

# Sähköiset häiriöt Pj-jakeluverkossa

**Joona Pulkkinen**

Opinnäytetyö

---



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Joonas Pulkkinen			
Työn nimi Sähköiset häiriöt Pj-jakeluverkossa			
Päiväys	18.3.2012	Sivumäärä/Liitteet	48/26
Ohjaaja(t) projekti-insinööri Henrik Sikanen, yliopettaja Juhani Rouvali			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuopion Energia, käyttöpäällikkö Simo Hyvärinen			
Tiivistelmä Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Kuopion pienjänniteverkon sähköisiä häiriöitä. Pienjänniteverkon laadun selvityksen lisäksi tutkittiin energiansäästölamppujen sähköisiä ja valaistuksellisia ominaisuuksia laboratoriossa. Työn pääpaino oli mittausten suorittamisessa ja niiden analysoinnissa. Työn tulokset selvittävät, ovatko lisääntyneet sähköisten häiriöiden lähteet, kuten energiansäästölamput, taajuusmuuttajat, tehoelektroniikka ja muut epäsymmetriset kuormat, alentaneet Kuopion kaupungin pienjänniteverkon laatua. Valaistusmittauksilla selvitettiin lamppujen tuottamia häiriöitä, sähköisiä suureita sekä valaistusvoimakkuuksia.  Työn tarjosi Kuopion Energian sähköverkkopuolen käyttöpäällikkö. Vastaavanlaista tutkimusta ei ole Kuopion Energian alueella ennen tehty, joten aihe on erittäin tarpeellinen ja ajankohtainen. Työ toteutettiin viikon kestäväillä mittauksilla ennalta valituilla muuntopiireillä. Laatumittauksia tehtiin yhteensä 16 kappaletta. Mittauksiin sisältyi monipuolisia kohteita teollisuus-, omakotitalo- ja keskusta-alueilta. Valaistusmittaukset tehtiin laatuanalysointilaboratorion, oskilloskoopin ja valaistusmittalaitteiden avulla laboratorio-olosuhteissa.  Työstä saatuja muuntopiirien mittaustuloksia käytetään Kuopion sähköverkon laadun parantamiseen ja seuraamiseen. Työn pohjalta voi tulevaisuudessa tehdä mittauksia, joita on helppo verrata tämän työn tuloksiin. Myös verkkoyhtiön sopimusehtoihin voi lisätä työn tulosten perusteella rajoja, jotka koskevat asiakkaiden aiheuttamien sähköisten häiriöiden tuottoa jakeluverkkoon, kuten yliaaltovirtoja.			
Avainsanat sähköiset häiriöt, pienjänniteverkko, energiansäästölamppu, yliaaltovirta			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Joonas Pulkkinen			
Title of Thesis Electrical Disturbance in Low-Voltage Network			
Date	18.3.2012	Pages/Appendices	48/26
Supervisor(s) Mr. Henrik Sikanen, Project Engineer. Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer			
Client Organisation/Partners Kuopion Energia, Mr. Simo Hyvärinen			
<p><b>Abstract</b></p> <p>The purpose of this thesis was to clarify of low-voltage grid concerning electronic disturbance in the Kuopio area. Electrical properties and lightning features of energy-saving lamps were also examined in laboratory conditions. The main emphasis was on the measurements and their analysis. The results of the thesis aim to clarify whether the amount of electrical sources of interference like energy-saving lamps, inverters, power electronics and other asymmetrical loads have decreased the quality of the low-voltage grid in Kuopio.</p> <p>The thesis was offered an operation manager of Kuopion Energia. A corresponding research has not been carried out in Kuopion Energia network, so the topic is very necessary and timely. The work was carried out with one week lasting quality measurements by using pre-selected transformers. The total number of measurements was 16. The measurements included versatile targets such industry, detached houses and centre areas. Lighting measurements were done with quality analyzer, an oscilloscope and lighting instruments in laboratory conditions.</p> <p>The results of measurement will be used to improve and monitor the quality of electricity in the Kuopio grid. On the basis of this work, similar measurements can be carried out in the future and the results can be easily compared with each other. Also some clauses and limitations can be added in the terms of contract of Kuopion Energia concerning electrical disturbances such as harmonic units caused by customers.</p>			
<p><b>Keywords</b> electronic disturbance, low-voltage grid, energy saving lamp, harmonic current</p>			

## ALKUSANAT

Tämä työ tehtiin Kuopion Energialle. Kuopion Energian käyttöpäällikkö Simo Hyvärinen tarjosi työtä, koska Kuopion alueen pienjänniteverkon laatua ei ole aiemmin tutkittu. Lisääntyneet energiansäästölamput ja tehoelektroniikan käytöt aiheuttavat huolta sähköverkon tilasta. Työssä tutkittiin Kuopion alueen jakeluverkon lisäksi pienoisloiste- sekä LED-lamppujen ominaisuuksia.

Haluan kiittää Simo Hyväristä hyvästä aiheesta ja ohjauksesta työn aikana sekä koko Kuopion Energian käyttötiimiä avustamisesta ja opastamisesta mittausten aikana. Savonia-ammattikorkeakoulusta haluan kiittää työtä ohjanneita projekti-insinööri Henrik Sikasta sekä yliopettaja Juhani Rouvalia. Lopuksi kiitän avovaimoani ja tyttäni tuesta ja kannustuksesta koko opiskeluaikana.

Kuopiossa 5.3.2012

Joona Pulkkinen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	8
2	KUOPION ENERGIA .....	9
3	TYÖN TOTEUTUS .....	10
4	JÄNNITTEEN LAATU .....	11
4.1	Laadun arviointi .....	11
4.2	Jännite.....	11
4.3	Verkkotaajuus .....	12
4.4	Nopeat jännitteenmuutokset .....	12
4.4.1	Välkyntä .....	13
4.4.2	Jännitekuopat.....	13
4.4.3	Transienttilyijännite .....	14
4.5	Harmoniset ja epäharmoniset yliaaltojännitteet.....	15
4.6	Harmoniset ja epäharmoniset yliaaltovirrat.....	18
4.7	Verkon signaalijännitteet .....	21
4.8	Loisteho .....	22
5	KENTTÄMITTAUKSET.....	23
5.1	Mittalaitteet .....	23
5.1.1	Gossen Metrawattin Mavowatt70 .....	24
5.1.2	Fluke 435 -analysointilaitteet.....	25
5.2	Havaintoja mittauksista .....	26
5.2.1	Muuntajan numero 173 havainnot.....	27
5.2.2	Muuntajan numero 210 kesä ja talvi vertailu .....	29
5.2.3	Muuntaja numero 57 ja katuvalaistus .....	30
5.3	Laaturaportti.....	31
6	LABORATORIOMITTAUKSET.....	32
6.1	Sähköisten ominaisuuksien mittaus.....	32
6.2	Lamppujen sarjakytkentä.....	34
6.3	Valaistusominaisuudet .....	35
6.3.1	Valaistusvoimakkuuden laskenta .....	37
6.3.2	Valonjakokäyrä.....	39
6.4	LED- ja hehkulampun käyttökustannusten vertailu .....	40
6.5	Havaintoja lampumittauksista.....	43
7	PÄÄTELMÄT .....	46
	LÄHTEET .....	48

## LIITTEET

Liite 1 Laaturaporttimalli

Liite 2 Valonjakokäyrät

Liite 3 Syttymiskäyrät

Liite 4 Laaturaportit, CD

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää Kuopion pienjännitejakeluverkon laatu. Jännitteen laatua heikentävät lisääntyvät LED- ja pienoisloistevalaisimien käytöt sekä erilaiset tehoelektroniikan käytöt taajuuden muuttajineen. Tämän vuoksi työssä tutkittiin energiansäästölamppujen häiriöntuottoa verkkoon. Verkon suunniteluvaiheessa kymmeniä vuosia sitten ei ole välttämättä otettu huomioon tulevaisuudessa laitteiden aiheuttamien häiriöiden nopeaa kasvua, mitä ovat mm. loistehon kasvu ja harmoniset yliaallot. Jännitteen sähköiset häiriöt aiheuttavat verkon ja muuntajien ylikuormittumista ja ennenaikaisen vanhenemisen sekä asiakkailta sähkön laadun heikkenemistä, mikä näkyy erilaisina sähkölaitteiden toimintahäiriöinä. Laatuun voidaan vaikuttaa lisäämällä häiriön poistoon tarkoitettuja suotimia ja mitoittamalla sähköverkko riittävän vahvaksi.

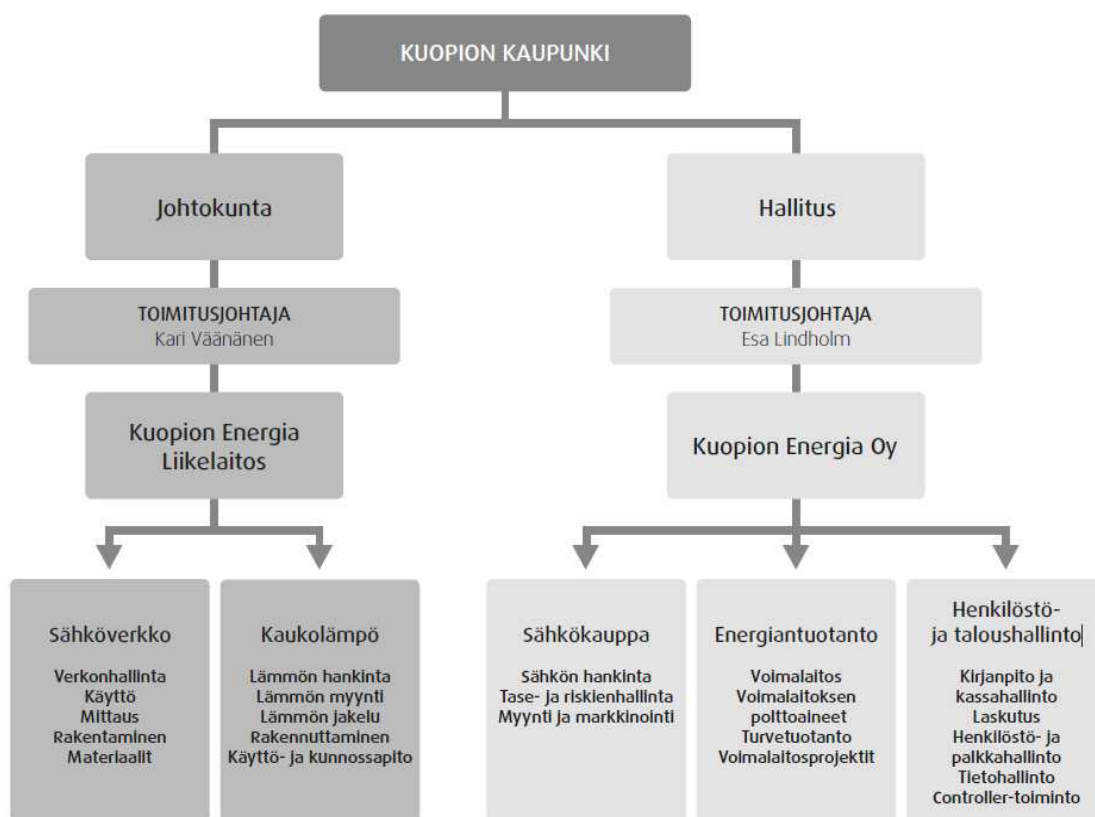
Verkkoyhtiöiden tulee noudattaa SFS-EN 50160 -standardin asettamaa jännitestandardia ja sähkömarkkinalain verkkoyhtiöille osoitettuja pykäläiä. Sähkömarkkinalaki SML (386/1995) pykälässä 9 määrittelee verkkoyhtiön turvaamaan asiakkaalle riittävän hyvälaatuinen sähkö.”Verkonhaltijan tulee ylläpitää, käyttää ja kehittää sähköverkkoaan sekä yhteyksiä toisiin verkkoihin asiakkaiden kohtuullisten tarpeiden mukaisesti ja turvata osaltaan riittävän hyvänlaatuisen sähkön saanti asiakkaille (verkon kehittämisvelvollisuus)”. Verkkoyhtiöiden on nykyään otettava jännitteen laatu aikaisempaa enemmän huomioon häiriölähteiden lisääntymisen takia.

Työ on kokonaisuudessaan ajankohtainen lisääntyvien häiriölähteiden myötä, eikä tämäntyyppistä jännitteen laadun tutkimusta ole Kuopion Energian jakelualueelle ennen tehty, joten työ on tarpeellinen ja mielenkiintoinen. Kuopion Energia käyttää työstä saatuja tietoja pienjänniteverkkonsa kehittämiseen ja jännitteen laadun parantamiseen.

