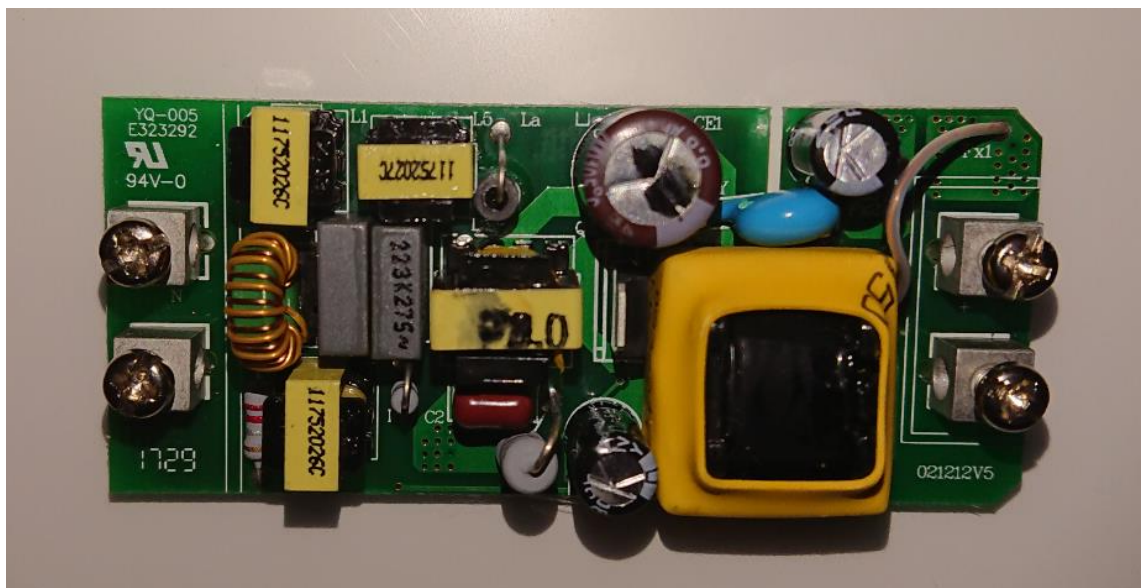
4.2 Liitäntälaite

Tutkimuksen kohteena olevissa valaisimissa käytetyn vakiovirtalähteen (Kuvat 3, 4 ja 5), joka on himmennettävissä transistori-, tyristori- ja triac-säätimillä, tekniset arvot ovat seuraavat:

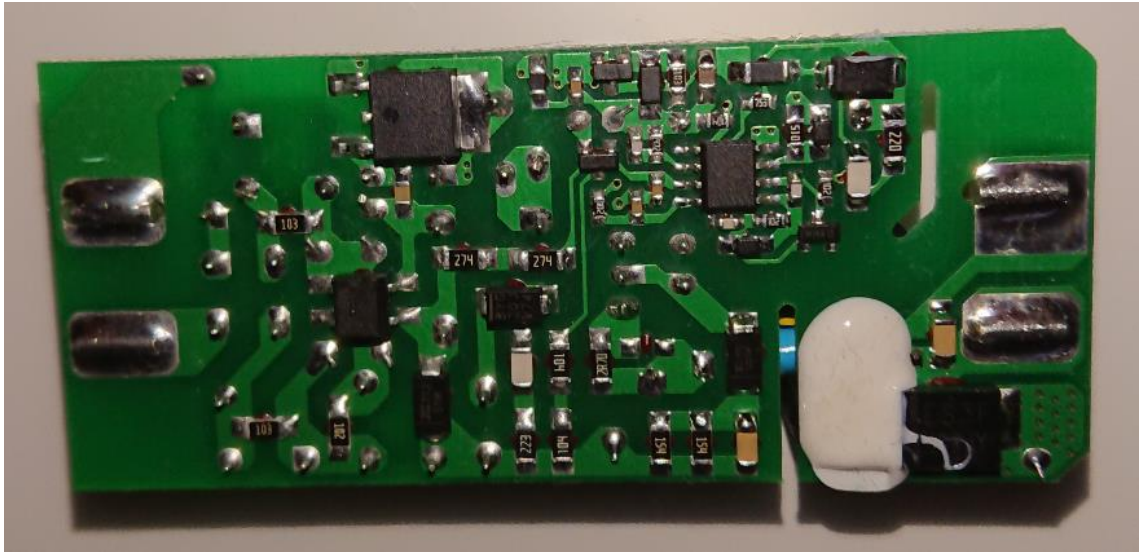
- PRI 220 – 240 Vac, 50/60 Hz, 0,1A
- SEC 300mA, 21- 40Vdc, 12 W.



Kuva 3. Liitäntälaite



Kuva 4. Liitäntälaite (TOP) komponenttipuolelta



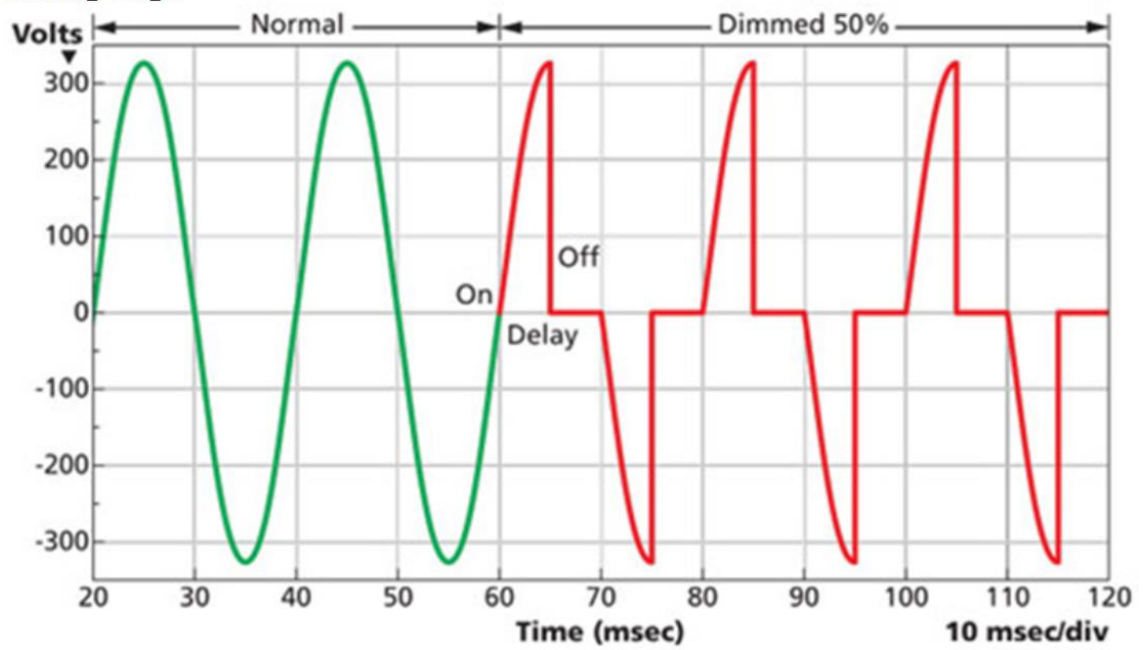
Kuva 5. Liitäntälaite (BOTTOM) juotospuolelta

4.3 Säädin

Tutkittavien valaisinten himmennys toteutetaan Din-kiskoon asennettavalla 0 – 10 V Push Dim-ohjauksella (Kuva 6), missä valaistusta voidaan ohjata painonapilla siten, että lyhyillä painalluksilla ohjataan päälle – pois -kytkentä ja pitkään painamalla saadaan valaistuksen kirkkautta säädettyä halutulle tasolle. Himmennin muistaa edellisen säätötason uudelleen kytkettäessä (Laine 2018).

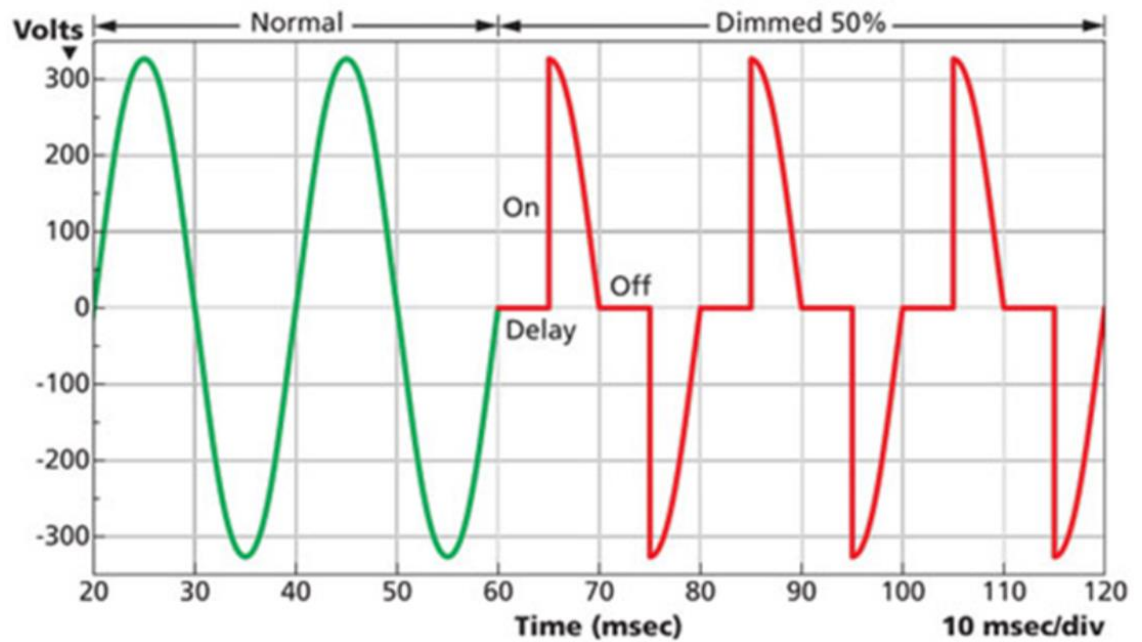
Kuviossa 3 on esitetty LED-valaistukseen soveltuva Trailing Edge-himmennystekniikka, jossa sinimuotoinen signaali leikataan aallon loppuosasta. Tekniikan vaikutukset sähköverkkoon ovat vähäisemmät kuin Leading Edgellä kuviossa 4, missä leikkaus tapahtuu signaalin jakson alkuosassa virrannousnopeuden ollessa suurimmillaan.

Trailing Edge



Kuvio 3. Trailing Edge himmennys (Laine 2018)

Leading Edge



Kuvio 4. Leading Edge himmennys (Laine 2018)



Ohjausjännite 1 (V):	12 – 30
Ohjausjännite 1:n tyyppi:	AC/DC
Himmennysteho per kanava (W):	400
Mitoitusjännite (V):	230
Nimellistaajuus (Hz):	50 – 60
Kotelointiluokka (IP):	IP20

Kuva 6. Unisäädin ja teknisiä tietoja (Elektroniikkatuotteet tuoteluettelo 2015, 54)

5 MITTAUKSET LABORATORIOSSA

5.1 Käytetyt mittalaitteet

Mittauksien suorittamisessa käytettiin laboratoriossa ja kiinteistössä Fluke 43B sähkölaatuanalysointilaitetta (Kuva 7), jolla voidaan suorittaa mittauksia yksivaiheisiin järjestelmiin sekä symmetrisiin kolmivaihejärjestelmiin.

Analysaattorilla voidaan mitata sähkön perussuureet, voltit (V), ampeerit (A) ja hertsit (Hz), tehomittauksissa pätöteho (W), näennäisteho (VA), loisteho (VAR), tehokertoimet (PF) ja $(\cos \varphi)$. Analysaattori näyttää perussuureista virran ja jännitteen aaltomuodot. Harmonisista yliaalloista analysaattori näyttää yliaallon spektrin pylväsdiagrammina ja lisäksi kokonaisharmonisensärön (THD%), virran ja K-arvon numeroina. Yli- ja alijännitteistä analysaattori tulostaa näytölle käyrän, jossa näkyy aallon korkein ja matalin kohta. Transienttien eli lyhytaikaisten huippujen esiintymisen perusaallon verhoikäyrän ulkopuolelta laite tallentaa myös muistiin, analysaattorilla voidaan tutkia sähkölaitteiden käynnistysvirtoja. Edellä mainittuja tietoja voidaan tarkastella tietokoneen näytöltä Fluke View-ohjelmalla (Fluke Sovellusopas 2005.)



Kuva 7. Fluke 43B analysaattori

Mittauksia varten valmistettiin kuvissa 8 ja 9 oleva valopaalu, jossa on kolmea eri tyyppistä valaisinta. Valaisimet ovat Led-alasvaloja, joista kahdessa tyyppissä on erillinen liitäntälaitte ja yhdessä GU 10 kantainen spot-hehku, joka sisältää vaadittavan elektroniikan.

Valaisimien mallit olivat 1 Airam Slim II 8 W, 550lm, 2 Nordtronic 6 W, 494 lm, ja 3 Osram Parathom PAR16 50 36 4,3 W GU 10 350lm. Valaisinten valonjakokäyrät nähdään liitteessä 3.

Valaisimia voidaan ohjata himmentimen kautta tai suoraan kytkimillä, joista kuvassa alimmainen on 1/6 vaihtokytkin, jolla ohjataan jännite joko säätimelle tai kolmivipuiselle (1+1+1) kytkimelle. Kolmivipuisella kytkimellä voidaan ohjata eri valaisimet päälle alimman kytkimen mukaan, joko säädettynä tai palamaan täydellä teholla säädin ohitettuna.



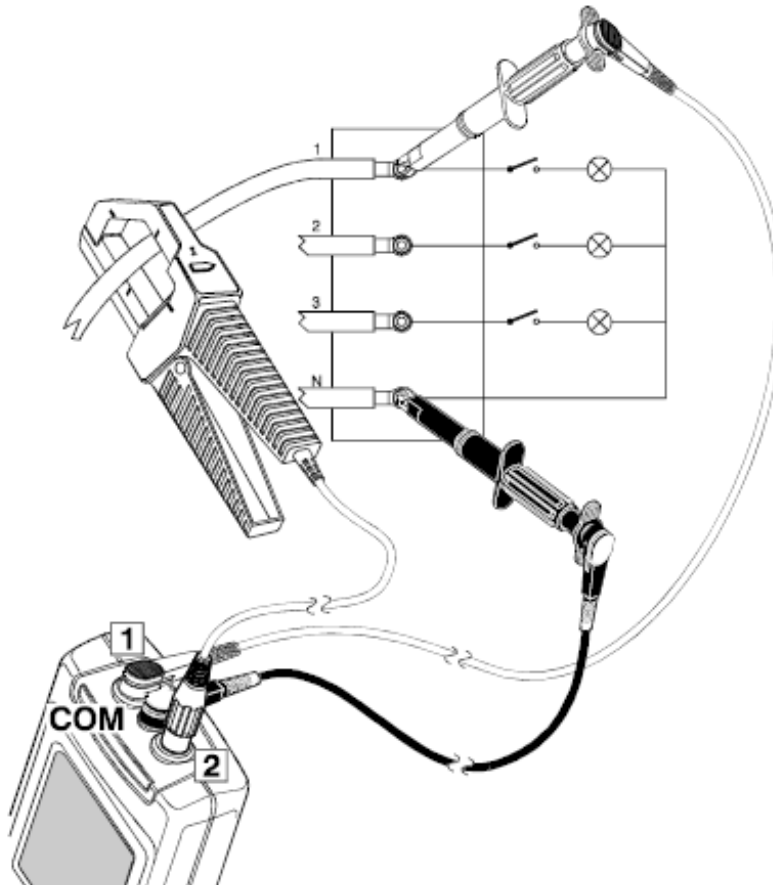
Kuva 8. Valopaalu ja kytkimet



Kuva 9. Valopaalu

5.2 Virtamittaukset

Virta- ja jännitemittaukset valaisimilta tehtiin alla olevan kuvion mukaisella mittauskytkennällä (kuvio 5), jossa mitataan valaisimiin vaikuttava jännite ja kuorman ottama virta. Jännite mitattiin nollan ja vaiheen väliltä kytkentäpisteestä hau-enleuoilla ja kuorman virta virtapihdillä.



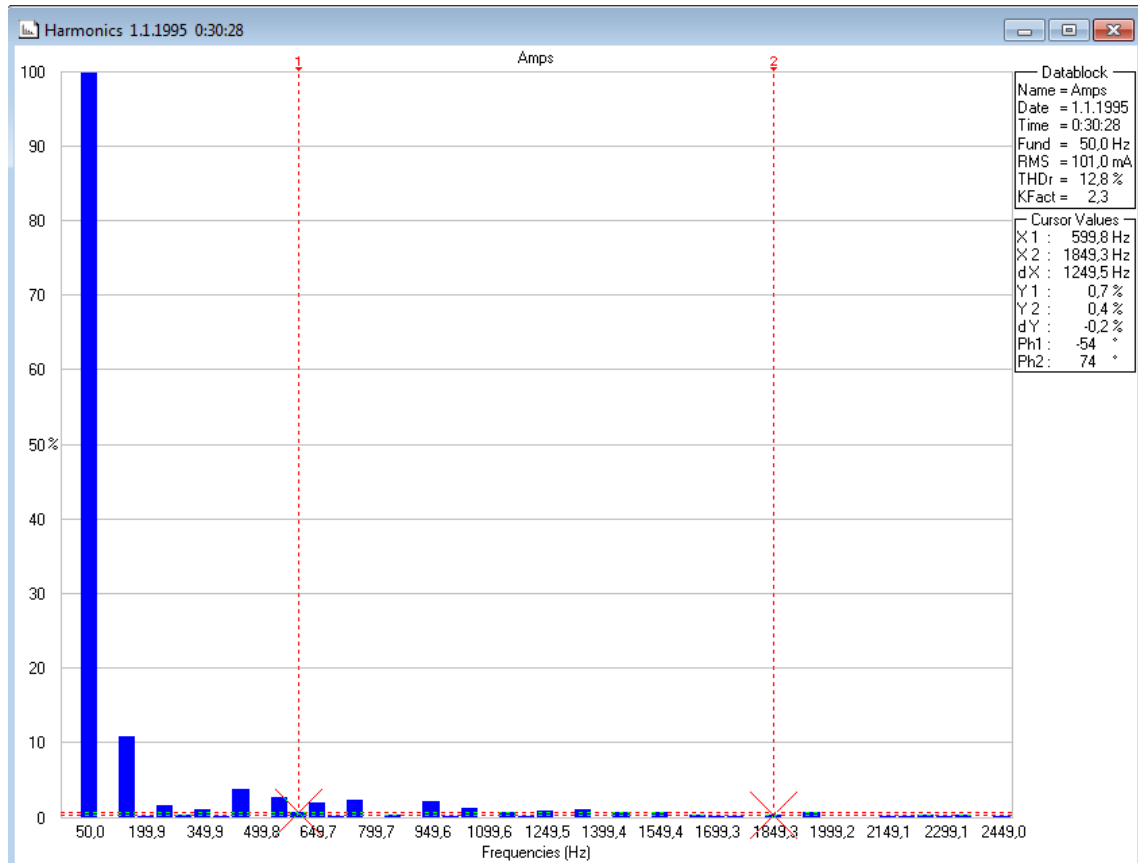
Kuvio 5. Mittauskytkentä (Fluke Sovellusopas, 2005)

5.3 Ääri- ja nollajohtimenvirta ja yliaallot

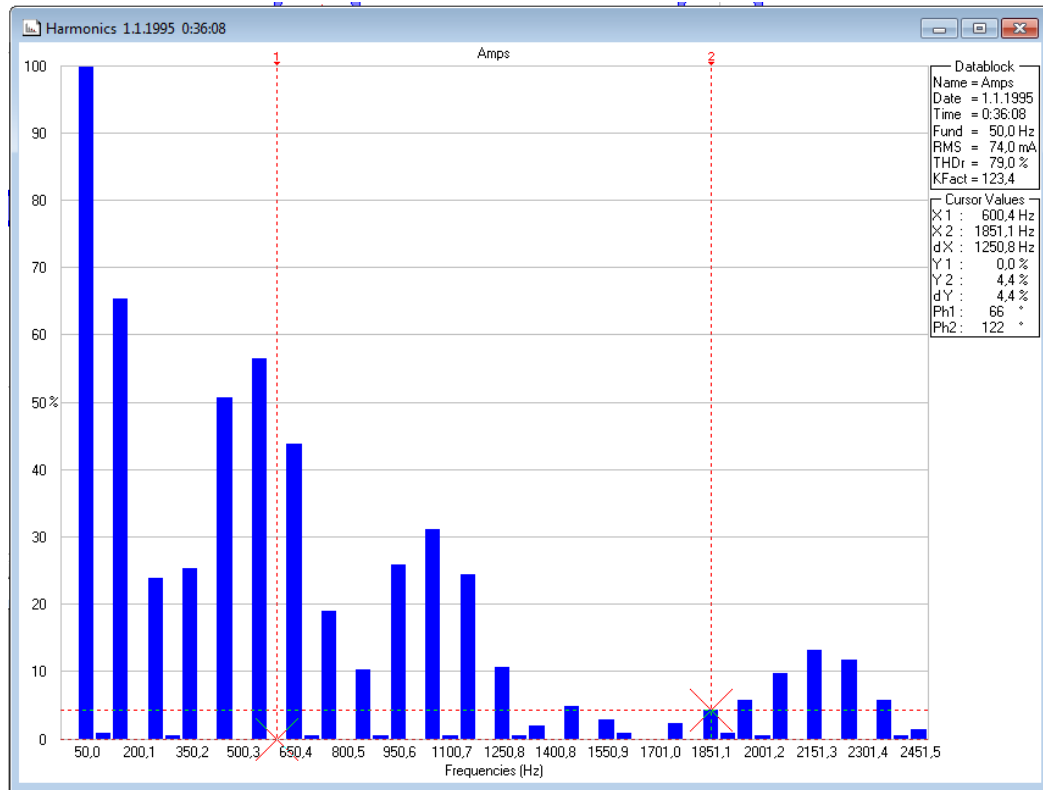
Yksivaiheisessa järjestelmässä vaihe- ja paluujohdinten virta ovat samansuuruiset. Kiinnostuksen kohteena olivat harmoniset yliaallot ja niiden suuruus sekä eri tyyppisten valaisimien vaikutus yliaallojen määrään ja suuruuteen.

5.4 Mittaustulokset

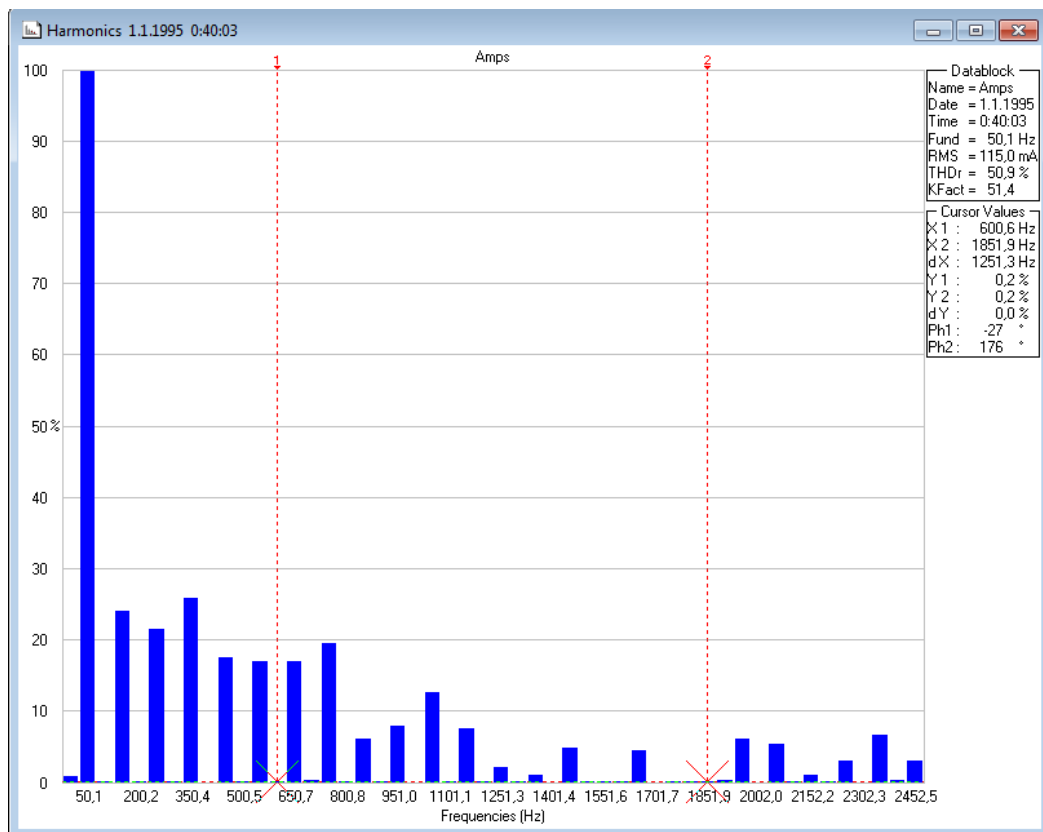
Valaisimen 1 virran yliaaltospektrit suoralla ohjauksella näkyvät kuvassa 10, josta nähdään THD:n olevan 12,8%, kuvassa 11 spektrit himmennetyksen ollessa suurimmillaan THD 79%, kuvassa 12 spektrit himmennys pienimmillään THD 50,9%.