## 2 KUOPION ENERGIA

Työn tarjosi Liikelaitos Kuopion Energian sähköverkon käyttöpuolen osasto. Kuopion Energian yritys rakenne muodostuu sähköä siirtävän ja kaukolämpöä toimittavan liikelaitoksen lisäksi Kuopion Energia Oy:stä kuvan 1 mukaisesti. Kuopion Energia Oy tuottaa sähköä ja kaukolämpöä, myy sähköä ja vastaa konsernin hallintopalveluista. Sähköverkkopuolella oli vuoden 2011 lopussa 47 961 asiakasta, pääosin Kuopion kaupungin alueella. Työntekijöitä liikelaitoksella vuonna 2011 oli 86 ja koko osakeyhtiö mukaan lukien yhteensä 199.

Kuopion Energian sähköverkon kokonaispituus on noin 1481 km. Keskijännite on jaettu kahdelle jännitetasolle, 10 kV ja 20 kV. Maakaapeleiden osuus 10 kV:n puolella on 57 km ja 20 kV:n 240 km. Ilmajohdon osuus 10 kV jännitetasolla on 8 km ja 20 kV jännitetasolla 156 km. Maakaapeloinnin osuutta pyritään kasvattamaan. Muuntopiirejä kaupungin alueella on noin 850, muuntajien määrä kasvaa jatkuvasti. (Kuopion Energian kotisivut 2012)



KUVA 1. Kuopion Energian yritys rakenne. (Kuopion Energia, vuosikertomus 2011)

### 3 TYÖN TOTEUTUS

Työ toteutettiin 13 yksittäisellä mittauksella eri muuntopiireillä. Lisäksi tehtiin kolme kiinteistömittausta, kohteissa joissa oli havaittu mahdollisia häiriöitä jännitteessä. Kuopion alueella sähköverkko on jaettu 10 kV ja 20 kV verkkoihin. Kuopion kaupungista 10 kV alueeseen kuuluu pääosin keskustan ja Puijonlaakson alueet. Mittauksista viisi tehtiin 10 kV muuntamalla ja loput 20 kV muuntamoilla. Muuntopiirit valittiin siten, että saataisiin mitattua teollisuus-, omakotitalo-, kauppakeskus-, sekä kerrostaloalueita. Lisäksi mitattiin muuntajan yksittäisiä lähtöjä, joista voitiin selvittää häiriöiden suuntaa. Mittaukset tehtiin Mavowatt70-sähköanalysointilaitteella, jonka mitaamat tiedot tallentuvat sen muistikortille. Mittarin jännitepihdit ja virtasilmukat asennettiin muuntamolle pienjännitepuolen kiskoihin tai kaapeleihin, josta saatiin mitattua koko muuntamon kuormitus. Mittalaitteelta data siirrettiin tietokoneen ohjelmistolle tarkempaa analysointia varten. Yksittäisten lähtöjen mittalaitteena käytettiin Fluke-434-laatuanalysointilaitetta.

Työn toisessa osiossa tutkittiin häiriöitä aiheuttavien laitteiden ominaisuuksia laboratorio-oloissa. Tutkittaviksi lampuiksi valittiin LED- ja pienoisloistevalaisimia. Mittauksissa selvitettiin laitteiden käynnistystapahtumia, sähköisiä suureita ja niiden käytöstä aiheutuvia häiriöitä. Varsinkin LED-valaisimien vaikutuksien tutkiminen ja analysointi on tärkeää tulevaisuuden kannalta niiden lisääntymisen vuoksi. Laboratoriotulosten perusteella voidaan arvioida lamppujen kehitystä ja häiriöiden tuottoa tulevaisuudessa. Häiriömittausten lisäksi tutkittaville lampuille tehtiin valaistusvoimakkuusmittauksia, joita vertailtiin keskenään ja valmistajien ilmoittamiin arvoihin.

## 4 JÄNNITTEEN LAATU

### 4.1 Laadun arviointi

Pienjänniteverkon jännitteen laatua arvioidaan IEC:n määrittelemän SFS-EN 50160 -standardin mukaan. Standardi määrittelee pienjännitteen suurimmat ja pienimmät raja-arvot. Standardien ohella sähkön laatuun vaikuttaa toimitusvarmuus eli sähkökatkoksien määrä ja aika vikaa ja asiakasta kohden. Yleensä sähkötoimituksen katkokset johtuvat ilmastosyistä tai sähköverkossa suoritettavista huoltotoista.

Tämä työ ottaa kantaa ainoastaan jännitteen laatuun. Kuopion Energialla ei ole sopimusehdoissa mainittu tarkkoja ehtoja jännitteen laadulle tai sille, mitä sähkökäyttäjä saa syöttää verkkoon päin. Ehdossa mainitaan, etteivät yksittäisen asiakkaan aiheuttamat häiriöt saa aiheuttaa muille kuluttajille merkittävää haittaa. Työn tuloksia voidaan käyttää hyödyksi asettamalla yksittäisille sähkökäyttäjille raja-arvoja häiriöiden tuottamiseen.

Jännitteen laatuun liittyvä aineisto sivulle 23 saakka perustuu SFS-EN 50160 -standardin neljänteen painokseen. Harmonisiin yliaaltovirtoihin liittyvä teksti sivuilla 18 - 21 perustuu tele- ja urakoitsijaliiton suosituksiin.

### 4.2 Jännite

Normaali jakelujännite pienjänniteverkossa on 230 V ( $U_n$ ). Jännitetasoa voidaan säätää muuntajan käämi- tai väliottokytkimen avulla. EN-50160 -standardin mukaan jännitteen on pysyttävä kuluttajan ja verkkoyhtiön rajapinnassa 207 V ja 253 V välissä. Tämä ehto tulee toteutua 95 % ajan koko mittaukseen kuluva ajasta. Taulukossa 1 on standardin asettamat kriteerit jännitteen laadulle, viikon kestävässä mittauksessa. Syrjäisillä alueilla pitkillä johtoväleillä voidaan poikkeustapauksissa sallia jopa 15 % vaihteluita tehollisarvosta. Jännitteen aleneminen aiheuttaa laitteiden toimintahäiriöiden lisäksi niiden ottaman virran nousun, joka ylikuormittaa laitetta ja sitä syöttävää verkkoa ja kaapeleita.

Standardin antama 95 % ohje tarkoittaa, että viikon kestävässä mittauksessa jännite voi olla arvoltaan mitä tahansa korkeimmillaan 8 tuntia 24 minuuttia koko viikosta. Verkkoyhtiön on itse sovellettava annettuja rajoja, eikä standardilaatuun pääseminen pitäisi aiheuttaa ongelmia verkkoyhtiöille.

TAULUKKO 1. Jännitteen laatukriteerit (SFS-EN 50160)

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

Suurin jännitteen alenemisen aiheuttava syy on verkon ylikuormitus, jolloin suunnitellut johdin poikkipinnat eivät riitä siirtämään tarvittavaa tehoa, minkä seurauksena jännite laskee. Verkon ylikuormituksen ja jännitteen alenemisen aiheuttaa myös huonon tehokertoimen omaavat laitteet, joiden loistehon osuus kokonaistehosta on suuri. Myös pitkät johtomatkat pienillä johdon poikkipinnoilla aiheuttavat jännitteen aleneman, mutta tämä otetaan suunnittelussa hyvin huomioon eikä siitä yleensä aiheudu ongelmia.

#### 4.3 Verkkotaajuus

Jakelujännitteen standardoitu nimellistaajuus on 50 Hz. Taajuuden laatua arvioitaessa mitataan taajuuden keskiarvoa 10 sekunnin välein. Sallitut taajuuden vaihtelut ovat taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Taajuuden sallitut arvot (SFS-EN 50160)

100 % vuodesta	50 Hz + 4 %/-6 %
99,5 % vuodesta	50 Hz $\pm$ 1 %
Nimellistaajuus	50 Hz
Mittaus	10 s jaksoina viikon ajan

#### 4.4 Nopeat jännitteenmuutokset

Nopeat jännitteenmuutokset johtuvat usein laitteiden käynnistämisestä aiheutuvasta virtapiikistä tai kytkentätilanteista, joista seuraa jännitteenalenema. Jännitteen muutokset ovat normaalitilanteissa  $\pm 10 \% \cdot U_n$ .

#### 4.4.1 Välkyntä

Jännitemuutoksista johtuvaa välkyntää kuvataan häiritsevyyssindeksillä  $P_{lt}$ . Jännitteen nopea vaihtelu saa lampun valaistusvoimakkuuden eli luminanssin vaihtelemaan. Luminanssin vaihtelu aistitaan lampun välkyntänä, joka koetaan amplitudin kasvaessa häiritsevänä. Häiritsevyyssindeksi kuvaa, kuinka ärsyttävänä välkyntää voidaan pitää. Välkyntää voidaan arvioida pitkäaikaisena häiritsevyyssindeksinä ( $P_{lt}$ ) tai lyhytaikaisena häiritsevyyssindeksinä ( $P_{st}$ ). Taulukossa 3 on standardin SFS-EN 50160 korkeimmat sallitut arvot välkyntälle. Pitkäaikaisen häiritsevyyssindeksin tulee viikon kestävän mittauksen ajan olla  $P_{lt} \leq 1,95$  % ajasta.

TAULUKKO 3. Nopeiden jännitteenmuutosten laatuksiteerit (SFS-EN 50160)

Hyvä laatu	$P_{st,3max} \leq 1$ $P_{lt,max} \leq 0,74$
Normaalilaatu	$P_{lt,max} \leq 1$
Standardilaatu	95% mitatuista $P_{lt}$ - arvoista $\leq 0,74$

#### 4.4.2 Jännitekuopat

Jännitekuopat liittyvät nopeaan jännitteen muutokseen ja sen aiheuttavat kuluttajien suuritehoisten laitteiden käytöt, verkossa tapahtuvat kytkentätilanteet. Myös ilmastolliset tekijät, kuten salama voi aiheuttaa jännitekuoppia.

Jännitekuoppia mitataan standardin EN 61000-4-30 mukaan. Kuoppia vertaillaan referenssijännitteeseen, joka on pienjännitteellä 230 V. Tavallisesti jännitekuopat ovat 1-90 prosenttia jakelujännitteen nimellisjännitteestä ja kestävät yleensä alle yhden sekunnin mutta voivat kestää jopa minuutin. Jännitekuoppien aiheuttajista johtuen, niitä on erittäin vaikea ennustaa.

Jännitekuopat luokitellaan niiden keston ja jäännösjännitteen mukaan taulukon 4 avulla. Verkon rakenne ja suojaustapa vaikuttaa olennaisesti jännitekuoppien keston, esimerkiksi hyvällä verkon maadoituksella voidaan pienentää kuoppien kestoai-  
kaa.

TAULUKKO 4. Jännitekuoppien luokittelu jäännösjännitteen ja kestoajan perusteella (SFS-EN 50160)

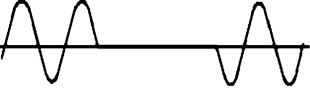
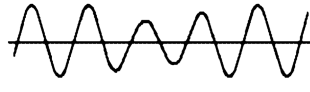
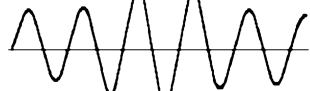
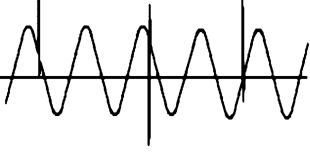

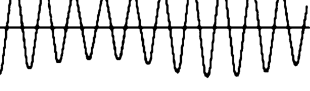
Jäännösjännite u %	Kesto aika t ms				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1\,000$	$1\,000 < t \leq 5\,000$	$5\,000 < t \leq 60\,000$
$90 > u \geq 80$	x	x	x	x	x
$80 > u \geq 70$	x	x	x	x	x
$70 > u \geq 40$	x	x	x	x	x
$40 > u \geq 5$	x	x	x	x	x
$5 > u$	x	x	x	x	x

#### 4.4.3 Transienttiylijännite

Transientti ylijännitteen syntyvät usein salamoinnin tai sähköverkon kytkentätilanteiden seurauksena. Muita syitä voi olla epälineaarinen kuormitus ja kapasitiiviset kuormat. Transienttijännitteet ovat kestoaltaan lyhyitä, alle mikrosekunnista muutamiin millisekunteihin ja suuruudeltaan yleensä korkeintaan 6 kV. Varsinkaan elektroniikka laitteet eivät kestä suurta energiamäärää sisältäviä transienttiylijännitteitä. Elektroniikka laitteille onkin suositeltavaa hankkia ylijännitesuojia herkkien komponenttien suojaksi. Transienttiylijännitteille ei ole asetettu suositusarvoja, sillä syyt ovat usein verkkoyhtiöstä riippumattomia.

Taulukossa 5 on kuvattu yleisimpiä jännitteen häiriötyyppejä, niiden aaltomuotoja ja aiheuttajia.

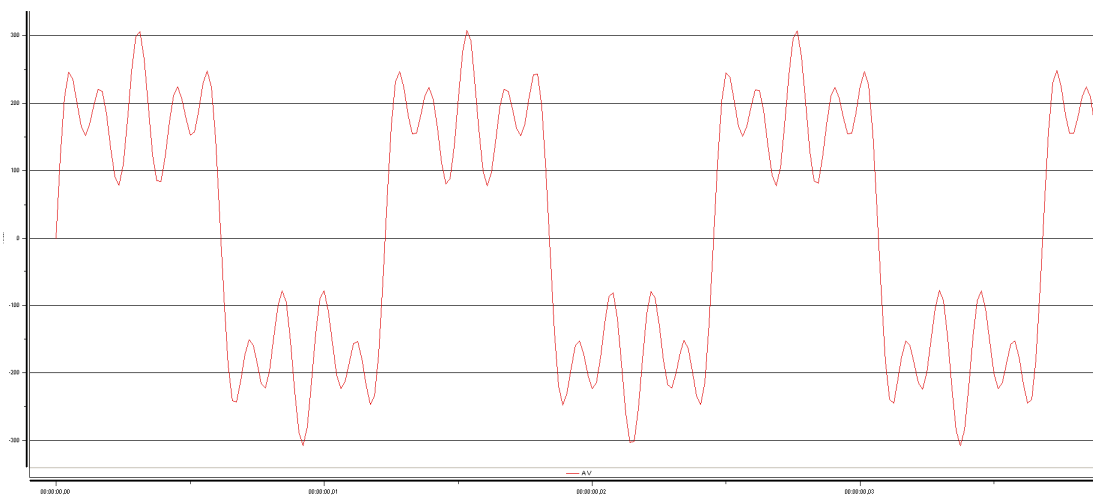
TAULUKKO 5. Jännitteiden häiriötyyppejä (Alanen, Hätönen 2006)

Häiriötyyppi	Kuvaus	Aiheuttajat
Hetkelliset katkokset		Verkon huoltotoimenpiteet, katkaisijan aukeaminen
Jännitekuopat		Suuritehoisten kuormien kytkennät, vika tilanne, induktiivisen kuormat, katkaisijan toiminnot
Hetkelliset ylijännitteet		Verkossa kapasitanssia, kuormien poiskytkentä, verkon vikatilanteet
Transienttijännitteet		Salama ym. häiriöt, kapasitiivinen kuorma, epälineaarinen kuorma
Jaksolliset häiriöt		Tehoelektronikkalaitteet
Välkyntä		Jännitteen vaihtelu, loisteho

#### 4.5 Harmoniset ja epäharmoniset yliaaltojännitteet

Harmoninen yliaaltojännite on sinimuotoisen jakelujännitteen taajuus (50Hz) kokonaisluvulla kerrottuna. Yliaallot summautuvat normaaliin verkkotaajuuteen ja näin aiheuttavat ylimääräisiä häviöitä ja lämpenemistä verkossa ja kuluttajien laitteissa, tästä seurauksena on kuormitettavuuden alentuminen. Yliaallot voivat johtaa myös mittareiden virhenäyttämisiin ja suojaeleiden virhetoimintoihin. Muuntajille yliaallot aiheuttavat tyhjäkäyntihäviöitä, kuormitushäviöitä, sekä kyllästymistä. Harmonisille yliaaltojännitteille on standardoitu suurimmat sallitut arvot aina järjestysluvultaan 25 saakka eli 1250 Hz.

Harmonisia yliaaltoja aiheuttavat tehoelektroniikka mm. taajuudenmuuttajat ja pienoisloistelamput. Myös ylikuormittunut muuntaja voi olla yliaaltojen aiheuttaja. Teollisuudessa suurimmat häiriön aiheuttajat ovat hitsauslaitteet, sähkömoottorit, sekä erilaiset tasasuuntaustekniikan käytöt. Harmonisia yliaaltoja aiheuttavat laitteet ovat epälineaarisia kuormia, jonka syystä niiden ottama virta säröytyy, eikä ole sinimuotoista. Säröytynyt virta saa verkon yliaalto impedanssissa myös jännitteen säröytymään kuvan 2 mukaisesti. Kotitalouksissa kasvava tehoelektroniikan, ATK-laitteiden, sekä pienoisloistelamppujen käyttö lisää harmonisia yliaaltoja.



KUVA 2. Jännitteen aaltomuoto, joka sisältää 3, 5 ja 9 yliaaltoa (Joona Pulkkinen 2011)

Standardi EN-50160 asettaa harmonisille yliaaltojännitteille ylä- rajat liittymiskohdassa. Jakelujännitteen kokonaissärökerroin THD-U tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin 8 %. Tähän sisältyy kaikki harmoniset yliaallot järjestysluvultaan 40 saakka. Yksittäisten yliaaltojännitteiden tulee olla 95 % mittausajasta pienempi tai yhtä suuri kuin taulukossa 6 annetut arvot. Yliaalto mittaus suoritetaan viikon mittaisessa jaksossa, 10 minuutin keskimääräisistä tehollisarvoista.

Särökerroin voidaan laskea matemaattisesti kaavojen 1 ja 2 mukaisesti, kun tiedetään yliaaltopitoiset jännitteet. Laskutapoja on kaksi erilaista, THD- fundamental ja THD- rms. Fundamental laskutavassa yliaaltopitoisuus suhteutetaan perustaajuiseen jännitteeseen, kun rms laskutavalla yliaaltopitoisuus suhteutetaan jännitteen tehollisarvoon.

$$\text{THD}_{\text{fund}} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_1} \quad (1)$$

$$\text{THD}_{\text{RMS}} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}} \quad (2)$$

Yliaaltoja voidaan analysoida matemaattisesti Fourier'n - analyysin avulla, jossa jännitteen perustaajuiseen komponenttiin summataan harmonisia yliaaltoja kaavan 3 mukaisesti.

$$u_t = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \hat{u} \sin(n\omega t + \alpha_n) \quad (3)$$

missä

$n$ = kokonaisluku, taajuuden monikertoja

$\hat{u}$ =jännitteen huippuarvo

$U_0$ =jännitteen tasakomponentti

$t$ = aika

$\omega$ = kulmanopeus

$\alpha_n$ =  $n$ :nnen yliaallon nollavaihekulma

TAULUKKO 6. Standardin antamat harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot liittämiskohdassa prosentteina perustaajuisesta jännitteestä  $u_1$  (SFS-EN 50160)

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. Kokonaissärö THD 8 %.

Epäharmoniset yliaallot syntyvät jakelujännitteen taajuuden kerrannaisista, jotka ovat kokonaislukujen välissä. Epäharmoniset yliaallot syntyvät erittäin epälinearisista kuormista ja ovat vielä harvinaisia, mutta aiheuttavat jo alhaisilla tasoilla merkittävää välkyntää ja häiriötä laitteissa. Epäharmonisiin yliaaltoihin on syytä kiinnittää entistä

enemmän huomiota, sillä kehittyvä tekniikka lisää epäharmonisia yliaaltoja, joihin standardit eivät vielä anna rajoituksia. (Alanen, Hätönen 2006)

#### 4.6 Harmoniset ja epäharmoniset yliaaltovirrat

Yliaaltovirroille SFS-EN50160 ei aseta raja-arvoja. Eurooppalainen IEC/EN 61000 - 3-12- standardi antaa verkkoon yliaaltovirtoja tuottaville laitteille, joiden nimellinen syöttövirta on 16 - 75 A vaihetta kohti, korkeimmat sallitut virran säröprosentit. Kaikkien uusien laitteiden on täytynyt vuodesta 2008 lähtien täyttää nämä vaatimukset. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto antaa verkkoyhtiöille suositellut suurimmat sallitut yliaaltovirta osuudet sähkökäyttäjän liittymän rajapinnassa.

Yliaaltovirrat johtuvat laitteiden sisäisistä rakenteista. Yliaaltovirrat kuormittavat muuntajia ja kaapeleita, jolloin kaapeleiden eristykset voivat pettää, kuumentua ja aiheuttaa tulipalovaaran. Kaapelit ja muuntajat tulisi ylimitoittaa, mikä taas aiheuttaa turhia lisäkustannuksia. Sähköverkon ylimitoittaminen tulee kustannuksiltaan kalliimmaksi kuin yliaaltosuodattimien asentaminen häiriötä aiheuttavien laitteiden yhteyteen. Yliaaltovirta saa impedanssin kautta jännitteen säröytymään, jolloin jännitteen laatu heikkenee.

Sähkömarkkinalain mukaan sähköverkkoyhtiö on luonnollisesti vastuussa jännitteen laadusta, joten sähköverkkoyhtiön tulisi vaatia häiriötä aiheuttavien asiakkaiden hankkimaan asianmukaiset suodatinlaitteen. Yliaaltovirrat eivät aina aiheuta ongelmia juuri mitattavassa kohteessa, vaan ne voivat edetä jakeluverkkoa pitkin muihin kulu- tuspisteisiin ja voivat aiheuttaa ongelmia siellä.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliiton sallitut yliaaltovirrat esitetään yleensä liittymän sulakkeen nimellisvirran mukaan tai lasketaan referenssivirta liittymän perusteella kaavan 4 mukaan.

$$I_{\text{ref}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (4)$$

jossa

$I_{\text{ref}}$  = referenssivirta

$P$  = liittymän pätöteho

$U_n$  = nimellisjännite.

Kaavalla lasketun yliaaltovirtaosuuden mukaan voidaan koko muuntopiirin yliaaltovirtaosuus jakaa kuluttajien kesken.

TAULUKKO 7. Pienjännitesähkökäyttäjän suurimmat sallitut yliaaltovirrat liittymiskohdassa (Sähkö- ja teleurakointiliitto)

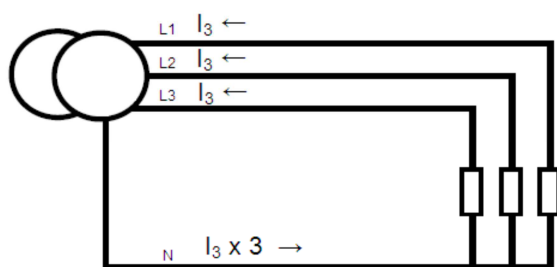
Referenssivirta	Suositeltava raja	
$\leq 25 \text{ A}$	Saa käyttää laitestandardien mukaisia laitteita	
$> 25 \text{ A} - 200 \text{ A}$	Virran harmoninen kokonaissärö saa olla enintään 10 % referenssivirrasta	
$> 200 \text{ A}$	Virran harmoninen kokonaissärö saa olla enintään 8 % referenssivirrasta, mutta kuitenkin vähintään 20 A sallitaan. Lisäksi yksittäisten yliaaltojen osalta:	
	Järjestysluku n	Sallittu arvo referenssivirrasta
	< 11	7,0 %
	11- 16	3,5 %
	17- 22	2,5 %
23- 24	1,0 %	
> 34	0,5 %	

Jakeluverkkoyhtiö voi sopimusehdoissaan asettaa sähkökäyttäjälle taulukon 7 mukaiset ehdot yliaaltovirroille. Taulukon arvot kertovat, kuinka paljon sähkökäyttäjä saa normaalitilanteessa syöttää yliaaltovirtaa verkkoon. Mikäli kuluttaja ylittää raja-arvot, tulee hänen pienentää yliaaltovirtoja esimerkiksi niihin suunnitelluilla suotimilla tai kuluttajan on sovittava verkkoyhtiön kanssa suuremmasta siirtokapasiteetista.