Kuva 10. Valaisimen 1 virran yliaallot suoralla ohjauksella

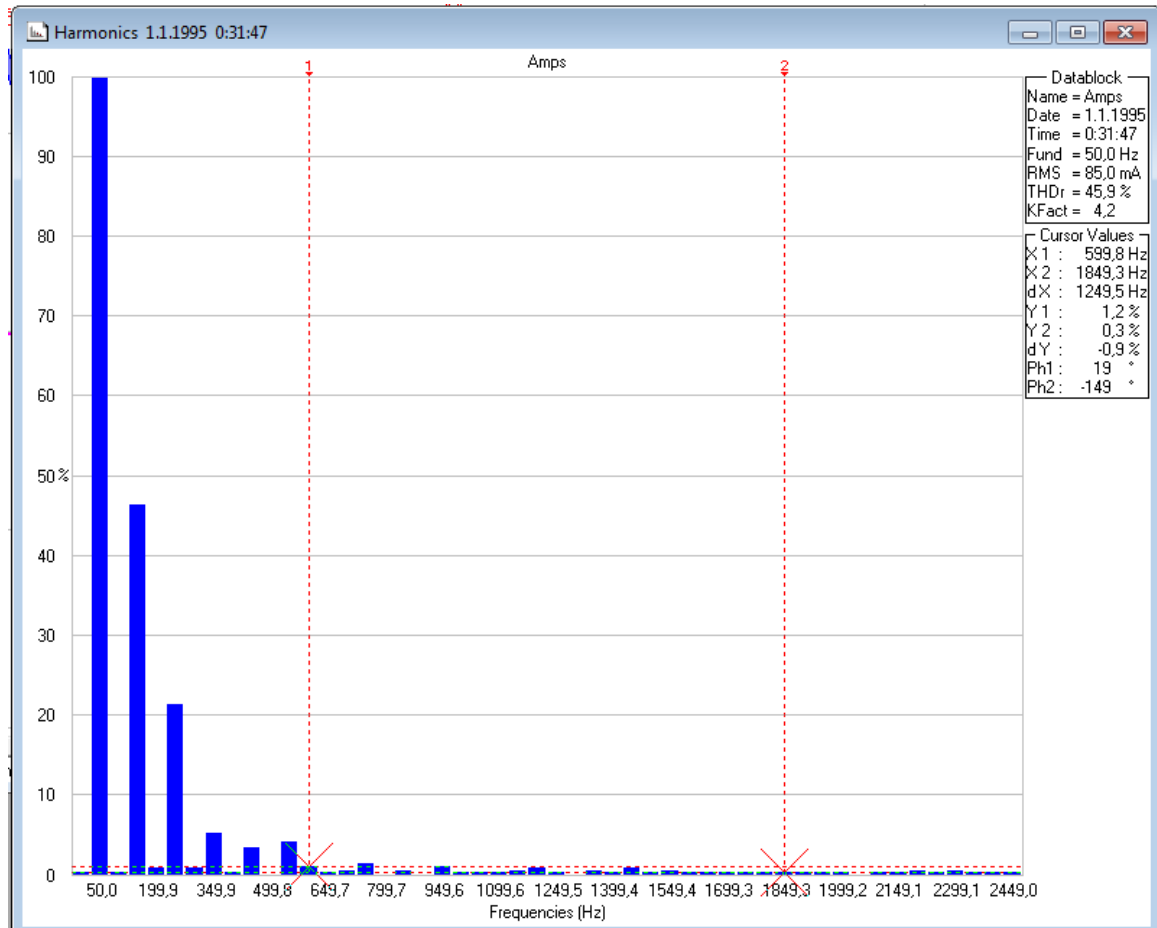


Kuva 11. Valaisimen 1 virran yliaallot himmennys suurimmillaan

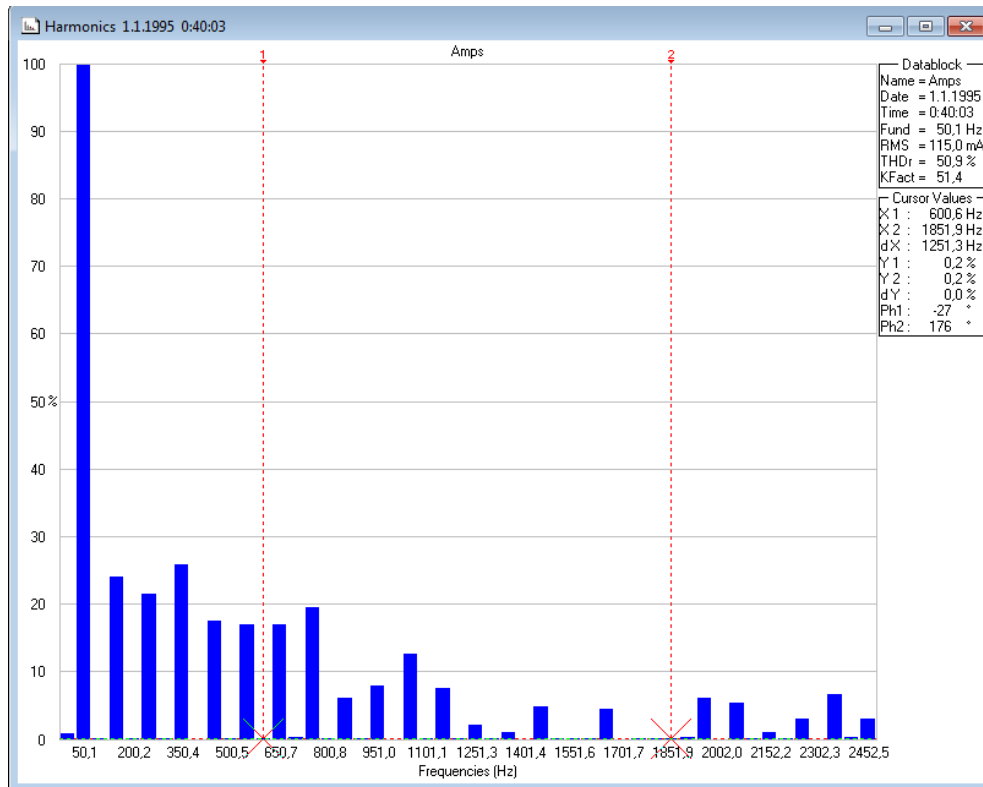


Kuva 12. Valaisimen 1 virran yliaallot himmennys pienimmillään

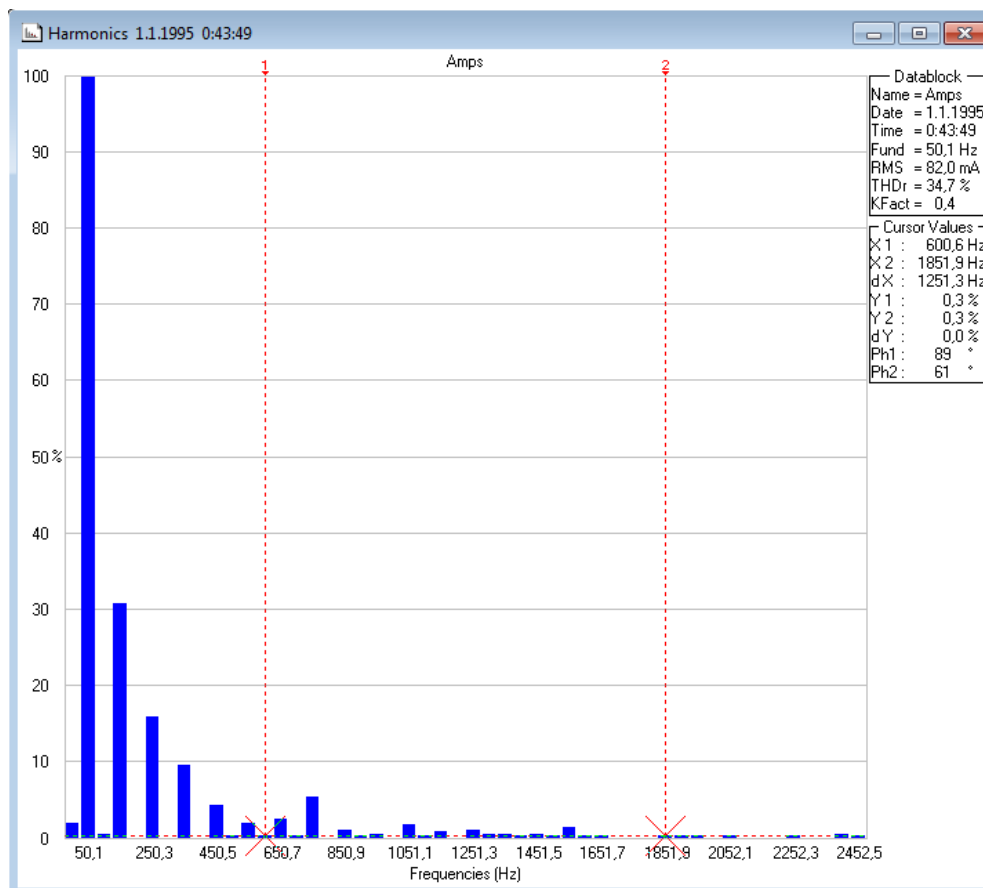
Valaisimen 2 virran yliaaltospektrit suoralla ohjauksella näkyvät kuvassa 13, jossa THD on 45,9%, kuvassa 14 spektrit himmennyksen ollessa suurimmillaan, THD 50,9%, kuvassa 15 näkyvät spektrit himmennyksen ollessa pienimmillään THD 34,7%.



Kuva 13. Valaisimen 2 virran yliaallot suoralla ohjauksella

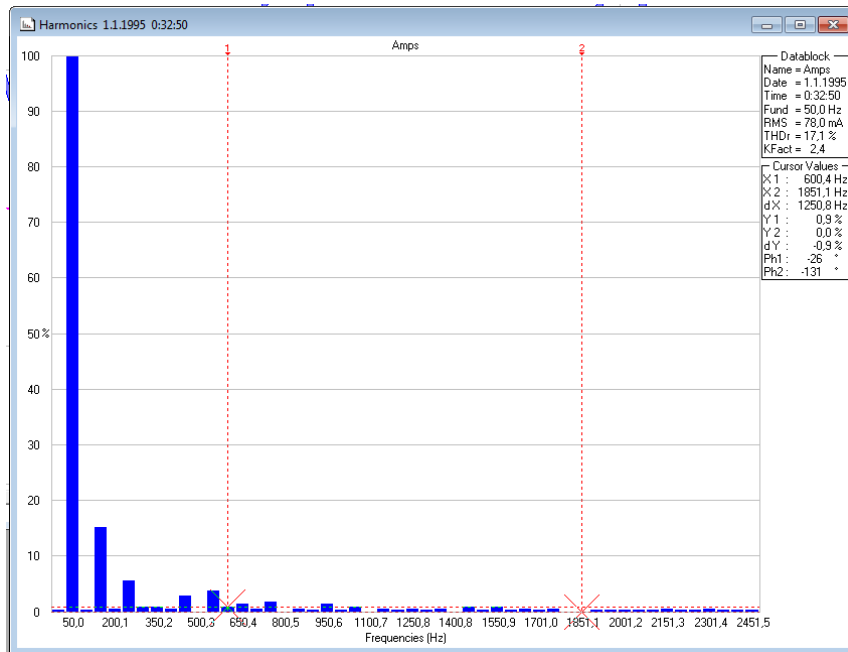


Kuva 14. Valaisimen 2 virran yliaallot himmennys suurimmillaan

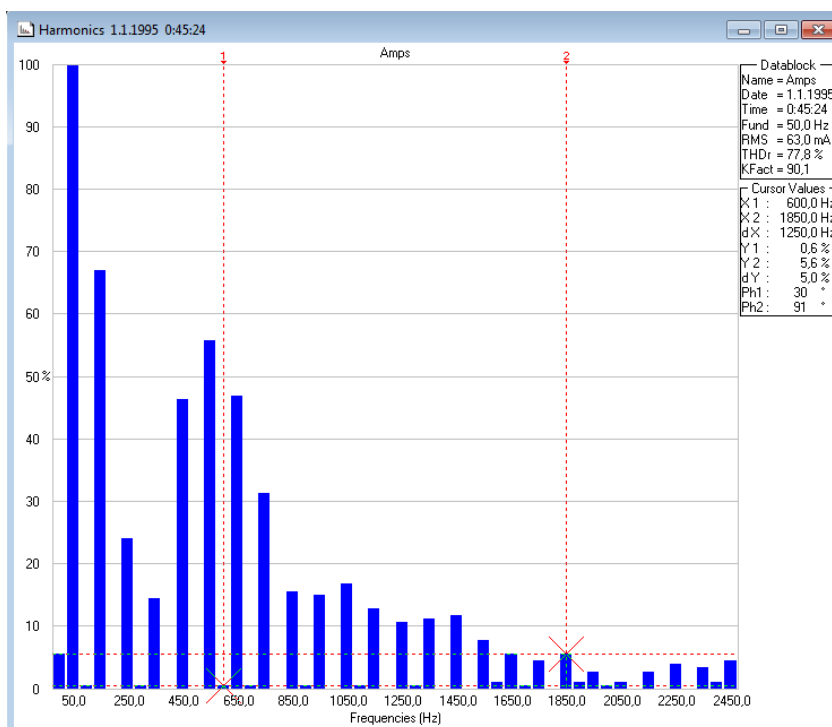


Kuva 15. Valaisimen 2 virran yliaallot himmennys pienimmillään

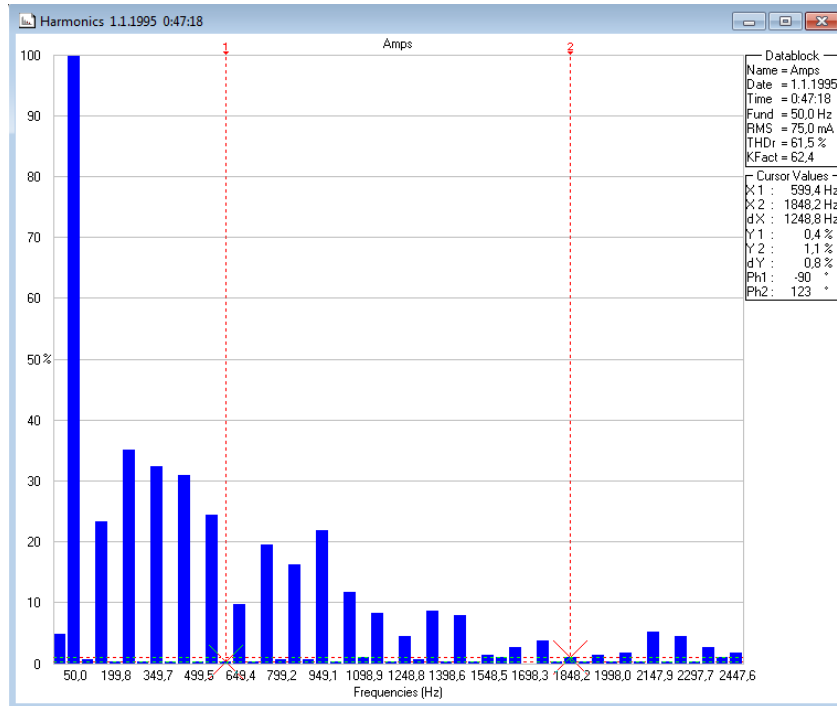
Valaisimen 3 virran yliaaltospektrit suoralla ohjauksella näkyvät kuvassa 16, jossa THD on 17,1%, kuvassa 17 spektrit himmennetyksen ollessa suurimmillaan, THD 77,8%, kuvassa 18 näkyvät spektrit himmennetyksen ollessa pienimmillään THD 61,5%.