Yliaaltovirroille ei ole varsinasta standardia, joten verkkoyhtiön tulee soveltaa edellä olevaa taulukkoa tapausittain. Yliaalto-osuuksille voi käyttää tapauskohtaisesti soveltamismenettelyjä. Verkkoyhtiö voi joustaa taulukon arvoista esimerkiksi tilanteessa, jossa muuntopiirin verkko-olosuhteet sallivat ylitykset. Tämä voi tulla kyseeseen kun muuntopiirissä on kuluttajia, joista vain yksi tuottaa korkeita yliaaltovirtoja, jotka eivät kuitenkaan vaikuta muuntopiirin kokonaiskuvaan jännitestandardin puitteissa. Tässä tapauksessa yliaaltovirtoja tuottava kuluttaja on velvollinen rajaamaan yliaallot osuutensa mukaiseen määrään, kun muuntopiirin muut asiakkaat tarvitsevat osuutensa verkon yliaaltojen siirtokyvystä. Näin yliaaltolähteitä sisältävä sähkökäyttäjä ikään kuin lainaa muiden muuntopiirinsä sähkökäyttäjien yliaalto-osuuksia. Jokaisen asiakkaan oma yliaalto-osuus lasketaan sen omasta referenssivirrasta.

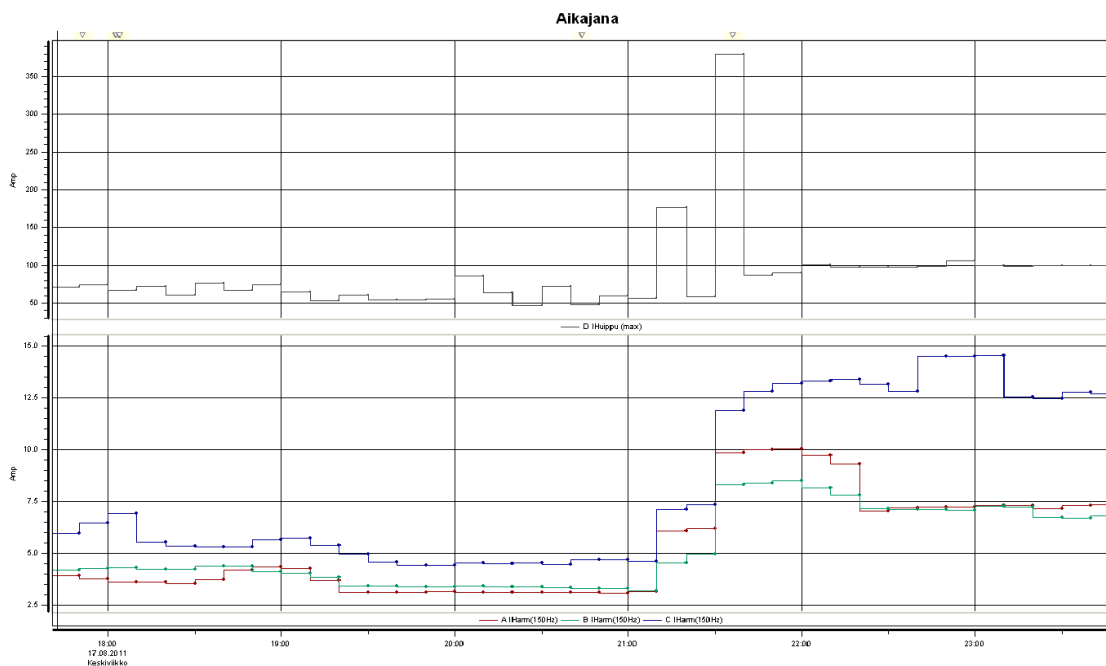
Yliaaltovirrat voivat aiheuttaa nollajohdon ylikuormittumisen. Nollajohdot mitoitetaan yleensä yli 16 Cu ja 25 Al johdinpoikkipinnoilla puoleen äärijohtimen poikkipinnasta, minkä standardi sallii. Normaaliilla symmetrisellä kuormalla nollajohto ei kuormitu lainkaan ja epäsymmetrisellä kuormalla korkeintaan saman verran kuin vaihejohdin.

Kolmella jaolliset harmoniset yliaallot voivat kuormittaa nollajohtoa tehollisarvoltaan enemmän kuin vaihejohtimen tehollisarvo. Vaikka tehollisarvo olisi äärijohtinta pienempi, taajuuden noustessa kuormitus kasvaa ja nollajohdon virran tehollisarvo voi nousta kolminkertaiseksi vaihejohtimen tehollisarvoon nähden. Kuvio 1 havainnollistaa virran summautumisen nollajohtimeen.



KUVIO 1. 3.Yliaaltovirran summautuminen

Verkon mitoituksessa ei ole kymmeniä vuosia sitten otettu huomioon yliaaltovirtoja. Tämän seurauksena ylikuormittunut nollajohdin voi aiheuttaa kaapeleiden päätteiden ja eristeiden haurastumista ja vanhojen öljyeristeisien kaapeleiden öljyvetoja. Ylikuumentuneet kaapelit voivat aiheuttaa tulipalovaaran.

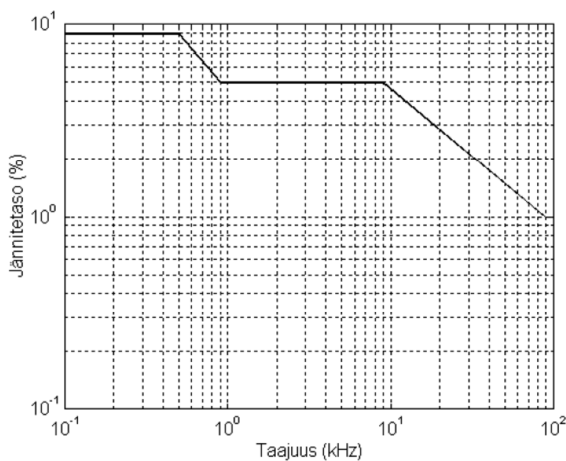


KUVA 3. 3.Yliaaltovirran vaikutus nollajohdon virtaan (Joonas Pulkkinen 2012).

Kuvassa 3 on katuvalojen syttymishetki Kuopiossa Opistotiellä elokuussa 2011. Kuvasta havaitaan 3. yliaaltovirran kasvun nostavan myös nollajohdon virtaa. Tapauksessa nollajohdon virta kasvaa viisinkertaiseksi verrattuna normaaliin tilanteeseen. Nollajohdon virta laskee heti sytytyshetken päätyttyä.

#### 4.7 Verkon signaalijännitteet

Verkkoyhtiöt käyttävät signaalijännitteitä viestin siirtoon pienjänniteverkkoa pitkin. Energiamittareiden siirtyessä etäluenta-aikaan on signaalijännitteiden käyttö kasvanut. Usein muuntopiirin kuluttajien mittaritiedot kerätään sähköverkkoa pitkin signaalijännitteellä muuntajalle, josta ne lähetetään eri yhteysmuotoja käyttäen purettavaksi sähkölaitokselle. Muita signaalijännitteiden käyttökohteita ovat verkon komponenttien kauko-ohjaukset. Kuviossa 2 on EN 50160 -standardin asettamat suurimmat sallitut arvot signaalijännitteelle.



KUVIO 2. Signaalijännite. (SFS-EN 50160, 2010. 24)

Kuviosta 2 nähdään signaalijännitteen maksimiarvo prosentteina perusjännitteestä. Esimerkiksi 1 kHz:n taajuudella maksimisignaalijännite saa olla 9,2 V ja taajuudella 30 kHz signaalijännite saa olla enintään 4,6 V. Signaalijännitteet mitataan 3 sekunnin keskiarvona.

Signaalijännitteiden käyttö viestin siirrossa on lisääntynyt energimittareiden etäluvun myötä. Ongelmaksi on tullut tehoelektroniikan aiheuttamat häiriöt, jotka huomataan korkeilla taajuuksilla mutta ei EN 50160:n määrittelemillä tasoilla. Pahimmillaan mittareiden etäluenta ei ole onnistunut lainkaan Kuopion keskustan alueella. Luennan epäonnistumisen aiheuttajaksi on arvailtu taajuusmuuttajien ja energiansäästölampujen yliaaltoja. (Korhonen 2011.)

Tämän työn mittauksissa on huomattu pienoisloistelamppujen jännitteen harmonisen kokonaissärön olevan hyvä, noin 3 %. Standardin EN 50160 korkein taajuus jolle annetaan suurin sallittu harmoninen jännite, on 1250 Hz. Etäluettavat AMR- mittarit käyttävät 3...95 kHz taajuutta signaalin siirtoon. Hyvästä harmonisen kokonaisjännitteen tasosta voi päätellä, että valmistajat ikään kuin ajavat lamppujen aiheuttamat jännitteen yliaallot korkeammille taajuuksille, jotka häiritsevät signaalijännitteitä käytäviä laitteita. Häiriöt eivät kuitenkaan näy standardin mukaisissa laatumittauksissa. Tätä ilmiötä olisi hyvä tutkia Kuopion Energian pienjänniteverkossa tarkemmin signaalijännitteiden tutkimiseen tarkoitetuilla laitteilla.

#### 4.8 Loisteho

Kokonais- eli näennäistehon muodostaa pätö- ja loisteho. Yksinkertaistettuna loistehoa tarvitsevat laitteet, joissa muodostuu magneettikenttiä. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi moottorit, taajuudenmuuttajat, tehoelektroniikkalaitteet sekä energiansäästölamput ja loistevalaisimet. Loistehon voidaan ajatella pitävän yllä laitteen magneettikenttää, eikä se osallistu varsinaiseen työhön pätötehon tapaan.

Suuri loistehon määrä kuormittaa jakeluverkkoa ja muuntajaa, se heikentää verkon kapasiteettiä siirtää tehoa ja lyhentää verkon komponenttien elinikää. Verkon loistehoa voidaan pienentää kuluttamalla sitä eli käyttämällä erilaisia kompensointiparistoja, jotka tulee mitoittaa oikein kohteeseen sopivaksi; väärin mitoitettu kompensointilaitte voi vahvistaa ongelmia.

Kuopion Energia laskuttaa loistehosta pienjänniteteho- ja tehoasiakkaita. Sopimusehtojen mukaan asiakas on pienjännitetehoasiakas, kun pääsulakkeet ovat vähintään 63 A. Loistehosta laskutetaan tällä hetkellä vain siirtomaksu 2,95 e/ kVAr/ kk, silloin kun loistehon osuus ylittää 20 % pätötehon osuudesta. Kuopion Energia kieltää sopimusehdoissaan asiakasta syöttämästä loistehoa verkkoon päin. Tavallista omakoti-, rivi- tai kerrostaloasiakasta ei yleensä laskuteta loistehosta.

(Kuopion Energian sopimusehdot 2011.)

Loisteholla ja yliaaltovirroilla on usein yhteyksiä toisiinsa, niinpä seuraamalla asiakkaiden loistehojen osuuksia sähkönkulutuksessa voidaan päästä yliaaltojen jäljille. Aina näin ei kuitenkaan ole, sillä asennettu kompensointi laskee loistehon osuutta, pienentämättä kuitenkaan häiriöitä. Kompensointilaitteet voivat jopa kasvattaa häiriötä verkossa.

## 5 KENTTÄMITTAUKSET

Kenttämittausten tarkoituksena oli selvittää Kuopion Energian pienjänniteverkon laatu. Tarkkailussa oli kaikki standardin EN-50160 suureet. Mittauspisteiden valinta oli haastavaa, sillä jokainen mittaus kestää yhden viikon ja aikaa mittauksen suorittamiseen oli rajatusti. Mahdollisia mittaustaikkoja, eli muuntopiirejä oli lähes 800 kappaletta.

Mittauspaikat valittiin sen mukaan, missä arveltiin olevan häiriöitä ja suuria kulutuksia. Näin päätettiin mitata yhteensä 13 muuntopiiriä. Mittauspaikoissa on monipuolisesti teollisuutta, kerrostaloaluetta, liikekiinteistöjä ja omakotitaloalueita. Mittaukset jakautuivat tasaisesti 10 kV ja 20 kV verkoille.

Kesällä 2011 mittaukset täydentyivät kolmella kiinteistön sisäisellä mittauksella ja yhden muuntamon mittauksella. Tapauksissa asiakkaat ilmoittivat jännitteen laatuhäiriöistä Kuopion Energialle. Nämä kohteet otettiin mukaan mittauksiin, joista toinen selittyi mittauksien perusteella yksinkertaisesti ylikuormituksesta, joka aiheutti sulakkeiden palamista. Asia korjattiin liittymän pääsulakkeita suurentamalla, johon syöttökaapelin kapasiteetti vielä riitti.

Toinen ilmoitettu häiriö aiheutti tehotariffi asiakkaan kiinteistössä laitteiden käynti- ja toimintahäiriöitä. Tämä Neulamäen teollisuusalueella sijaitseva yritys kiinteistö käsittää yhteensä 3 eri yksityistä yritystä, joissa vain yhdessä esiintyi häiriöitä. Tämän kohteen häiriönaiheuttajaa etsittiin häiriöistä kärsivän asiakkaan pääkeskukselta, koko kiinteistön pääkeskukselta ja kiinteistöä syöttävältä muuntajalta.

Edellisten mittauksien lisäksi tutkittiin katuvalojen ja pimeän ajan vaikutuksia muuntopiirin jännitteen laatuun.

### 5.1 Mittalaitteet

Mittalaitteina käytettiin kahta erilaista sähköverkon tutkimiseen tarkoitettua analysaattoria. Viikon mittaisiin ja kattaviin laatumittauksiin käytettiin Gossen Metrawattin Mavowatt70 laitetta ja tarkempiin ja lyhytkestoisiin mittauksiin Fluken analysaattoria.

### 5.1.1 Gossen Metrawattin Mavowatt70

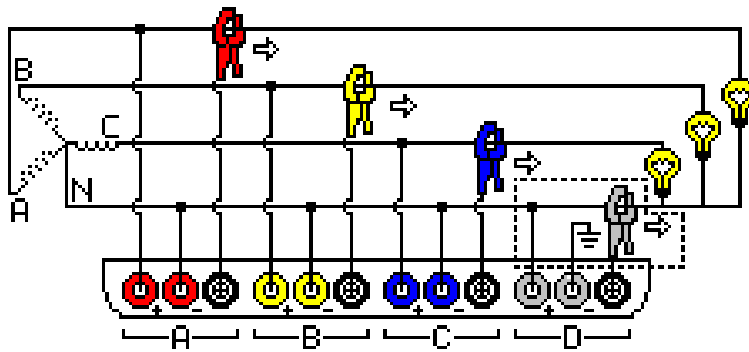
Kuvan 4 Mavowatt70 on kosketusnäyttöinen sähköverkon laatuanalysointilaitteisto, joka vertaa mitattua dataa EN-50160 standardiin. Mittaustuloksia voi analysoida suoraan laitteella tai kätevämmiin tietokoneelle asennetun ohjelman avulla, jolloin tarkka analysointi on mahdollista. Laite tekee raportin mitatusta datasta ja ilmoittaa mahdollisista laatueroista.



KUVA 4. Gossen Metrawattin Mavowatt 70-laatuanalysointilaitteisto (Mavowatt 70 – käyttöohjeet 2011)

Kytkeäminen on helppo ja sen voi määrittää manuaalisesti laitteesta tai antaa laitteen automaattisesti tunnistaa kytkentä. Laite ilmoittaa, onko kytkentä oikein ja antaa erilaisia mittausvaihtoehtoja. Tässä työssä käytettiin aina yhden viikon kestävästä EN-50160-standardiin perustuvaa laatuominaisuutta. Mittaus tallentuu muistikortille, josta data puretaan tietokoneelle. Kytkennät tehtiin muuntamon pienjännitepuolen kiskostoon heti pääkytkimen jälkeen kuvan 5 mukaisesti, jolloin muuntopiirin koko kuormitus saatiin mitattua.

Mitattavia suureita on kaikki jännitteen laadun kannalta tärkeät lajit, kuten jännitetasot, jännitekuopat, harmoniset ja interharmoniset jännitteet ja virrat, välkyntä ja signaalijännitteet ym. Mittari tallentaa myös huonoimpia aaltomuotoja. Laite tarjoaa paljon mahdollisuuksia ja omia vaihtoehtoja mittausten suorittamiseen



KUVA 5. Analysaattorin kytkentä (Mavowatt 70 – käyttöohjeet 2011)

Mittariin voidaan ohjelmoida halutut mittausalueet ja suureet. Laitteen ohjelmiston avulla saatava raportti näyttää selkeästi poikkeamat asetettuihin raja-arvoihin sekä mahdolliset vikapaikat.

### 5.1.2 Fluke 435 -analysaattori

Mittauksissa käytettiin sähköverkon täydentäviin mittauksiin sekä lamppujen sähköisten ominaisuuksien tutkimiseen kuvan 6 Fluke 435 -analysaattoria, joka mittaa samoja suureita kuin Mavowatt70- analysaattori. Fluken muisti on kuitenkin suhteellisen pieni, eikä laitteeseen saa ulkoista muistikorttia, joten mittauksen laajuudesta johtuen, laitteella tehtiin korkeintaan 12 tunnin mittauksia. Fluke onkin parempi pienten laitteiden ja kestoltaan lyhyiden mittauksen suorittamiseen. Mittauksen analysointi tehtiin tietokoneella käyttöliittymän kautta tai suoraan mittarilta.



KUVA 6. Fluke 435 -verkonlaatuanalysaattori.(Fluke 435 -käyttöohjeet 2011)

## 5.2 Havaintoja mittauksista

Mittausten perusteella Kuopion kaupungin pienjänniteverkko on jännitteen laadun osalta pääosin hyvässä kunnossa. Teollisuus- ja keskustan alueella on havaittavissa ajoittain muuntajien ylikuormitusta. Mittalaitteesta saatujen raporttien perusteella jännitteen laatu pysyy standardien rajoissa ja suurelta osin hyvällä tasolla.

Huolestuttavana ilmiönä tulevaisuutta ajatellen voidaan pitää harmonisten yliaaltovirtojen osuutta, sillä useimmissa kohteissa virran THD on yli 20 % nimellisvirrasta. Yliaaltovirrat kuormittavat muuntajaa ja kaapeleita, jotka ylikuumentuessaan vanhenevat ennenaikaisesti. Tämä oli nähtävillä muutamissa kohteissa mm. kaapelipäätteiden öljyvuotoina. Kuopion alueen jakeluverkko on suunniteltu vahvaksi, sillä yliaaltovirrat eivät näy jännitteen puolella. Jännitteen THD on joka paikassa alle 4 %. Yleisesti mittauksissa virtarajat ylittyivät ja jänniterajat alittuivat. Yleensä sähkönkäyttäjät ovat vastuussa virrasta ja verkkoyhtiö jännitteestä, mutta kun yliaaltovirrat aiheuttavat vaurioita ja häiriöitä jakeluverkossa, siirtyy vastuu virrasta myös verkkoyhtiölle. Jännitteen säröprosenttiin tulisi kiinnittää huomiota sen ollessa jo 3 %, sillä se aiheuttaa jo tällöin herkkien laitteiden toimintahäiriöitä ja ylikuormitustilanteita.

(Sähköinfo 2006.)

Verkonhaltija voi määrätä sopimusehdoissaan kuluttajille omat yliaalto-osuudet taulukon 7 mukaan. Taulukon mukaisilla rajoituksilla saataisiin yliaaltovirta-arvot oikeille, alhaisille tasoille ja välttyttäisiin ennenaikaisilta laitteiden vanhenemisilta ja jännitteen laatuongelmilta ja jopa sähköntoimitushäiriöiltä. Tämä on tärkeää, koska yliaaltolähteen omistajan liittämiskohdassa jännitteen käyrämuoto saattaa pysyä hyväksyttävänä. Kuitenkin sen aiheuttamat yliaallot saattavat aiheuttaa jännitteen säröytymisen jossain verkon muussa pisteessä yhdessä muiden käyttäjien yliaaltojen kanssa. Kun verkkoyhtiö asettaa käyttäjilleen yliaaltorajoituksia, säästytään tämäntyyppisiltä ongelmilta, jotka tulevaisuudessa todennäköisesti kasvavat. Tämän työn tuloksista havaittiin myös 3. yliaallon vaikutus nollajohdon kuormittumiseen. Mittarin kytkentöjen yhteydessä oli havaittavissa etenkin keskustan alueella nollajohtojen eristeiden haurastumista ja jopa sulamista.

Mittauksista selviää, kuinka suuret yliaaltovirrat ovat yhteydessä suureen loistehon määrään ja siten huonoon tehokertoimeen. Oikein mitoitetuilla häiriösuotimilla ja kompensointiparistoilla saataisiin verkon siirtokapasiteettia kasvatettua ja verkon laatua parannettua. Mikäli verkkoyhtiö huomaa tai arvioi jännitteen laadussa ongelmia,

pystyy se hyödyntämään uusia etäluettavia energiamittareita, joilla voi lukea kohteen loistehon osuutta ja päästä yliaaltojen jäljille.

### 5.2.1 Muuntajan numero 173 havainnot

Neulamäen teollisuusalueen muuntaja numero 173 on pylväsmuuntaja, joka syöttää teollisuushalleja. Normaali arkipäivän kuormitus on noin 250 kW ja noin 140 kVAr. Muuntajan virtayliaallon osuus, referenssivirran ollessa 700 A, on noin 10 – 12 %. Suurin sallittu arvo on 8 %. Muuntajan kuormitushäviöt kasvavat virtayliaaltojen seurauksena aiheuttaen muuntajan pyörrevirtojen nousua. Tästä seurauksena on muuntajan ennenaikainen vanheneminen ja muuntajan kuormitettavuuden lasku.

Kuten aikaisemmin tuli ilmi, virran kokonaisharmoninen yliaalto-osuus ei aiheuta jännitteen säröytymistä, mikä johtuu vahvaksi eli pieni impedanssiseksi mitoitetusta verkosta. Alla on laskettu esimerkki muuntajan 173 syöttämän kiinteistön virtasäröstä.

Yliaaltovirtoja verrataan virran perusaaltoon. Kiinteistön sulakemitoituksen mukaan referenssivirta on 175 A eli 50 Hz:n perusaalto on 175 A. Yliaaltovirtoja mitattiin seuraavasti:

- $I_3 = 5,5 \% = 7,5 \text{ A}$
- $I_5 = 2,3 \% = 15,5 \text{ A}$
- $I_7 = 1,563 \% = 6,4 \text{ A}$
- $I_9 = 3,447 \% = 2,0 \text{ A}$
- $I_{11} = 0,066 \% = 3,1 \text{ A}$
- $I_{15} = 1,663 \% = 1 \text{ A}$
- $I_{thd_{fund.}} = 17,7 \%$

Mittauksen referenssivirta on 175 A, jolloin suosituksen mukaan suurimmat sallitut yliaaltovirrat saavat olla seuraavia:

- $I_3 = 0,07 * 175 = 12,25 \text{ A}$
- $I_5 = 0,07 * 175 = 12,25 \text{ A}$
- $I_7 = 0,07 * 175 = 12,25 \text{ A}$
- $I_9 = 0,07 * 175 = 12,25 \text{ A}$
- $I_{11} = 0,035 * 175 = 6,13 \text{ A}$
- $I_{15} = 0,035 * 175 = 6,13 \text{ A}$
- $I_{thd_{fund.}} = 175 \text{ A} * 0,1 = 17,5 \%$

Tuloksista havaitaan viidennen harmonisen yliaaltovirran olevan sallittua korkeammalla, myös kokonaissärö on mittauksen aikana hieman sallittua korkeammalla.

Muuntopiirin 173 yhdellä sähkökäyttäjällä oli jännitteen laadussa häiriöitä, jotka tutkittiin analysointorilla asiakkaan pääkeskuksella sekä koko kiinteistön pääkeskuksella. Tulokset ovat taulukossa 8, joista havaittiin loistehon osuuden olevan asiakkaan näennäistehosta yli 50 %. Mittauksissa selvisi myös yliaaltovirtojen suuri osuus, joka oli yli 100 % referenssivirrasta normaalina työaikana.