Kuva 16. Valaisimen 3 virran yliaallot suoralla ohjauksella

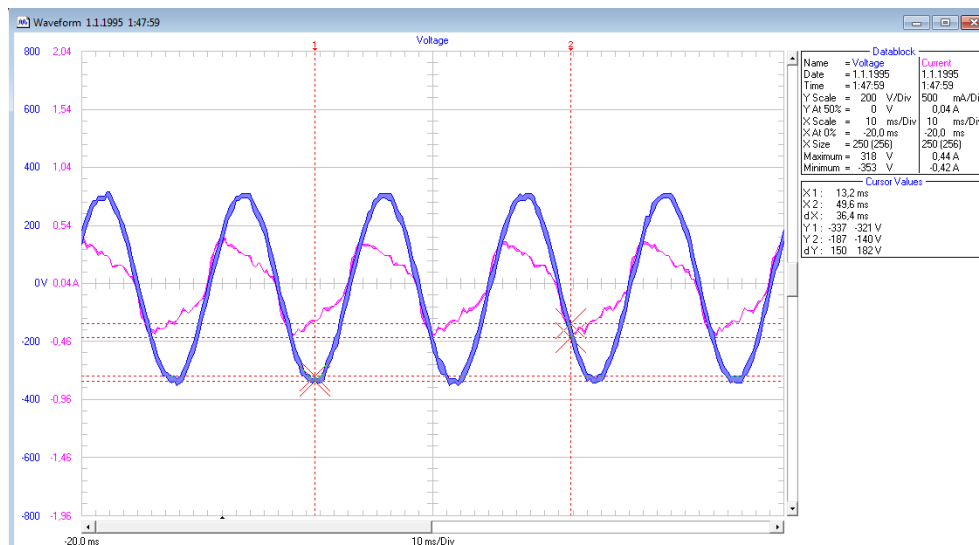


Kuva 17. Valaisimen 3 virran yliaallot himmennys suurimmillaan

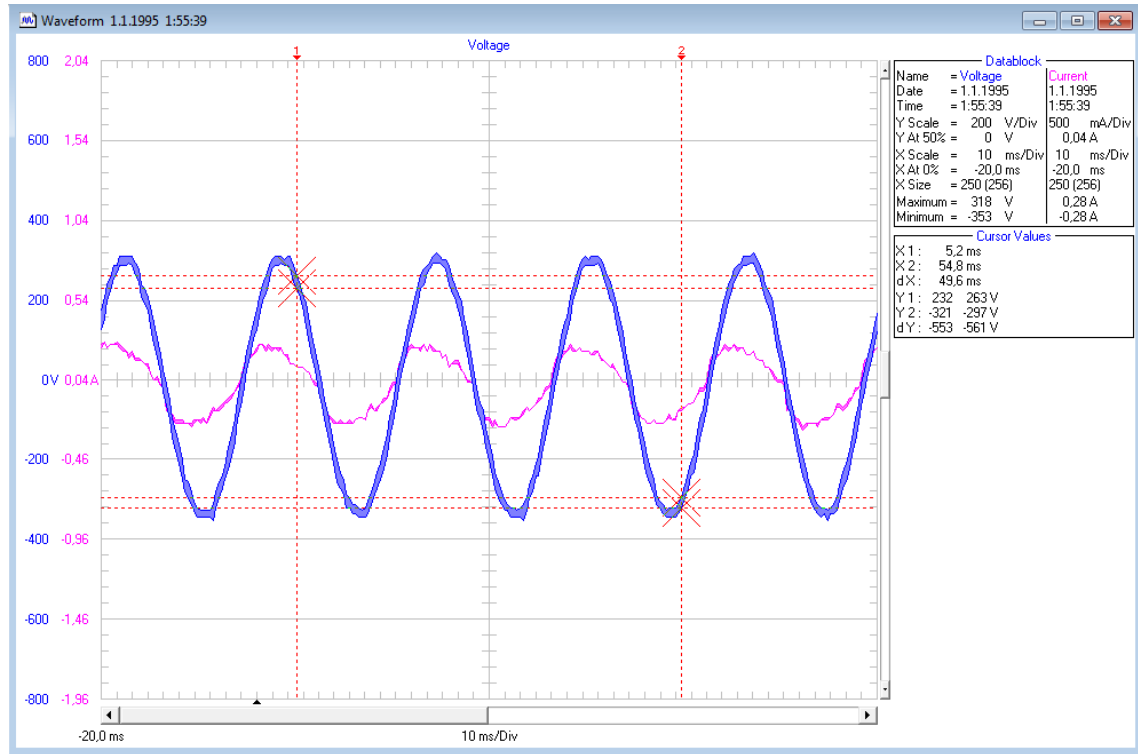


Kuva 18. Valaisimen 3 virran yliaallot himmennys pienimmillään

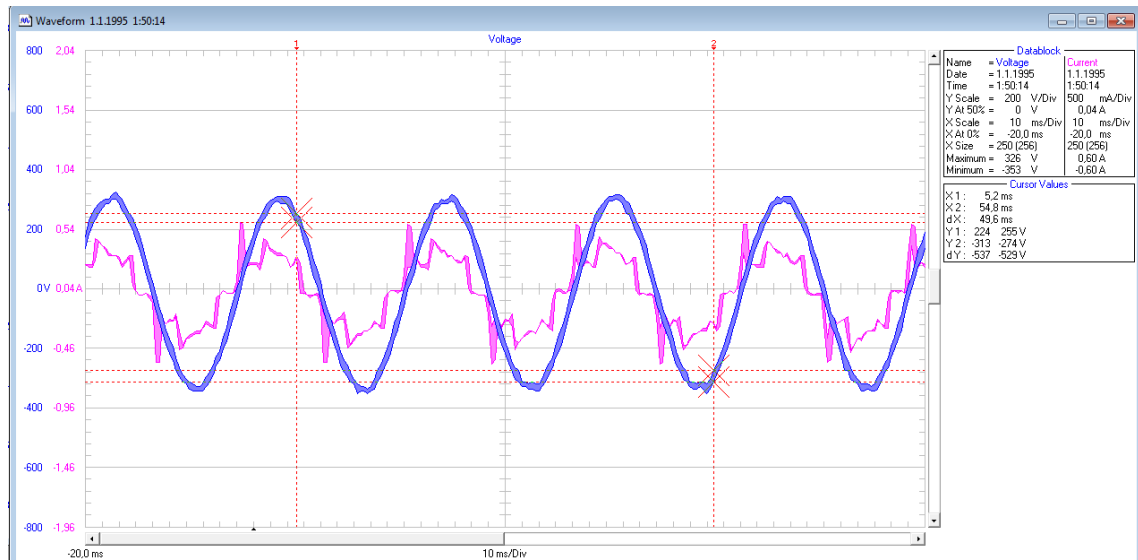
Virran ja jännitteen aaltomuotojen kuvista nähdään valaisimen 2 aiheuttavan virtasäröä (Kuva 19), sillä valaisimilta 1 ja 3 otetussa kuvassa 20 virran aaltomuoto on puhtaampaa. Himmentimen lisääminen tarkasteluun (Kuva 21) muuttaa virran aaltomuodon erittäin säröiseksi. Kuvasta voidaan todeta himmentimen olevan Leading Edge-tyyppinen leikaten signaalin sinikäyrän nousevalla osalla.



Kuva 19. Virran ja jännitteen aaltomuodot suoralla ohjauksella kaikki valaisimet



Kuva 20. Virran ja jännitteen aaltomuodot valaisimet 1 ja 3 suoralla ohjauksella



Kuva 21. Virran ja jännitteen aaltomuodot pienimmällä himmennyksellä kaikki valaisimet

5.5 Laboratoriomittauksien tulkintaa

Mittaustuloksista voidaan havaita valaisimien eroavuuksia yliaaltojen tuottamisessa. Vertailtavista valaisimista pienimmän yliaaltojen tuoton omaava on Airam Slim ja hieman suuremmalla tuotolla GU 10 Osram sekä suurin tuottaja Nordtronic. Tuloksista voidaan havaita himmentimen tuottavan suuren määrän yliaaltoja ollessaan kytkettynä verkkoon, vaikka se olisi säädettyä pienimmälle himmennykselle. Suurimman yliaaltojen tuoton säädin saa aikaan täydellä himmennyksellä. Pienellä himmennyksellä tarkoitetaan suurinta valaistustehoa.

Mielenkiintoinen huomio Nordtronic valaisimen osalta on nähtävissä liitteessä 1, kun sen valotehoa aletaan pienentämään, niin sen tuottamat harmoniset yliaallot ovat suhteessa pienempiä kuin kahdella vertailtavalla valaisimella, jotka toimivat puhtaammin suoralla ohjauksella. Tällä valaisimella yliaallot kompensoituvat himmentimen ja liitäntälaitteen ominaisuuksien ansiosta.

Pylväsdiagrammeista liitteessä 1 nähdään, miten säätimen lisääminen ja valaisimen himmentäminen lisäävät lois- ja näennäistehonmäärää. Niiden osuus nousee jopa viisinkertaiseksi suhteessa pätötehoon.

6 MITTAUKSET KIIINTEISTÖSSÄ

6.1 Mittauksien suoritus

Mittaukset suoritettiin normaalina sunnuntaipäivänä, jolloin kiinteistössä asukkaat olivat kotona ja toimivat normaalin tapansa mukaisesti kuitenkin jättäen mittauksissa olevat valaistusryhmät mittauskäyttöön.

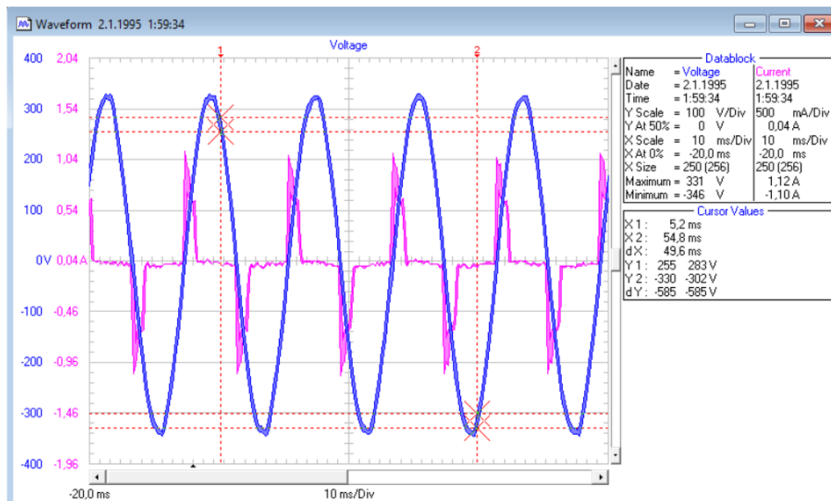
Mittausten suoritus aloitettiin säätämällä valaistustehokkuus kaikilta valaistusryhmiltä minimiin, ja mitattiin johdonsuojalta lähtevä kokonaisvirta kaikkien valaisinten ollessa päällä. Seuraavaksi mitattiin jokainen ryhmä erikseen täydellä himmennyksellä jatkaen mittaussarjaa säätäen himmennys pienimmilleen (suuri valoteho) ja lopuksi kaikkien valaisinten ollessa täydessä valaistusvoimakkuudessaan. Kaikista mittausvaiheista tulostettiin harmonisten spektrit sekä jännite- ja virtakuvaajat kaikkien valaisinten osalta pienimmällä ja suurimmalla himmennyksellä.

Valaisimia oli ryhmissä seuraavasti, Uni1:ssä 6 kpl Winled Spektri 8 W- , Uni 2:ssa 10 kpl Kanna 18 W- ja Uni 3:ssa 8 kpl Kanna 18 W -valaisinta.

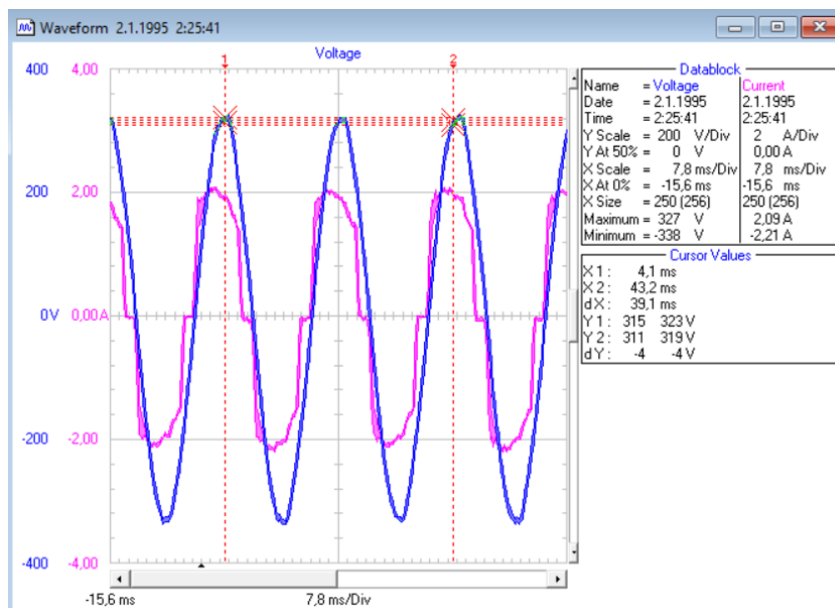
Jakokeskuksen syöttöjohtimista sekä maalämpöpumpun ykkösvaiheelta otettiin myös jännite- ja virtakuvaajat. Analysaattorinkuvaajien määrää rajoitti tiedonsiirtokaapeliadapterin puuttuminen, minkä takia kuvaajia ei voitu heti siirtää kannettavaan tietokoneeseen. Adapteri saatiin arkipäivänä alankaupasta, jolloin kuvaajat saatiin siirrettyä käsittelyyn ja tarkasteltavaksi suuremmalle näytölle.

6.2 Mittaustulokset

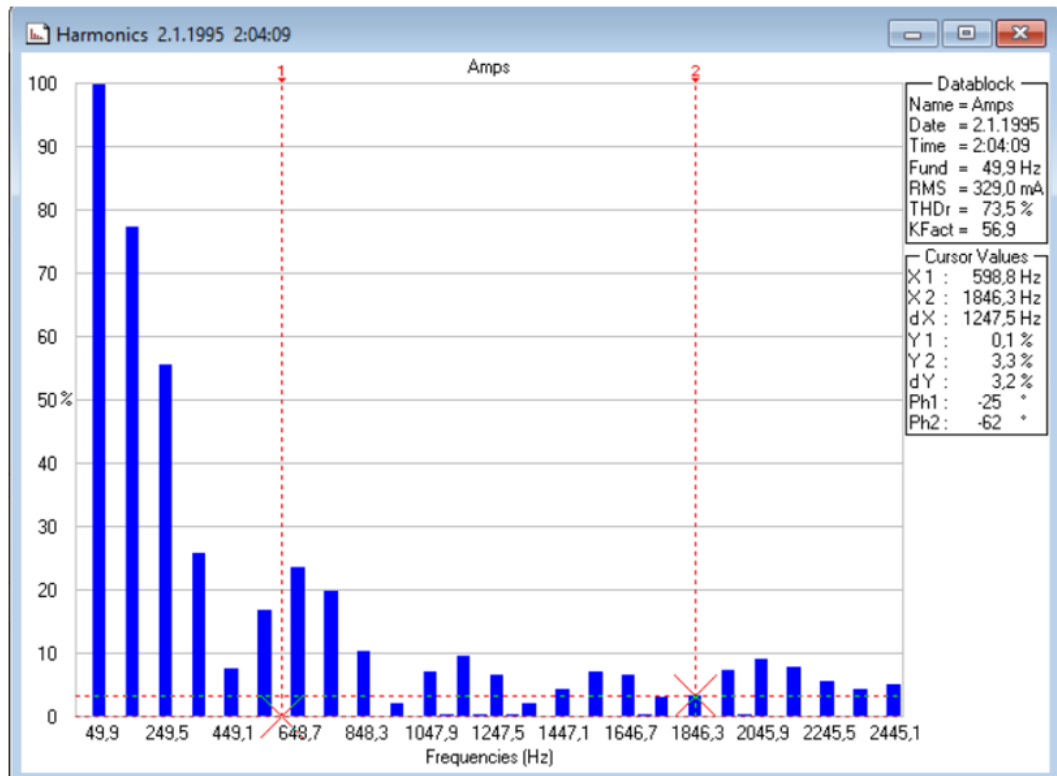
Ensimmäisessä kuvassa (Kuva 22) kiinteistössä nähdään johdonsuojalta mitattu tulos kaikkien valaisinten ollessa päällä ja täysin himmennettynä. Kuvasta voidaan todeta himmentimen aiheuttama virtasäro nousevalla siniaallolla. Kuvassa 23 näkyy kaikkien ryhmien käyrät pienellä himmennyksellä. Kuvassa 24 nähdään virran spektrit, jossa kolmatta yliaaltoa lähes 80 % ja kaikkien yliaaltojen THDf 110 %, sekä kuvan 25 kaikkien valaisinten spektrit pienellä himmennyksellä, missä THDr ja THDf noin 18 %. Pienellä himmennyksellä yksittäiset yliaallot ovat kaikki alle 10 %.