TAULUKKO 8 Rautakadun jännitteenseuranta

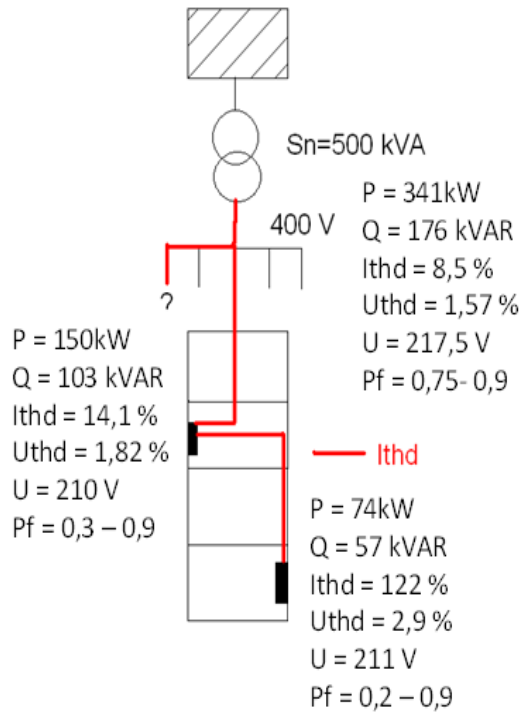
Suure	Kuluttaja		Kiinteistö		Muuntaja	
	Maks. (Min.)	Keskiarvo	Maks. (Min.)	Keskiarvo	Maks. (Min.)	Keskiarvo
<b>Teho, kW</b>	74	22	150	55	341	227
<b>Loisteho, kVAr</b>	+56,5	+20	+103	+49	+176	+120
<b>Tehokerroin, PF</b>	(-0.5)	0,4	(0.35)	0,71	(0.79)	0.88
<b>Virta, A</b>	143	55	323	120	778	407
<b>Jännite, V</b>	(211)	220	(210)	220,5	(217,5)	222
<b>THD,V %</b>	3,58	-	2,3	1,77	2,3	1,59
<b>THD,I %</b>	122	-	14,1	11,13	12	9,16

Tuloksista pääteltiin kuluttajan omien laitteiden aiheuttavan häiriöt, jotka tulisi suodattaa pois. Myös loistehon kompensointia suositeltiin, sillä erään tehotariffi asiakkaan sähkölaskusta yli puolet muodostui loistehon siirtomaksuista. Suuren loistehon ja yliaaltovirtojen osuuden takia yritystä syöttävä verkko ylikuormittuu, jonka seurauksen syntyy jännitteen alenemia. Vaihejännite laski mittauksen aikana alimmillaan 210 V:n tasolle. Monesta yrityksestä huolimatta varsinaista häiriötilannetta ei saatu tallennettua analysointorille, mutta mitatusta datasta saatiin riittävästi tietoa yrityksen heikosta jännitteen laadusta. Häiriötilanteessa jännite laskee todennäköisesti reilusti alle mitatun 210 V, joka ei riitä laitteille toimiakseen oikein. Tässä tapauksessa verkkoyhtiön toimittamassa jännitteen laadussa ei ollut moitittavaa.

Yrityksen aiheuttamat häiriöt näkyvät koko kiinteistön pääkeskuksella jännitteen alenemina ja virtasärönä. Yritys kuluttaa lähes puolet koko kiinteistön loistehosta. Muut kiinteistön yritykset eivät ole ilmoittaneet heikosta sähkön laadusta. Mikäli ilmoi-

tuksia tulee, on Kuopion Energialla mahdollisuus vaatia häiriöitä tuottavan yrityksen alentamaan häiriöitä mm. suotimia käyttäen. Tämä vaatimus perustuu sähköturvallisuuslain kohtiin 47 §...51 § ja Kuopion Energian sopimusehtoihin.

(Kuopion Energia 2012, Sopimusehdot)



KUVIO 3. Rautakadun jännitehäiriöt

Kuvio 3 havainnollistaa, etteivät alimpana kuvassa olevan yrityksen häiriöt näy juuriin muuntajalla 173. Muuntajan virtasäro on koholla, mutta jännitetaso on sallituissa rajoissa eikä jännitteen notkahduksia näy samalla tavalla kuin kiinteistön pääkeskuskella. Virtasäro laskee mentäessä lähemmäksi muuntajaa. Tämän selittävät kaapeleiden impedanssit ja muuntajan kuormituksen mukaan muuttuva impedanssi. Kuormituksen kasvaessa muuntajan impedanssi kasvaa, mikä saa ohmin lain mukaan virtasäron laskemaan. Mitä kauempana muuntajasta mittaus tehdään, sitä vähemmän muuntajan impedanssi vaikuttaa virtasäroön. Muuntajan ylikuormitus aiheuttaa päinvastaisen ilmiön eli se saa virtasäron kasvamaan. Lisämittauksilla voi tulevaisuudessa tutkia, aiheuttaako suuri virran THD jossain muuntopiirin toisessa pisteessä resonanssitilanteita ja jännitteen säröytymistä.

### 5.2.2 Muuntajan numero 210 kesä ja talvi vertailu

Muuntaja numero 210 sijaitsee Saaristokaupungissa Isännäntiellä. Muuntaja syöttää omakotitaloasiakkaita. Kohteessa selvitettiin, onko pimeän aikaan lisääntyvällä valaistuksen käytöllä vaikutusta jännitteen laatuun. Perinteisten hehkulamppujen käyttö

kasvattaa ainoastaan pätötehon kulutusta. Tällä mittauksella haluttiin saada selville, aiheuttavatko uudet energiansäästölamput induktiivisen loistehon kasvun ohella muita häiriöitä jännitteeseen.

Mittauksista havaittiin, ettei valaistuksen lisäämisellä ole suurta merkitystä jännitteen laatuun. Taulukosta 9 nähdään kulutuksen ja tehon kasvaneen, mutta harmonisissa yliaalloissa ei ole tapahtunut muutosta suurempaan. Kesäajan mittauksessa induktiivista loistehoa oli korkeimmillaan 10,7 kVAr. Pimeällä induktiivinen loisteho on ajoittain kaksinkertainen kesäaikaan verrattuna, mikä viittaa energiansäästölamppujen käytön lisääntymiseen. Loistehon kasvu on laskenut tehokerrointa.

Yliaaltojen odotettiin kasvavan kesäisistä arvoista. Työn laboratorio-osiossa tutkittiin mm. lamppujen yliaaltokäyttämistä ja tuloksista saatiin vastauksia muun muassa tämän mittauksen pienentyneisiin yliaaltotuloksiin. Myös muuntajan kuormituksen aiheuttama kasvanut impedanssi on pienentänyt virran ja jännitteen kokonaissäröä.

TAULUKKO 9. Kesä ja Talvi vertailu, vaihe L1

Mitattava Suure	Kesä 2011		Syksy/Talvi 2011	
	Maks. (Min.)	Keskiarvo	Maks. (Min.)	Keskiarvo
<b>Teho, kW</b>	70	34,5	<b>114</b>	<b>50</b>
<b>Loisteho, kVAr</b>	+10,7	+4,4	<b>+22,4</b>	<b>+6,7</b>
<b>Tehokerroin, PF</b>	(0.915)	0,99	<b>(0.911)</b>	<b>0.98</b>
<b>Virta, A</b>	138	63	<b>191</b>	<b>85</b>
<b>Jännite, V</b>	<b>(200)</b>	227,8	(222,4)	<b>226,9</b>
<b>THD,V %</b>	<b>2,27</b>	<b>1,72</b>	2,1	1,34
<b>THD,I %</b>	19,1	<b>18,43</b>	17,24	17,05

Taulukon 9 tehoarvot ovat muuntajan kokonaistehoja kaikilta vaiheilta. Jännite, virta ja harmoniset tiedot ovat vaiheen L1 tietoja.

### 5.2.3 Muuntaja numero 57 ja katuvalaistus

Muuntaja numero 57 sijaitsee Opistotiellä Klassisen lyseon tiloissa. Muuntopiirillä tutkittiin uusien katuvalaisimien vaikutusta jännitteen laatuun.

Mittaus toteutettiin kahdella mittalaitteella. Mavowatt70-analysaattorilla mitattiin yhden viikon kestävästä analysointia koko muuntopiiriltä ja Fluke:lla tehtiin vuorokauden kestävä mittaus ulkovalokeskukselta.

TAULUKKO 10. Ulkovalaistuksen vaikutus muuntopiiriin

Suure	Valaistuskeskus	Muuntaja
I, (A)	35, [50]	50 - 85, [125]
U, (V)	232,5 – 237, [235,5]	233 - 237,5, [235,2]
P, (kW)	17	43,5
Q, (kVAr)	+3, [+8]	+8,4, [+13]
THDU,(%)	1,2 - 2, [2,13]	1,2 – 1,6, [2,10]
THDI,(%)	20 - 24, [18,6]	16 - 22, [15,1]
Cosφ	0,98, [0,51]	0,96, [0,78]

Taulukon 10 tulokset ovat yhden yön tuloksia, jolloin katuvalaistus oli päällä noin kello 22.00 – 04.00. Suluissa olevat luvut ovat lamppujen syttymishetken arvoja. Uudet katuvalot aiheuttavat suuren virtasärön, joka näkyy myös muuntajan pj- kiskostossa. Valaisimien kompensointi on toteutettu erinomaisesti, sillä tehokerroin on hyvä. Ainoastaan lampun käynnistystapahtuman aikana tehokerroin tippuu alas, lampun lämmitessä tehokerroin asettuu oikealle kohdalle. Lamppujen sytytystapahtuma aiheuttaa muuntamolla 3.yliaaltovirran kasvun, mikä vaikuttaa merkittävästi myös nolalajohdon virtaan. Tästä aiheesta on työn luvussa 4.6.

### 5.3 Laaturaportti

Jokaiselle tutkittavalle muuntopiirille tehtiin analysointilaitteen avulla laaturaportti, josta on tiivistetty malli liitteenä (liite1). Kaikki mittauksissa olleiden muuntopiirien laajat laaturaportit ovat työn mukana liitteenä erillisellä cd- levyllä.

Laaturaportti sisältää standardin EN-50160 suureet, teho ja energiatiedot, sekä aaltomuotoja mahdollisista jännitekuopista ja transientti jännitteistä.

## 6 LABORATORIOMITTAUKSET

Lamppujen laboratoriomittauksissa tutkittiin uusien energiaa säästävien pienoisloistese- sekä LED-lamppujen sähköisiä ominaisuuksia, käynnistystapahtumia ja valais- tusominaisuuksia. Tutkittaviksi lamppuiksi valittiin monipuolisesti eniten markkinoilla käytettyjä lamppuja. Hintahaitari oli 0,99 eurosta 30 euroon.

Mittauksista selvitettiin, onko lamppujen kompensointi ja häiriönpoisto toteutettu ja ovatko valmistajien antamat tehot ja valaistusvoimakkuudet todenperäisiä. Mittauk- sissa selvitettiin myös onko usean lampun sarjaan kytkennällä yhteisvaikutuksia ar- voihin. Lopuksi arvioidaan LED- ja pienoisloistelamppujen todellisia kustannuksia kuluttajalle.

Tutkittavat lamppuja oli kuusi kappaletta:

1. 11 W Pienoisloiste- lamppu, 1,00 euroa
2. 6 W LED- lamppu, 29,90 euroa
3. 7 W Pienoisloiste- lamppu, 7,00 euroa
4. 20 W Pienoisloiste- lamppu ulkokäyttöön, 13,10 euroa
5. 3x1 W LED- polttimo, 19,90 euroa
6. 6 W Kylmäkatodilamppu, 7,00 euroa

### 6.1 Sähköisten ominaisuuksien mittaus

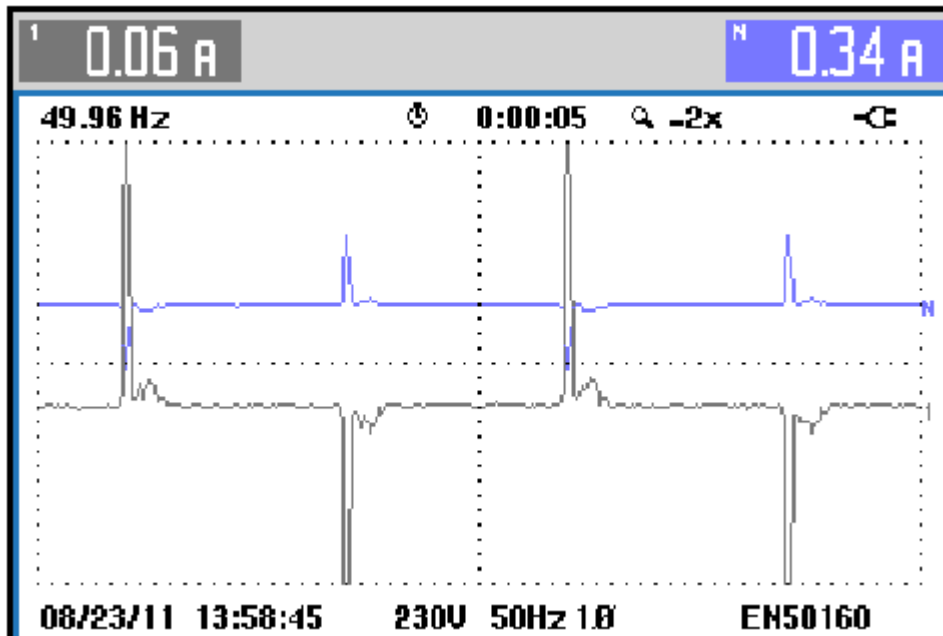
Lamppujen sähköisiä suureita mitattiin Fluke 435 –analysointimittarilla ja Fluke 41 – harmonisten yliaaltojen analysointiin tarkoitetulla mittarilla. Mittauksista saatiin lamp- pujen tehotiedot, jännitteen laatutiedot sekä käynnistystapahtumat. Fluke tallentaa käynnistystapahtuman mittaamalla virran tehollisarvoa, tarkempi käynnistysvirtapiikki saatiin käyttämällä oskilloskooppia.