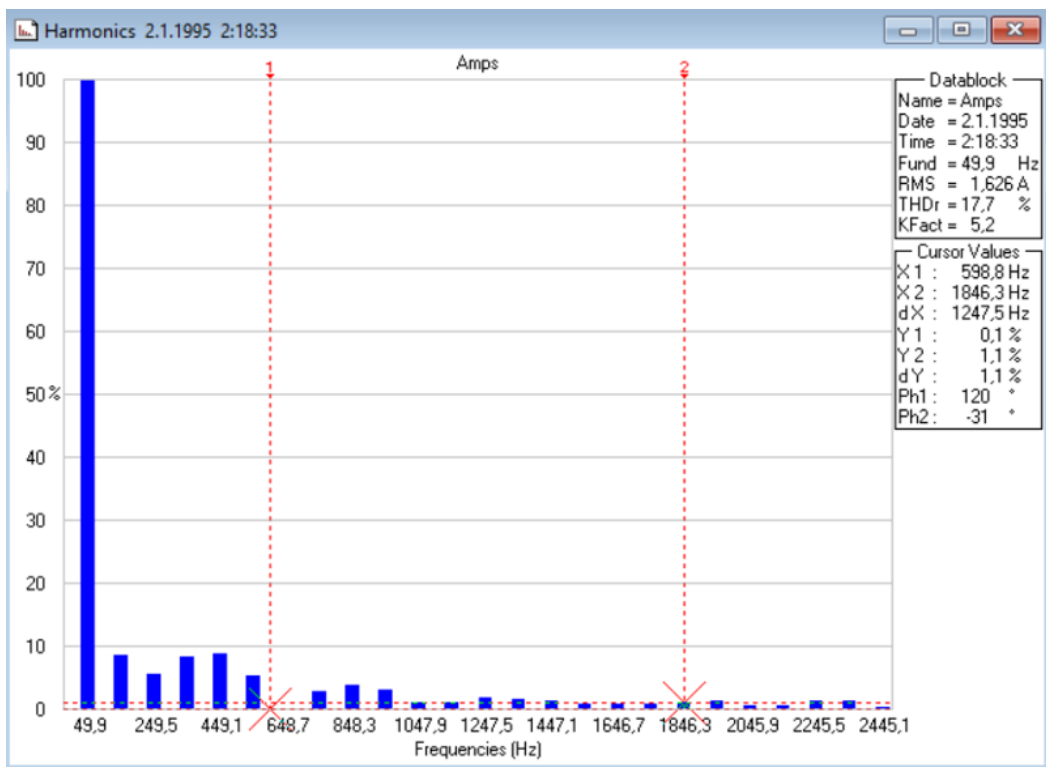
Kuva 22. Virran- ja jännitteen kuvaajat johdonsuojalta mitattuna



Kuva 23. Kaikkien valaisinten jännite- ja virtakuvaajat pienellä himmennyksellä

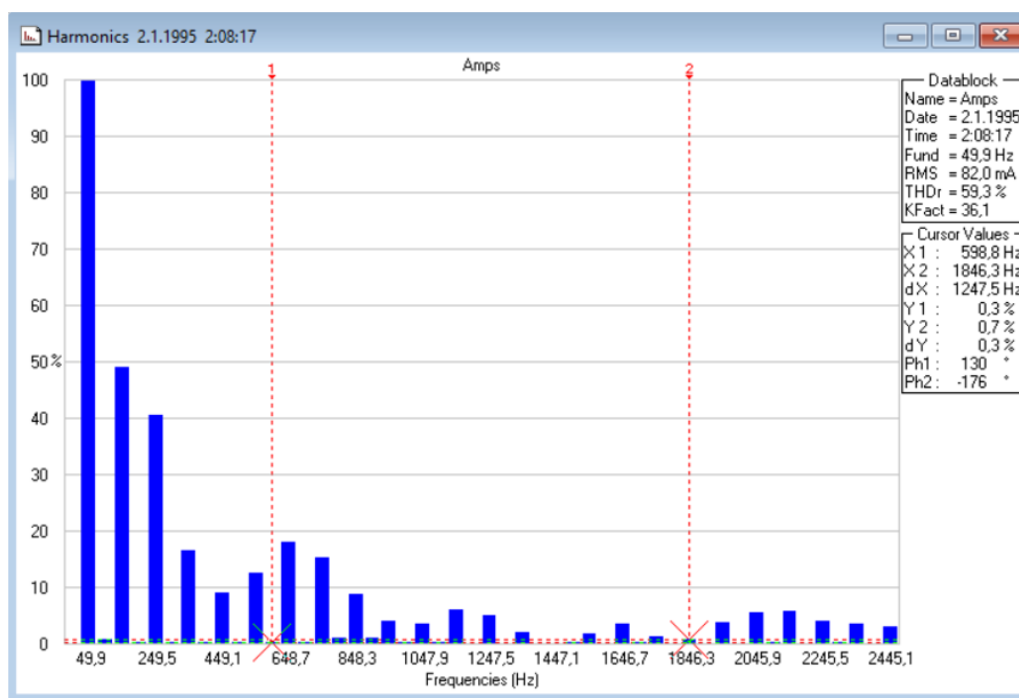


Kuva 24. Virran spektrit täydellä himmennyksellä kaikki valaisimet

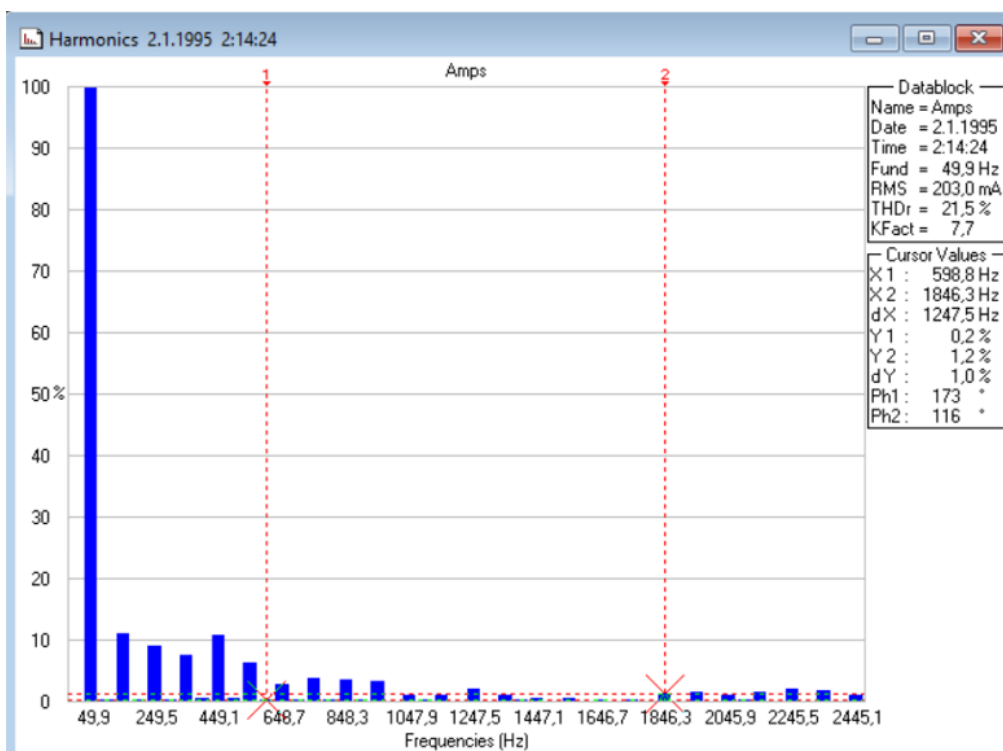


Kuva 25. Virran spektrit pienellä himmennyksellä kaikki valaisimet

Valaistusryhmittäin mitattuna nähdään ryhmässä Uni1 kuvassa 26 himmennys täydellä spektrit, jossa THDr 59 % ja THDf 72 % sekä kolmatta yliaaltoa noin 50 %, kuvassa 27 näkyy samalta ryhmältä himmennys pienellä, jossa THDr ja THDf 21.5 %.

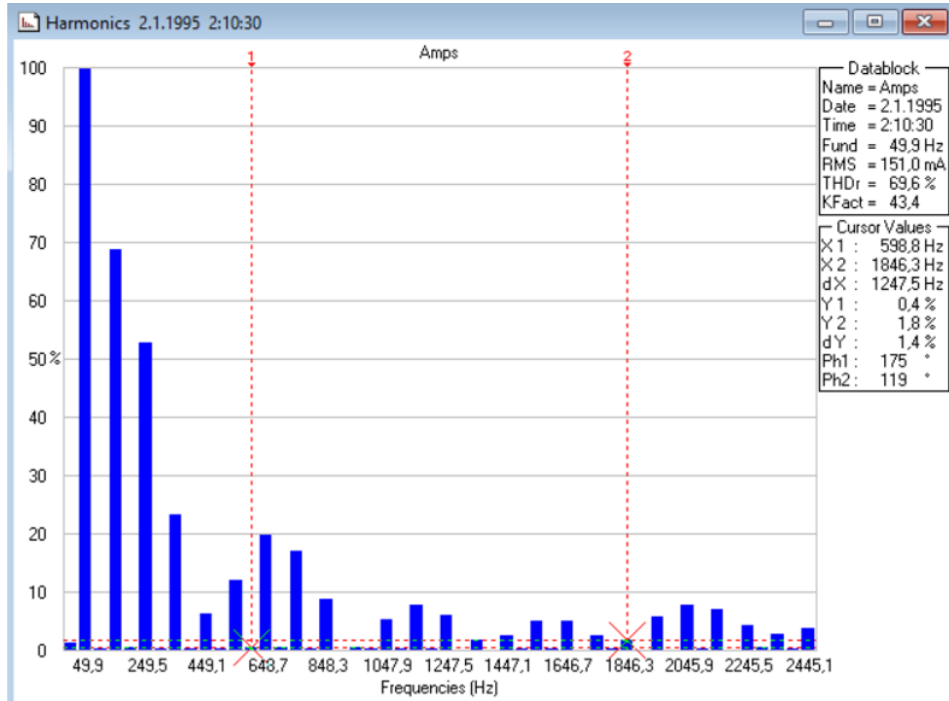


Kuva 26. Ryhmä Uni1 täysi himmennys

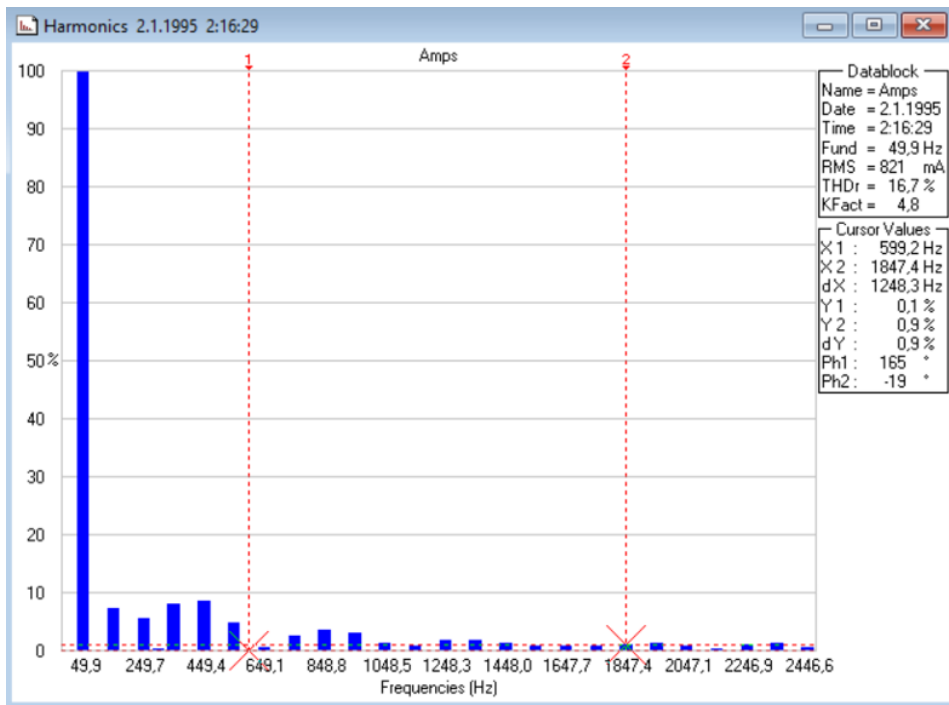


Kuva 27. Uni1 ryhmä himmennys pienellä

Ryhmässä Uni2 himmennys täydellä kuvassa 28 THDr 70 % ja THDf 95 % ja kolmatta yliaaltoa noin 70 %, kuvassa 29 ryhmän himmennys pienellä, jossa THDr ja THDf noin 17 %.

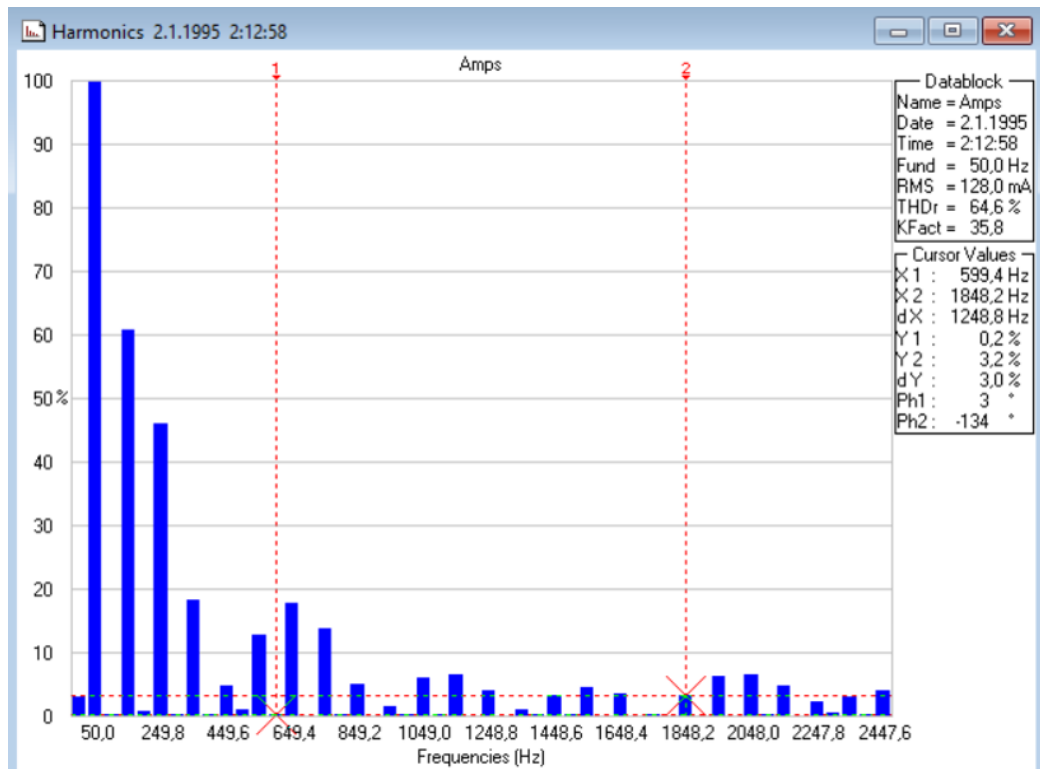


Kuva 28. Uni2 himmennys täydellä

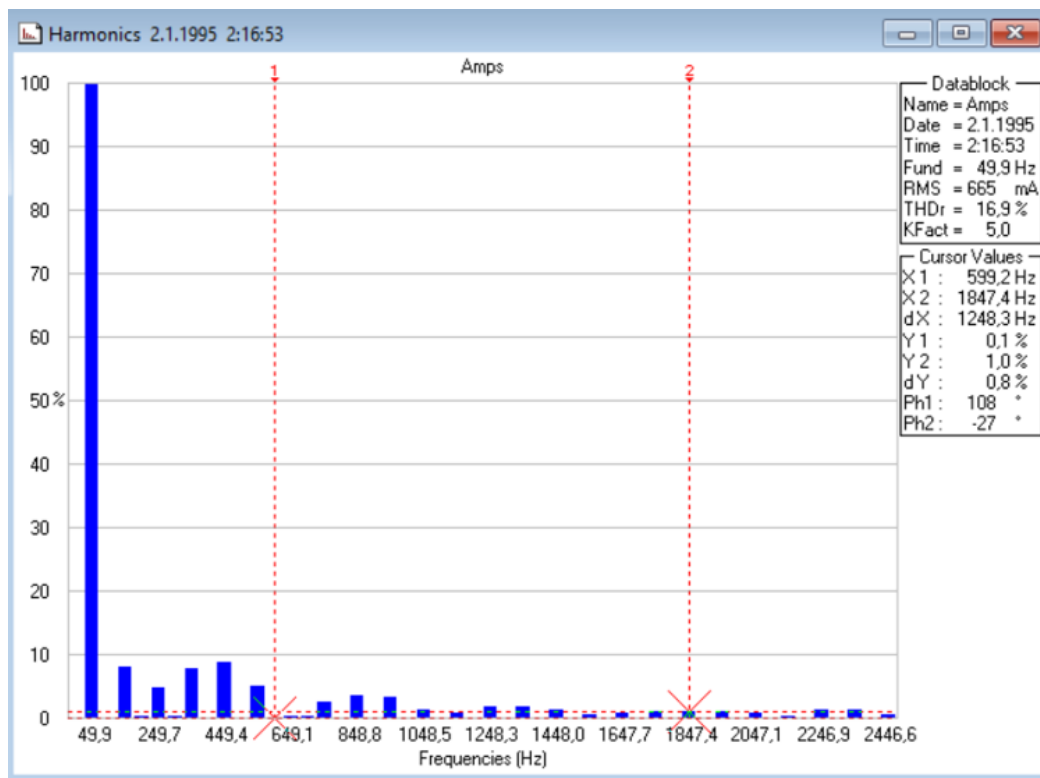


Kuva 29. Ryhmä Uni2 himmennys pienellä

Ryhmän Uni3 täyden himmennuksen arvot ovat kuvan 30 mukaan THDr 65 % ja THDf 93 %, kuvassa 31 pienellä himmennyksellä THDr ja THDf 17 %.



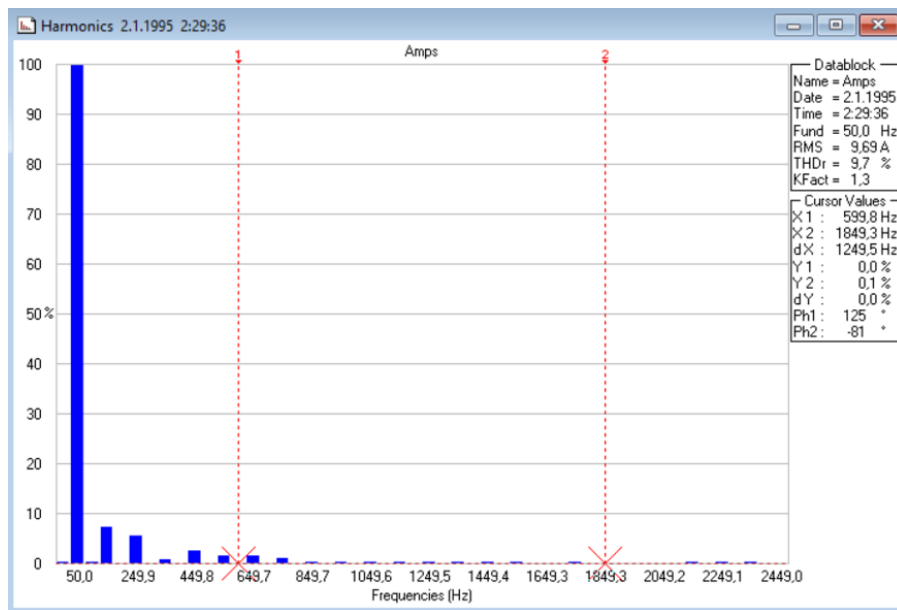
Kuva 30. Ryhmä Uni3 himmennys täydellä



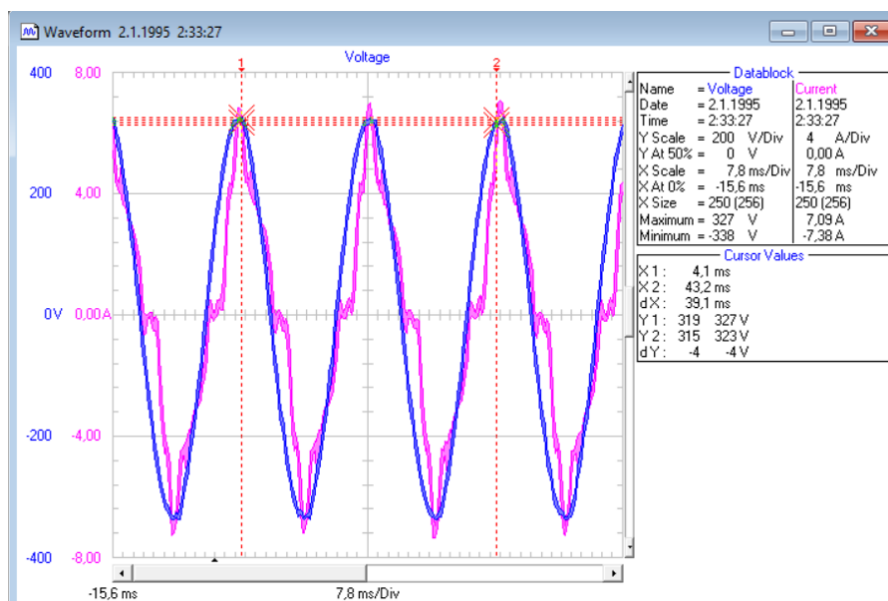
Kuva 31. Ryhmä Uni3 himmennys pienellä

6.3 Syöttöjohdon mittaukset

Mittaukset tehtiin myös syöttöjohdon johtimiin, jotta saatiin kokonaiskuva kiinteistön aiheuttamista yliaalloista verkon kannalta. Kuvassa 32 nähdään nollajohtimen yliaaltospektri, missä THDr 9,7 % Nollajohtimen virta oli 9,69 A, josta voidaan todeta kiinteistökuorman epäsymmetria, mikä ei kuitenkaan aiheuta ylikuormittamista paluujohdtimeen. Kuvassa 33 näkyvät nollajohtimen jännite- ja virtakäyrät.

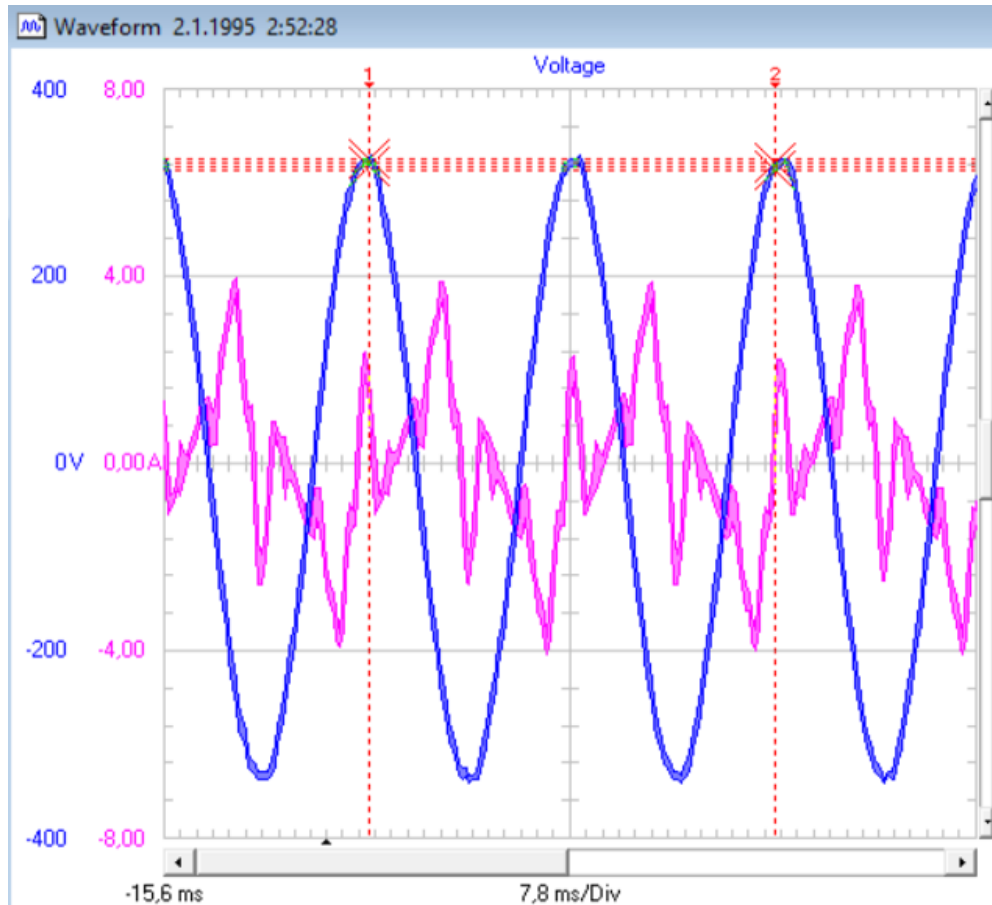


Kuva 32. Kiinteistön nollajohtimen spektri

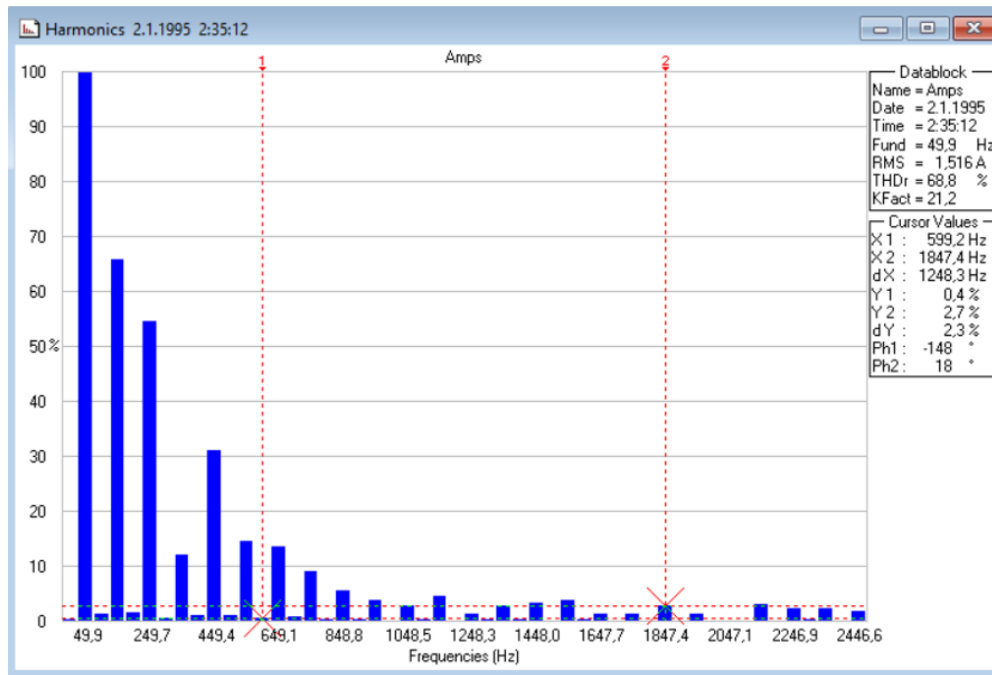


Kuva 33. Nollajohtimen jännite- ja virtakäyrä

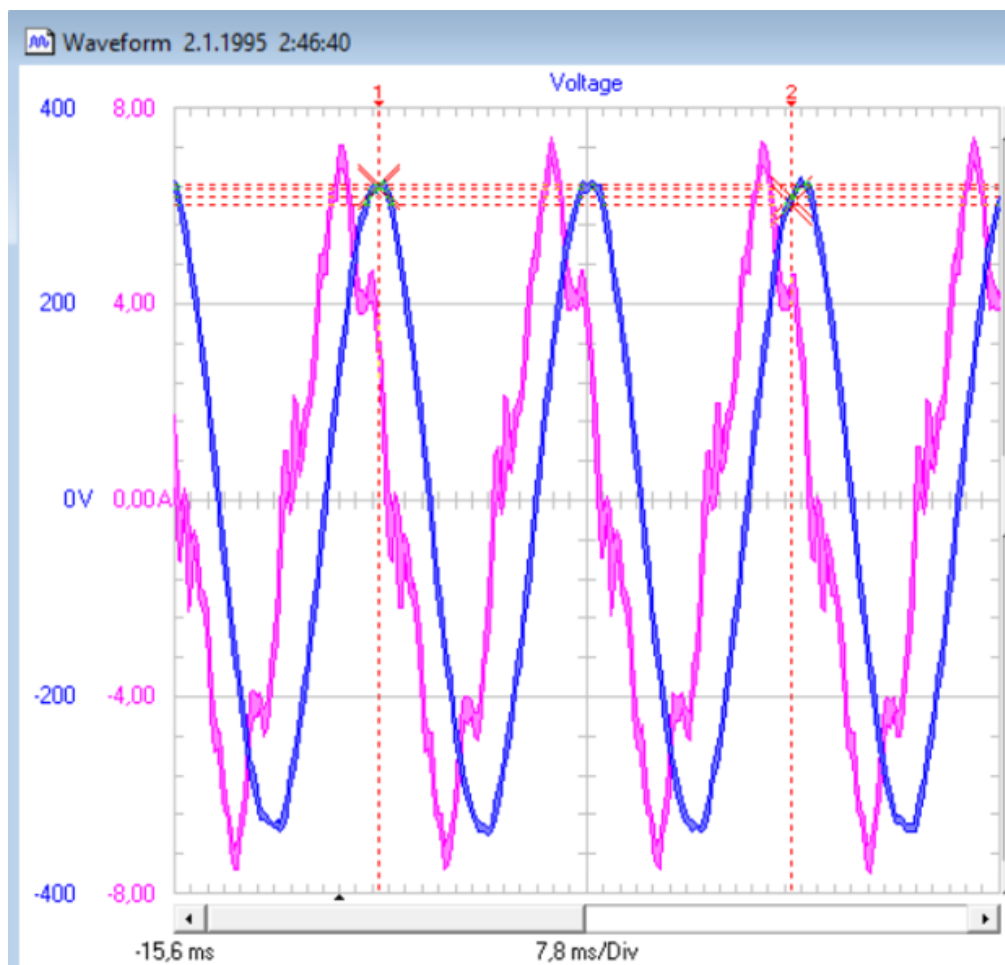
Nollajohtimen jännite- ja virtakäyriin (Kuva 34) saatiin mielenkiintoinen ilmiö, ilmeisesti virran resonanssi, joka toistui noin puolen minuutin välein ollen aktiivisena noin viisisekuntia, missä THDr vaihteli välillä 20- 60 % ja THDf välillä 33-122 %. Resonanssin oletetaan aiheutuvan vaiheeseen L1 (Kuva 36) tai L3 (Kuva 38) liitetystä laitteesta, koska mittauksissa vaiheen L2 käyrät olivat suhteellisen sinimuotoisia (Kuva 37).