## TAULUKKO11. Lamppujen mittaustulokset

Lamppu	Teho(W), valmistaja	Teho(W), mitattu	Lois-teho (VAr)	Näennäis-teho VA	Virta, mA	Virta, mA nollajohdin	cosφ	Käynnistyspiikki, mA	ITHD %
1	11	11	18	21	90	111	0,52	1800	126
2	6	5	18	19	74,6	100	0,26	3840	250
3	7	8	13	15	65	333	0,53	3750	110,9
4	20	21	33	38	163	170	0,55	3840	139,5
5	3	4	14	15	60	80	0,27	3720	286
6	6	7	7	9	50	70	0,78	2340	31,3

Taulukossa 11 olevien tulosten perusteella voi sanoa energiansäästölamppujen aiheuttavan vähemmän virtasäröä kuin LED-lamppujen. Käynnistysvirta on pahimmillaan LED-lampuilla, joilla se voi mittausten mukaan olla 4 A, eli noin 50 -kertainen nimellisvirtaan nähden (liite 2).

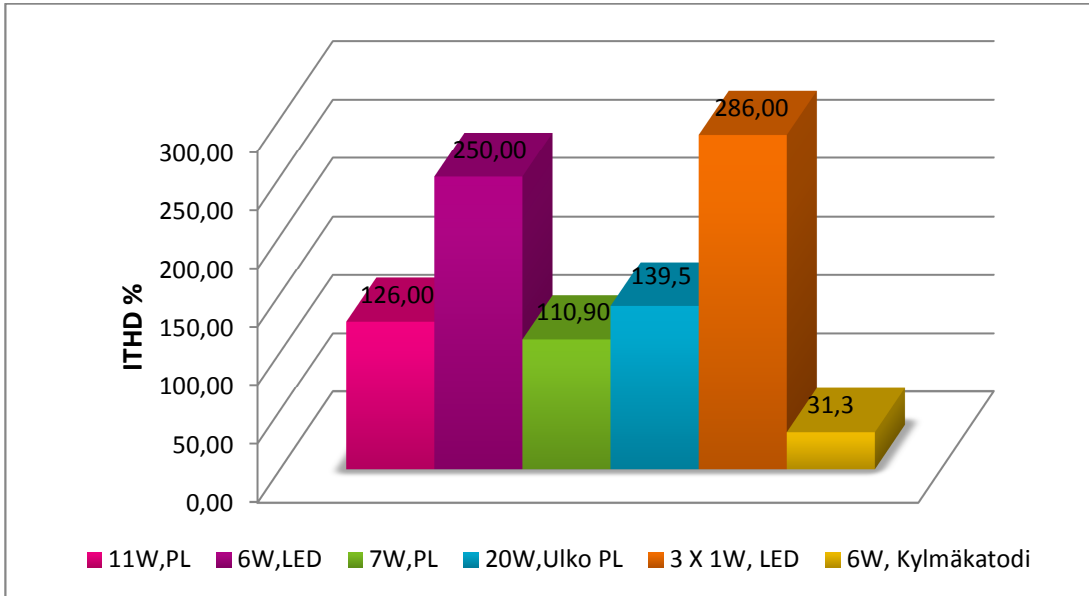
Kuvassa 7 näkyy erään pienoisloiste lampun numero 3 noin 110 prosentin virtasärön aiheuttamat ilmiöt virran aaltomuodossa. Ilman säröä aaltomuoto seuraisi normaalia sinikäyrää.



KUVA 7. Lampun numero 3. virran aaltomuoto

Lampun edullisella hinnalla ei ole merkitystä käynnistystapahtumaan tai muihin ominaisuuksiin. Arvokkain pienoisloistelamppu numero 3 näyttää aiheuttavan hiukan vähemmän harmonista yliaaltovirtaa, kuin yhden euron arvoinen pienoisloistelamppu numero 1. Mittausten perusteella häiriönpoistoon ja kompensointiin ei ole panostettu

yhdessäkään tutkittavassa lampussa riittävästi tai tuskin lainkaan. Luultavasti näin on säästetty kustannuksissa jotta hinta ei nouse kuluttajalle liian korkeaksi. Kuviosta 4 nähdään, kuinka erityisen suuret häiriöt ja huonot tehokertoimet ovat LED-lampuissa, joiden hinta on suhteellisen korkea pienoistoitevalaisimiin nähden. Varsinkin LED-lamput kehittyvät kovalla vauhdilla, joka tarkoittaa tulevaisuudessa toivottavasti myös pienempiä häiriöitä.



KUVIO 4. Virtasärö

Mittaustuloksista selvitettiin, ettei jännitteen kokonaisharmoninen jännitesärö nouse lampuilla yli 3,2 %. Lamppujen valmistajat ovat voineet saada lamppujen aiheuttamat harmoniset yliaaltojännitteen johdettua korkeammille taajuuksille, jotka ovat niin korkeita, etteivät ne näy standardin EN-50160 rajojen sisäpuolella. Tarkempaan korkeiden taajuuksien signaalijännitteiden tutkimiseen tarvitaan spektrianalysaattoria.

## 6.2 Lamppujen sarjakytkentä

Testissä käytettiin sekaisin pienoistoite- ja LED-lamppuja. Yhdistelmät olivat seuraavat:

- A. Lamppu 1 + Lamppu 2 + Lamppu 3
- B. Lamppu 1 + Lamppu 3 + Lamppu 4
- C. Lamppu 2 + Lamppu 5 + Lamppu 6

TAULUKKO 12. Sarjaankytketyt lamput

Suure	A	B	C
I, mA	180 (229,6)	290 (318)	140 (184,6)
P, W	24 (24)	38 (40)	15 (16)
S, Va	42 (55)	65 (74)	31 (43)
Q, VAr	34 (49)	52 (64)	27 (42)
THD, I %	119,5 (489,9)	121,3 (376,4)	149,4 (567,3)
THD, U %	3,1 (9,5)	3,2 (9,7)	3,2 (9,4)

Taulukossa 12 on tietoja sarjakytketyistä lampuista. Suluissa olevat lukemat ovat summa yksittäisistä lamppumittauksista.

Tulosten perusteella pätötehot summautuvat lähes suoraan toisiinsa. Eroja tulee loistehojen sekä virtojen summautumisessa. Virtojen summan pienentyminen on suoraan yhteydessä virran säröytymisen pienentymiseen. Lamppujen yliaaltovirrat näyttävät kumoavan toisiaan, minkä vuoksi kokonaissärö pienenee. Virtojen kumoutuminen johtuu lamppujen erilaisista vaihekulmista. Tämä virtasärön pienentymisilmiö huomattiin myös aikaisemmassa pimeänajanmittauksessa: virtasärö pieneni, vaikka valaistuskorma kasvoi. Virtasärön tarkempi tutkiminen vaatisi enemmän mittauksia samanlaisilla valaisimilla.

### 6.3 Valaistusominaisuudet

Lamppujen valovirrat mitattiin kuvan 8 Ulbrightin pallolla ja arvoja verrattiin valmistajan antamiin lukemiin. Lamppu kiinnitettiin Ulbrightin pallon sisällä olevaan telineeseen ja mittauksen ajaksi pallon luukku suljettiin. Seuraavaksi kytkettiin jännite lampun telineen kantaan ja odoteltiin eri lamppujen ominaisuuksista riippuva aika, joka meni lampun lämpenemiseen. Näin saatiin todenperäinen tulos.



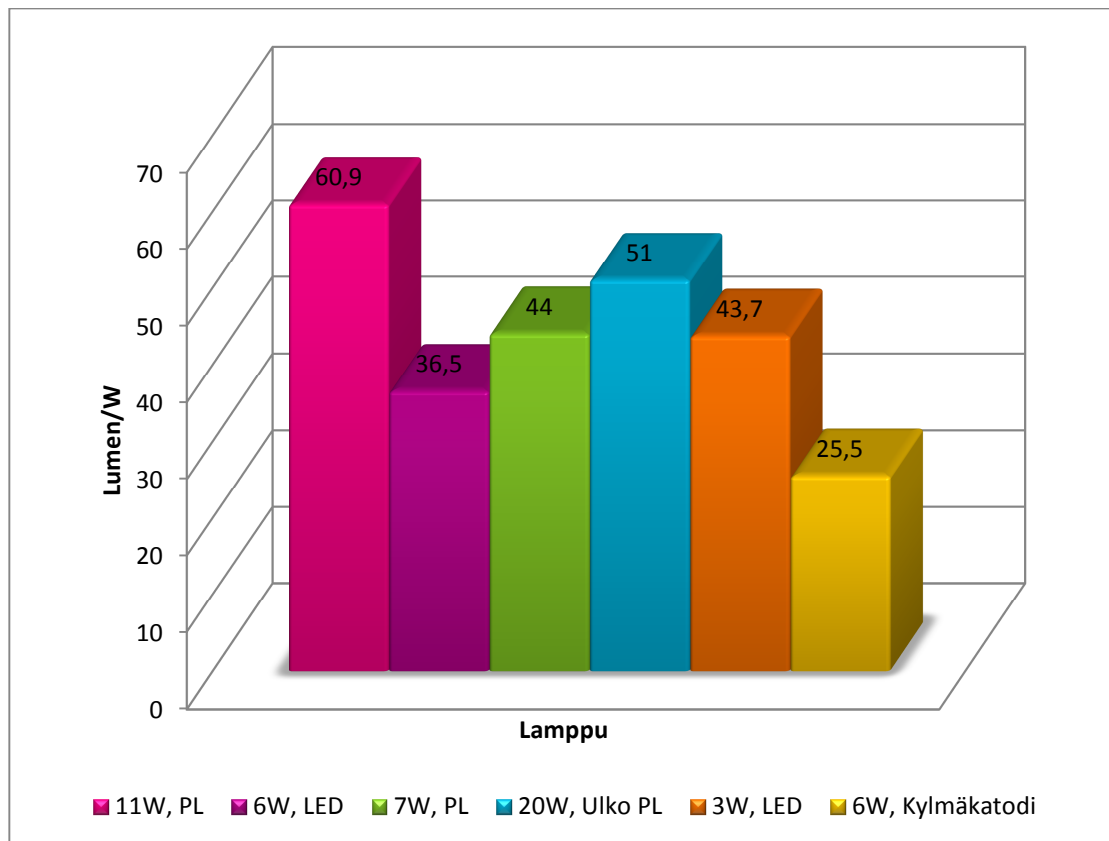
KUVA 8. Ulbrightin pallo (Joona Pulkkinen 2012)

Ulbrightin pallosta saatu tulos luettiin mittalaitteelta (taulukko 13). Taulukosta nähdään, kuinka mitattujen ja valmistajien ilmoittamien valovirtojen erot jakautuvat melko tasaisesti lamppujen kesken. Yhden lampun valmistaja ei ilmoita valovirtaa. Huomioitavaa on edullisimman lampun valmistajan ilmoittamaa huomattavasti suurempi mitattu valovirta.

TAULUKKO 13. Valovirta

Lamppu	Lm, Valmistaja	Lm, Mitattu	Lm/W
1	550	648/ +17,8 %	60,9
2	250	219/ -12,4 %	36,5
3	360	308/ -14,4 %	44
4	1200	1020/ -15 %	51
5	120	131/ +9,2 %	43,7
6	-	153	25,5

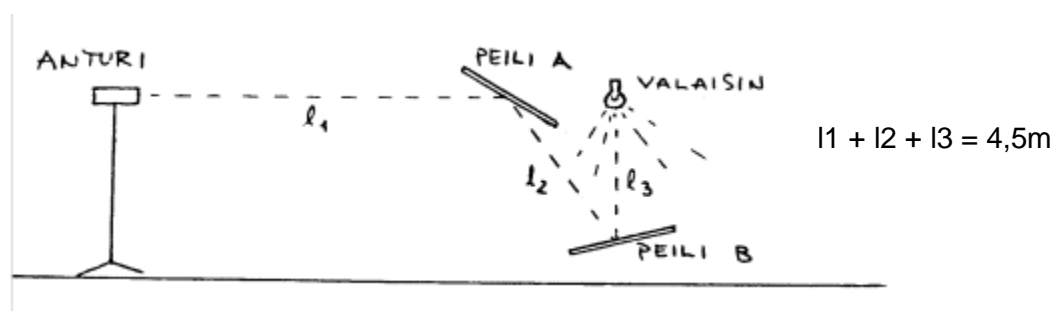
Lamppujen keskinäinen vertailu kuviossa 5 havainnollistaa edullisimman energiansäästölamppun parhaan valovirran 1 W tehoa kohti. Huomioitavaa on myös arvokkaiden LED-lamppujen huonot tulokset.