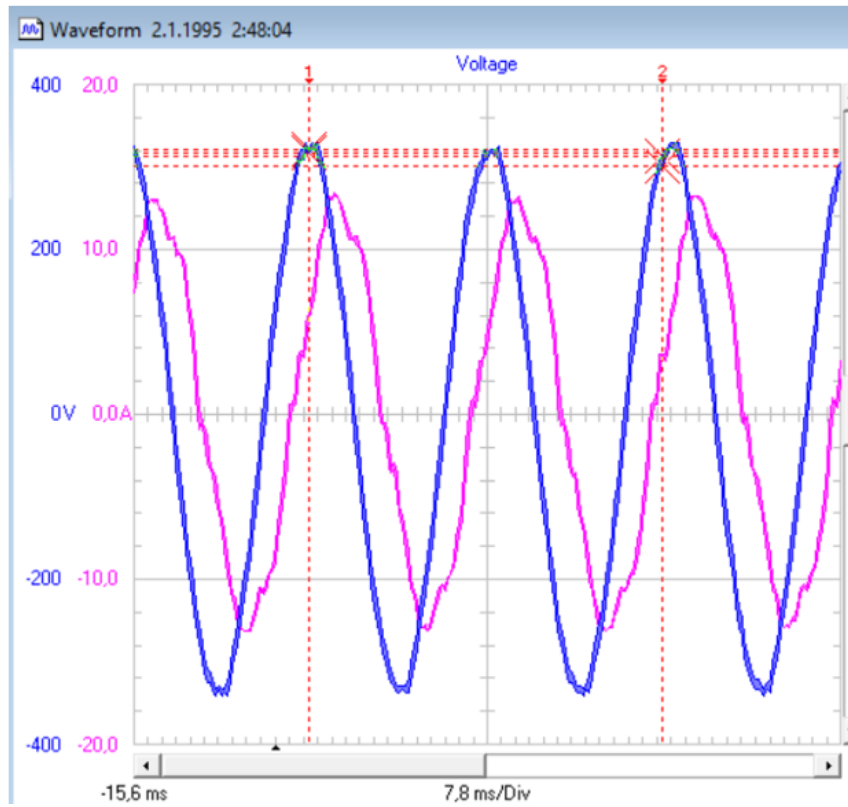
Kuva 34. Nollajohtimen resonanssi



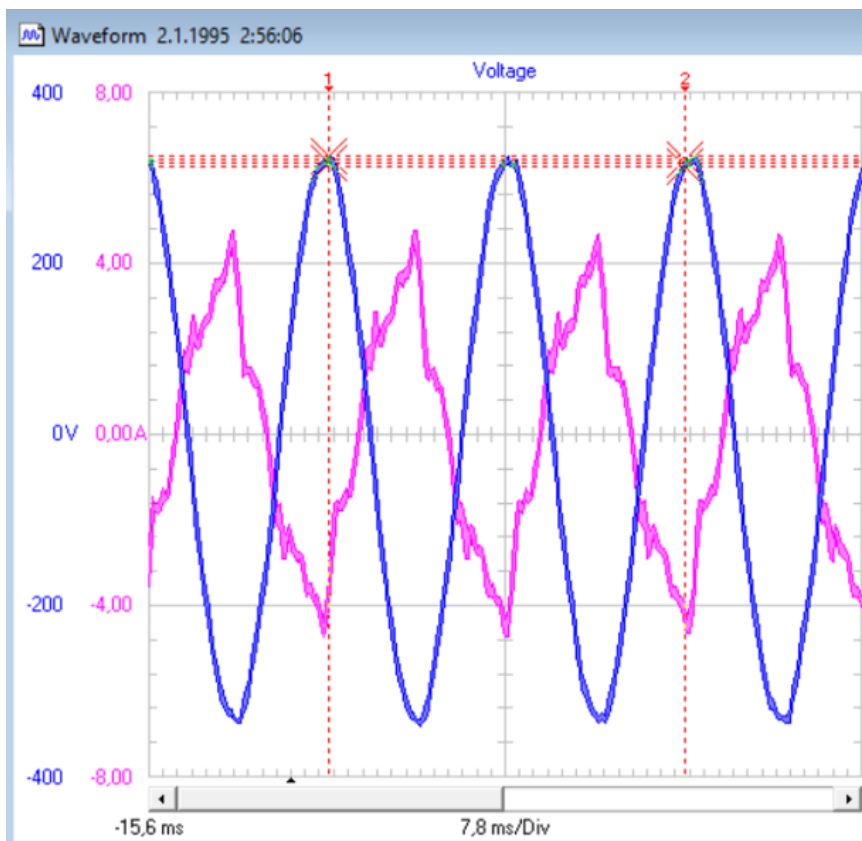
Kuva 35. Yliaaltospektrit resonanssitilanteessa



Kuva 36. Vaiheen L1 virta- ja jännitekäyrät

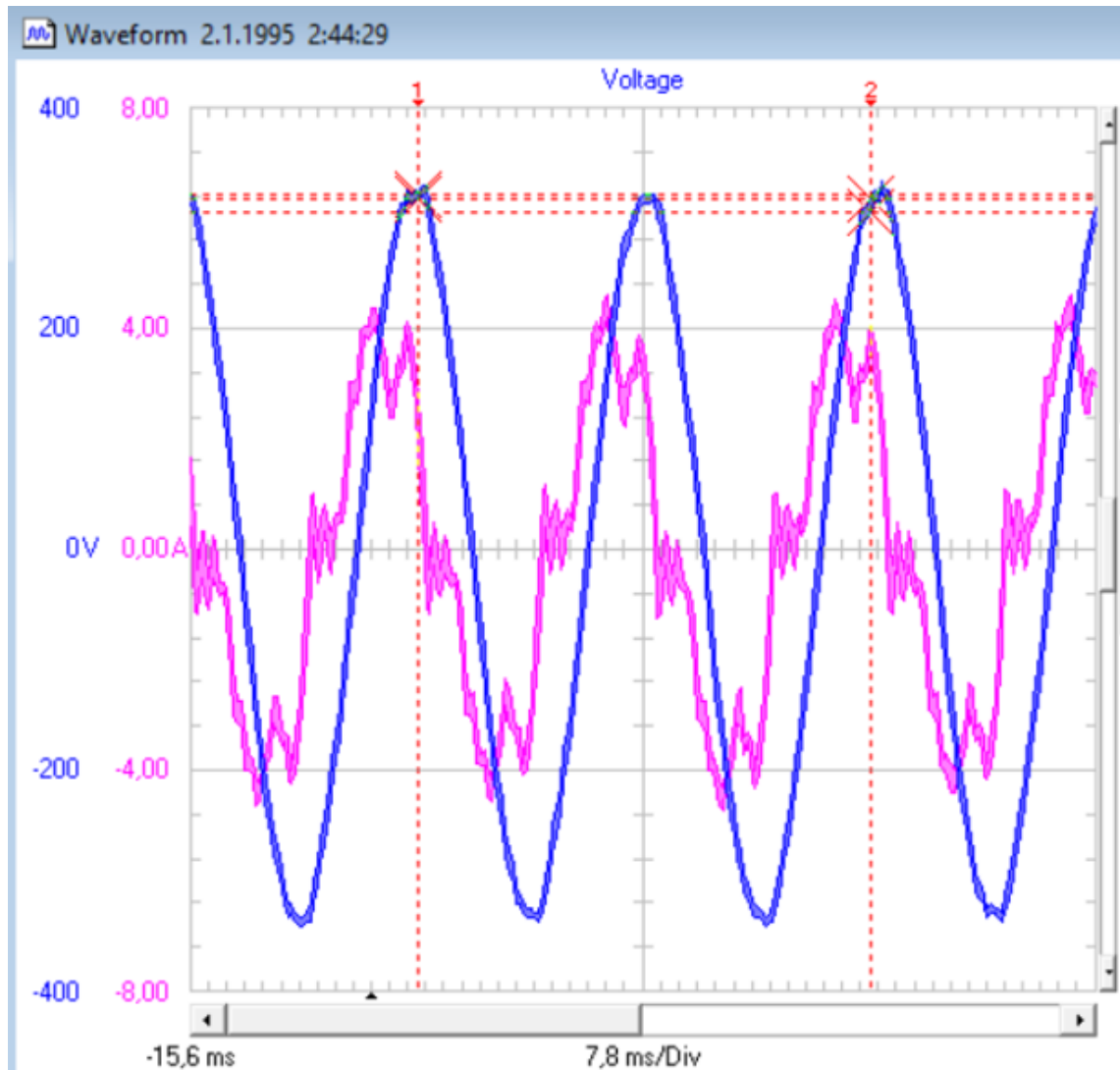


Kuva 37. Vaiheen L2 virta- ja jännitekäyrät



Kuva 38. Vaiheen L3 virta- ja jännitekäyrät

Kuvassa 39 nähdään maalämpöpumpun ykkösvaiheen virta- ja jännitekäyrät, josta voidaan todeta pumpun aiheuttavan virtasäroä mikä aiheutuu todennäköisesti pumpun taajuusmuuttajasta. Kyseinen särö näkyy myös samantyyppisenä syöttöjohtoon tehdyssä mittauksessa kuvassa 36.



Kuva 39. Maalämpöpumpun L1 vaiheen käyrät

6.4 Kiinteistömittauksien tulkintaa

Kiinteistössä suoritettuihin mittaustuloksiin pätevät hyvin samantyyppiset tulokset kuin laboratoriossa tehtyihin mittauksiin, missä säätimen vaikutus harmonisiin yliaaltoihin on merkittävä, etenkin suurella himmennyksellä arvot kasvavat huomattaviksi. Kyseisiin ryhmiin ei ollut kohtuudella mahdollista suorittaa mittauksia, joissa ei olisi säädintä valaistusryhmään kytkettynä.

Kiinteistön syöttöjohtoon tehdyt mittaukset olivat vaillinaiset tallennustilan loppumisen vuoksi. Vaihejohtimista saatiin kuitenkin tuloksia PF:n ja $\text{Cos } \varphi$:n osalta, jotka olivat L1 ja L2 vaiheilla PF 0,5 ja $\text{Cos } \varphi$ 0,53 sekä L3:lla PF 0,86 ja $\text{Cos } \varphi$ 0,9. Näissä tuloksissa mielenkiintoinen huomio tarkasteltaessa virranaaltomuotojen yhteyttä tehokertoimiin, niin niillä ei näyttäisi olevan suoraa yhteyttä keskenään. Vaiheen 3 kuvaajassa THDf vaihteli välillä 33 – 122 %, mikä todennäköisesti antaa viitteitä paluujohdtimeissa olevan resonanssin johtuvan tämän vaiheen jostain kuormasta. Mielenkiintoista olisi ollut mitata kolmivaiheisella analysointirilla ja tutkia tarkemmin resonanssin aiheuttaja.

7 POHDINTA

Työssä tutkittiin Led-alasvalojen liitäntälaitteiden ja säätimien aiheuttamia häiriöitä harmonisten yliaaltojen muodossa useamman valaisimen muodostamissa ryhmissä. Mittauksia suoritettiin laboratoriossa työtä varten valmistettua valaisinpaalua hyödyntäen, mistä saatiin mitattua valaisinten aiheuttamien harmonisten yliaaltojen määrää sekä säätimen ollessa virtapiirin osana ja kokonaan ohitettuna. Tällä mittauksella saatiin selville säätimen aiheuttamat harmoniset yliaallot.

Kiinteistössä suoritettiin mittauksia kolmeen eri valaistusryhmään, joissa oli kapalemäärältään vaihtelevia kahden tyyppisiä valaisimia säädetyissä ryhmissä. Kiinteistömittauksissa saatiin tulostettua jännite- ja virtakäyrät myös todennäköisestä resonanssi-ilmiöstä, jota olisi ollut mielenkiintoinen tutkia syvemmälle sen aiheuttajan esiin saamiseksi.

Mittaustulokset olivat ennalta arveltujen mukaiset, sillä aikaisemmin opinnoissa tehdyissä harjoituksissa tulokset ovat olleet hyvin pitkälti saman suuntaiset. Työssä tehdyissä mittauksissa saatiin tällä hetkellä asennuksissa käytettävien valaisinten, liitäntälaitteiden ja säädinten vaikutuksia esille.

Mahdollinen jatkotutkimus samantyyppiselle työlle voisi olla uudehkon asuinalueen koko muuntopiirin tutkiminen.

LÄHTEET

Alanen, R. & Hätönen, H. 2006. Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta. State of art -selvitys. Viitattu 9.12.2018. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/working-papers/2006/w52.pdf>

Alhainen, J. 2015. Jakokeskusten sähköisten liitosten vikaantumismekanismit ja sähköpalot. Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto. Diplomityö. Viitattu 3.1.2019

Elektronik-industrie, Application Guide. 2011. Viitattu 13.1.2019. https://www.elektronik-industrie.de/wp-content/uploads/sites/11/2011/12/EI_2011_A-Guide_Internet.pdf

Elektroniikkatuotteet tuoteluettelo 2015. Schneider Electric. Viitattu 1.1.2019. http://www.taloon.info/pdf/schneider/schneider_electric_elektroniikkatuoteluettelo_2015.pdf

Ensto valaistus, lamput ja valaisimet, led 29.1.2009. Viitattu 14.3.2019. <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228387387439/1233229692599/1233229715150.html>

Fluke 43B Power Sovellusopas 2005. Viitattu 22.1.2019. <https://docplayer.fi/10077609-Fluke-43b-power-quality-analyzer-kayttoopas.html>

Green, P. 2011. IRS2980 Buck Led Driver, SlidePlayer esitys. Viitattu 11.12.2018. <https://slideplayer.com/slide/4343584/>

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Vantaa: AMK-kustannus Oy Tammertekniikka.

IEC 61000-3-2:2018 RLV Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase) Versio 5. Viitattu 4.1.2019. <https://webstore.iec.ch/publication/62553>

Laine, L. 2018. Mikä himmennin sopii ledeille. Winled Oy 02.08.2018. Viitattu 26.12.2018. <https://www.winled.fi/blogi/artikkeli/Mik%C3%A4-himmennin-sopii-ledeille>

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

Näin vertaillet ledivalaisimia 2.0. Teknologiateollisuus 2016. Viitattu 14.1.2019. https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/nain_vertaillet_ledivalaisimia_2.0_2016_final.pdf

Pakonen, P, Pikkarainen M, Siddiqui B & Verho P. 2013. Energiansäästölamppujen verkostovaikutukset ja elektronisten kuormien ja mittariluentajärjestelmien välinen yhteensopivuus- Vaihe 2. Tampereen teknillinen yliopisto. Loppuraportti. Viitattu 9.12.2018. https://energia.fi/files/1013/Energiansaastolamppujen_verkostovaikutukset_Loppuraportti_2013-05-22.pdf

SFS-EN 50160 2010. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. 4. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry

Sievä, E. 2013. Yliaaltojen suodatus laboratorio- ja toimistorakennuksessa. Tampere. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Insinööriyö. Viitattu 12.01.2019.

Tekninen opas nro 6 ABB. Vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas. Viitattu 20.12.2018. https://library.e.abb.com/public/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/Tekninen_opas_nro_6.pdf

Ylimannila, J. 2011. LED-valolähteen asennusvaihtoehdot. Oulu. Oulun Seudun Ammattikorkeakoulu. Insinööriyö. Viitattu 20.12.2018

LIITTEET

Liite 1. Laboratoriomittausten tulokset ja pylväsdiagrammit

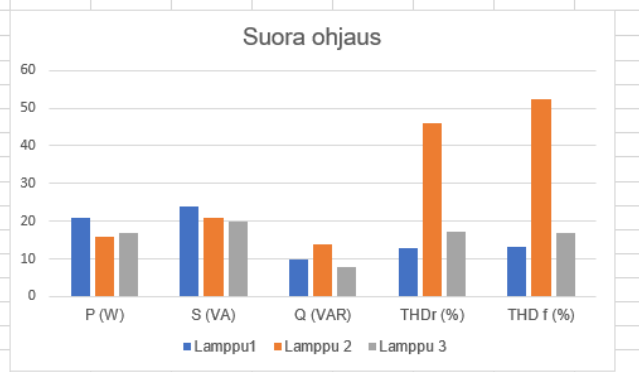
Liite 2. Kiinteistömittausten tulokset ja pylväsdiagrammit

Liite 3. Valonjakokäyrät laboratoriomittausten valaisimista

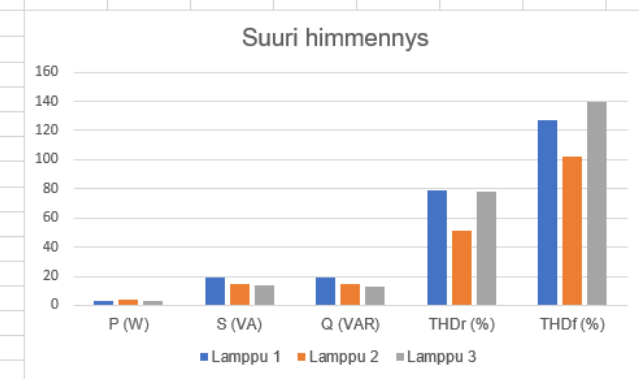
Laboratoriomittaukset

Liite 1

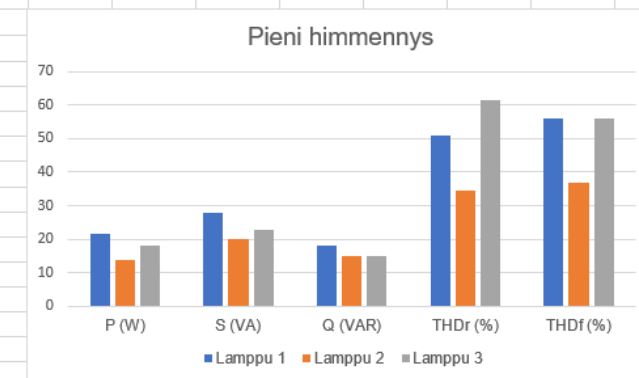
SUORA OHJAUS			
	Lamppu1	Lamppu 2	Lamppu 3
P (W)	21	16	17
S (VA)	24	21	20
Q (VAR)	10	14	8
THDr (%)	12,8	45,9	17,1
THDf (%)	13,2	52,5	17



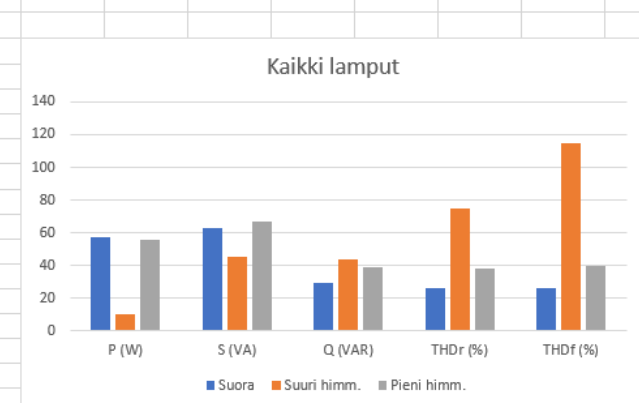
SUURI HIMMENNYS			
	Lamppu 1	Lamppu 2	Lamppu 3
P (W)	3	4	3
S (VA)	19	15	14
Q (VAR)	19	15	13
THDr (%)	79	50,9	77,8
THDf (%)	127,5	102	140



PIENI HIMMENNYS			
	Lamppu 1	Lamppu 2	Lamppu 3
P (W)	21,5	14	18
S (VA)	28	20	23
Q (VAR)	18	15	15
THDr (%)	50,9	34,7	61,5
THDf (%)	56	37	56



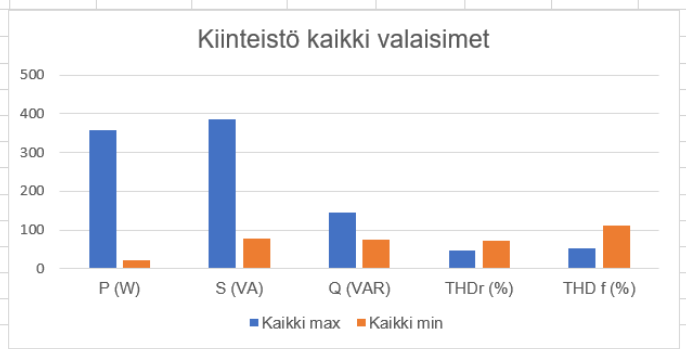
KAIKKI			
	Suora	Suuri himm.	Pieni himm.
P (W)	57	10	56
S (VA)	63	45	67
Q (VAR)	29	44	39
THDr (%)	26	74,8	38,4
THDf (%)	26	115	40



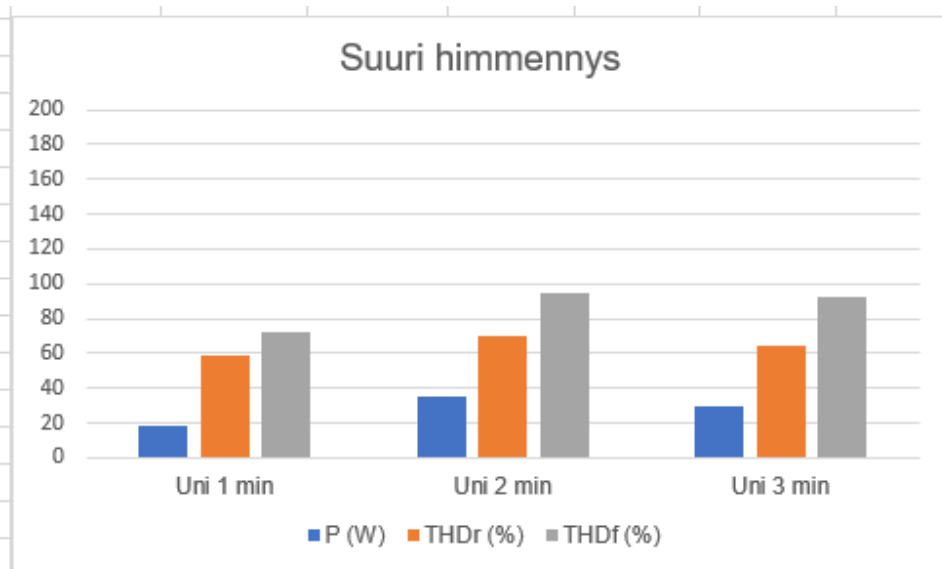
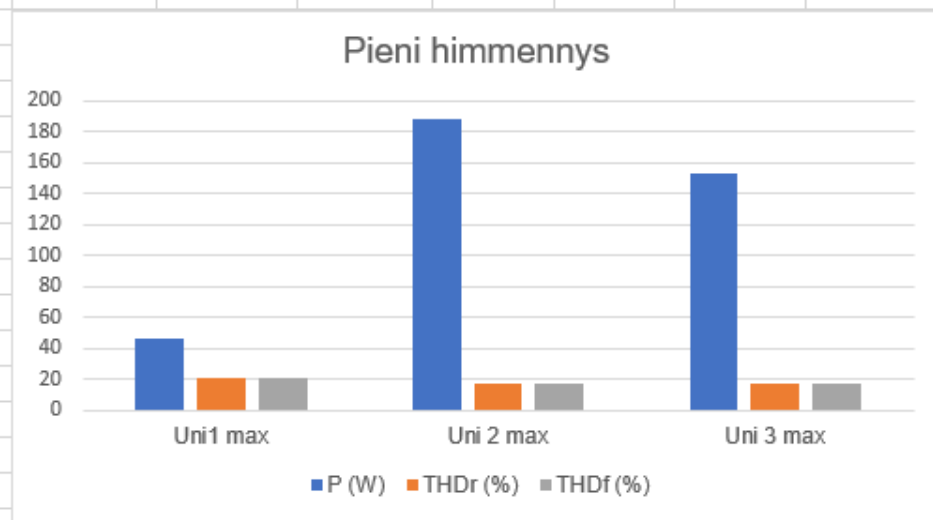
Kiinteistömittaukset

Liite 2

Kaikki valaisimet		
	Kaikki max	Kaikki min
P (W)	357	23
S (VA)	385	78
Q (VAR)	144	75
THDr (%)	45,9	73,5
THDf (%)	52,5	110



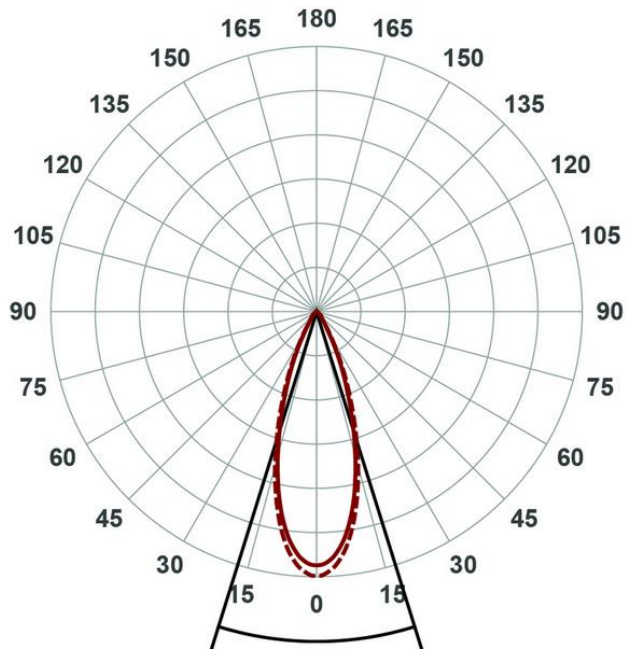
	Uni 1 min	Uni 2 min	Uni 3 min	Uni1 max	Uni 2 max	Uni 3 max
P (W)	18,8	35	29,5	46	188	153
THDr (%)	59,3	69,6	64,6	21,5	16,7	17
THDf (%)	72	95	93	21	17	17



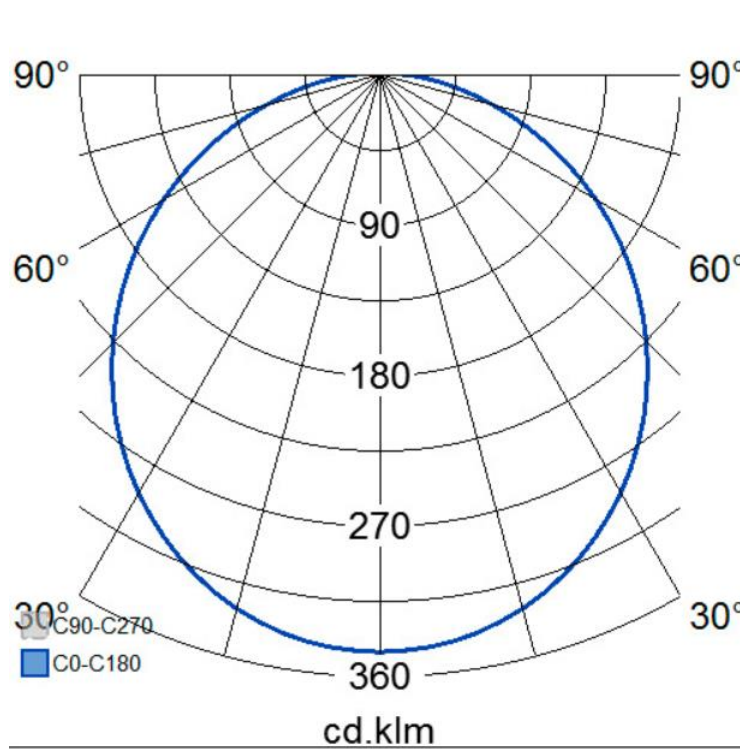
Valonjakokäyrät

Liite 3 (1/2)

Nordtronic valonjako, avauskulma 35 astetta. Ra 85



Airam Slim valonjako, avauskulma 80 astetta. Ra 80-89



Valonjakokäyrät

Liite 3 (2/2)

Osram Parathom PAR16, avauskulma 36 astetta. Ra 80-89