KUVIO 5. Lamppujen valovirta/ 1 W

### 6.3.1 Valaistusvoimakkuuden laskenta

Valaistusvoimakkuus laskettiin Rousseau'n menetelmällä. Mittaus tehtiin pimeässä huoneessa kuvan 9 mukaisesti kuvan 10 mittaustelineen avulla. Mittauksen tuloksista piirrettiin valonjakokäyrät, jolloin lamppujen valaistusominaisuuksia on helppo vertailla keskenään



KUVA 9. Valaistusvoimakkuusmittaus. (Savonia-ammattikorkeakoulu, laboratoriotyöohjeet.)

Mittaus suoritettiin lampun normaalissa käyttöasennossa. Peilien kulmaa säädettiin  $0 \dots 180^\circ$ . Anturilta saatiin valaistusvoimakkuus ( $I_x$ ) halutussa suunnassa.



KUVA 10. Valaistusmittausteline (Joono Pulkkinen 2012)

Kaikki lamput mitattiin samoissa olosuhteissa. Alla olevat taulukon 14 tulokset ovat lampun 1 mittauksesta.

TAULUKKO 14. Lampun 1 Valaistusvoimakkuus

Poikkeama pystytasosta (°)	E/lx
0	0,85
22,5	1,16
45	1,43
67,5	1,54
90	1,47
112,5	1,3
135	0,96
157,5	0,53
180	0,38

Seuraavaksi laskettiin valaistusvoimakkuudet sektoreittain. Valovirta Rousseau'n menetelmällä laskettiin kaavalla 5.

$$\Phi = 2\pi r^2 \sum_{i=1}^n E \left\{ \frac{90^\circ * (2i-1)}{n} \right\} \left[ \cos \left( \frac{90^\circ}{n} (2i-2) \right) - \cos \left( \frac{90^\circ}{n} 2i \right) \right], \quad (5)$$

jossa r on säde valaisimelta anturille (4,5 m).

TAULUKKO 15. Lampun 1 valaistusvoimakkuus

i	$\gamma/^\circ$	E/lx	Valovirta Rosseau'n menetelmällä/lm
1	11,25°	1,005	17,3
2	33,75°	1,295	63,5
3	56,25°	1,485	109
4	78,75°	1,505	130,3
5	101,25°	1,385	119,9
6	123,78°	1,13	82,9
7	146,25°	0,745	36,5
8	168,75°	0,455	7,8
		yht.	567,2

Taulukon 15 valovirta-arvot eli termit E/lx on laskettu taulukon 14 arvoista. Arvot on sijoitettu kaavan 5 termin E paikalle. Tuloksena on saatu valovirta lampun tuottaman pallon mitattavalle sektorille.

Yhteenlaskettuna sektoreista saadaan noin 567 lm, jota voidaan pitää oikeana, kun sitä verrataan valmistajan ilmoittamaan ja taulukon 13, Ulbrightin pallolla saatuun tulokseen. Ero Ulbrightin pallolla saatuun tulokseen selittyy hieman vanhanaikaisesta mittauslaitteistosta.

### 6.3.2 Valonjakokäyrä

Valonlähteen valon jakautumista eri suuntiin voidaan kuvata valonjakokäyrän avulla. Valonjakokäyrän valovoima-asteikko skaalataan vastaamaan lamppua, josta lähtee 1000 lm valovirta. Kun kaikkien eri lamppujen valonjakokäyrät on piirretty lampun 1000 lm kohti, ovat ne näin vertailukelpoisia keskenään.

Valonjakokäyrä määritellään valaistusvoimakkuuden kaavasta 6:

$$E = \frac{I}{r^2} \rightarrow I = E * r^2 \quad (6)$$

jossa E = valaistusvoimakkuus  
I = valovirta  
r = matka lampusta mittausanturiin

Valovirta skaalataan kaavalla 7 valonjakokäyrään:

$$I = \frac{1000}{567,2} * E(lx) * 4,5 \text{ m}^2 \quad (7)$$

jossa  $E(lx)$  = valaistusvoimakkuus taulukon 16 mukaan.

Skaalauksessa käytettävä valovirran arvo saatiin Rosseau'n kaavalla laskemalla. Seuraavaksi lasketaan valaistusvoimakkuudet sektoreittain kaavalla 7. Taulukossa 16 on eritelty lampun 1 valonjakokäyrän pisteet.

TAULUKKO 16. Valonjakokäyrän valaistusvoimakkuudet sektoreittain

$\mu/^\circ$	$E/lx/1000lm$	$I/cd/klm$
0	1,55	55,33
22,5	2,11	75,33
45	2,60	92,82
67,5	2,80	99,96
90	2,67	95,32
112,5	2,36	84,21
135	1,75	62,48
157,5	0,96	34,26
180	0,69	24,62

Laskettujen valaistusvoimakkuuksien mukaan piirretään valonjakokäyrä sopivalla skaalauksella. Valonjakokäyrän avulla voi vertailla erilaisten lamppujen antamaa valaistusvaruutta. Esimerkiksi yleisvalaistustarkoitukseen lampun tulisi antaa tasainen valaistusvoimakkuus joka suuntaan ja kohdevalaistustarkoitukseen riittää kapeampi valonjako.

Piirrettyjen valonjakokäyrien mukaan pienoisloistelamput antavat tasaisemman valonjakokäyrän kuin LED-lamput. Näin ne soveltuvatkin paremmin yleisvalaistukseen (liite 2).

#### 6.4 LED- ja hehkulampun käyttökustannusten vertailu

LED-lamppuja mainostetaan yleisesti energiapiheiksi ja pitkän eliniän omaaviksi lamppuiksi. Vertaillaan työssä tutkittua 6 W LED-, 11 W pienoisloiste, 7 W pienoisloiste-, sekä perinteistä 60 W hehkulamppua. Kaikki lamput on tarkoitettu kodin yleisvalaistukseen. Laskelmat tehtiin erikseen sähkö- ja kaukolämmitteiseen koh-

teeseen. Laskelmissa käytettiin Kuopion Energian vuoden 2011 ja 2012 sähkö- ja kaukolämpöenergian yleissopimushintoja, jotka ovat saatavilla Kuopion Energian Internet sivuilta. Laskennassa otettiin huomioon lamppujen asunnon lämmitykseen tuottama energia. LED- ja pienoisloistelampuille arvioitiin lämmitystehoksi 0,7 kertaa lampun teho. Hehkulampun lämmitysteho on laskettu samalla kertoimella. Todellisuudessa hehkulampun lämmitysteho voi olla 95 % lampun tehosta. Lämmityskuukausiksi laskettiin seitsemän kuukautta vuodesta. Alla olevassa taulukossa 17 on lähtötietoja LED- ja hehkulampun laskelmiin.

(Lampputieto 2010)

Taulukko 17. Vertailun lähtötiedot

	Hehku	LED
Teho (W)	60	6
Lämmitysteho (W)	42	4,2
Sähköenergia (€/kWh)	0,07	0,07
Kaukolämpöenergia (€/kWh)	0,0469	0,0469
Hinta (€/kpl)	1	30
Elinikä (h)	1 000	30 000
Polttoaika/päivä (h)	4	4
Lämmityshyöty (kk)	7	7

Lasketaan esimerkki sähkölämmitteisen kohteen LED-lampun kustannuksista kahden vuoden kuluttua sen käyttöönotosta. Kustannuksiin on lisätty lämmitykseen kuluva sähköenergia, jonka hehkulamppu olisi samassa ajassa tuottanut.

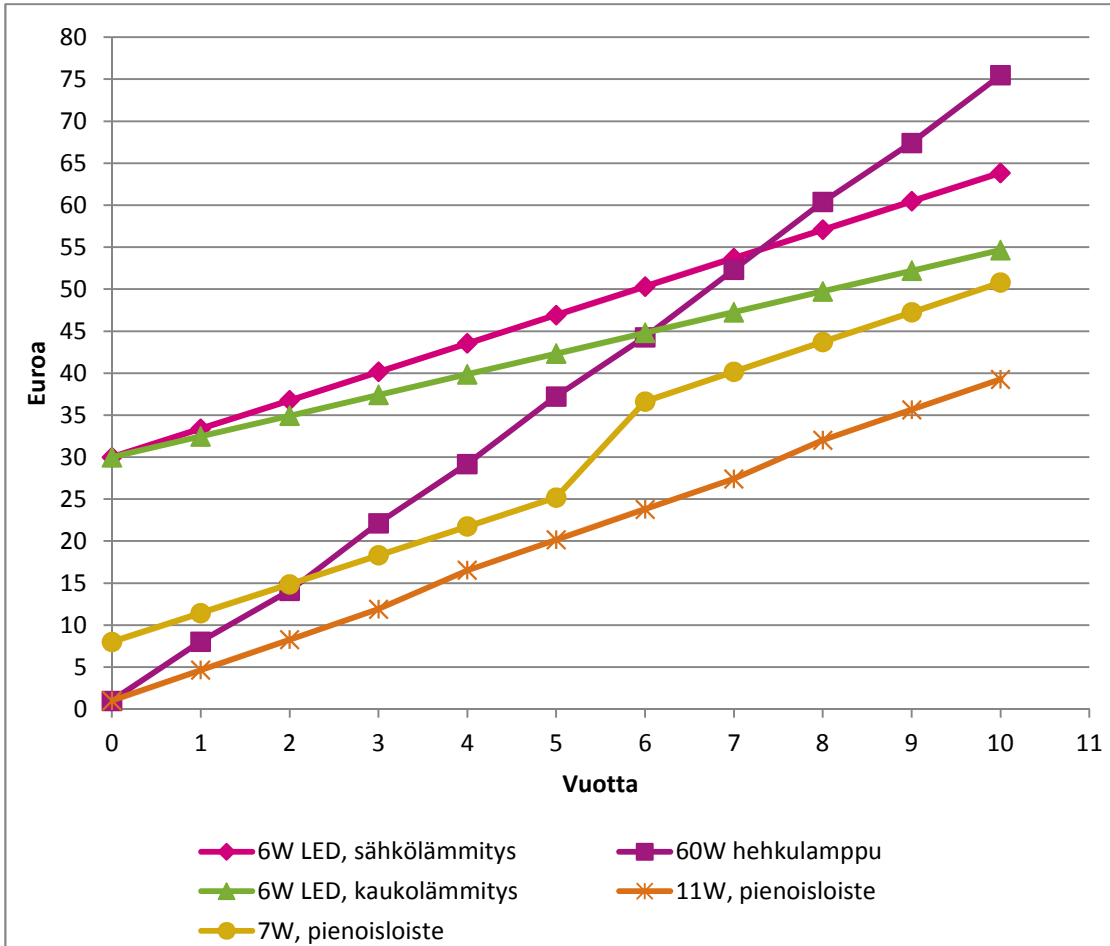
$Kustannus_{2v} = \text{Hankintahinta} + \text{sähköenergia} + \text{lämmitysenergia(hehkulamppu - LED)}$

$$Kustannus_{2v} = 30\text{€} + (6\text{W} * 1440\text{h} * 2) * 0,07 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} + \left( (42\text{W} - 4,2\text{W}) * 1050\text{h} * 2 * 0,07 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) = 36,77 \text{€} \quad (8)$$

Tuloksesta huomataan, että sähköenergian osuudeksi kustannuksista jää vajaat seitsemän euroa

Kaavan 8 mukaisella tavalla laskettiin tutkittaville lamppuille käyttökustannukset 10 vuoden ajalle sähkö- ja kaukolämmitteiseen kohteeseen. Laskelmilla saatiin kuvion 6 mukaiset tulokset. Tuloksien mukaan kaukolämmitteisessä asunnossa LED-lamppu

maksaa hintansa takaisin noin kuudessa vuodessa ja sähkölämmitteisessä talossa reilussa 7 vuodessa. LED-lampun valmistajan ilmoittamalla eliniällä lampun pitäisi kestää yli 20 vuotta. Hehkulampun elinikä 4 tunnin päiväpoltolla on noin 250 päivää. 10 vuoden aikana hehkulamppuja kuluisi 15 kappaletta.



KUVIO 6. LED- ja hehkulampun vertailu

Tulos on optimistinen LED-lampulle, koska hehkulampusta saatu lämmityshyöty on todennäköisesti parempi, kuin laskelmissa käytetty lämpökerroin. Myös LED-lampun lämpöhyöty voi todellisuudessa olla pienempi kuin 0,7 kertaa lampun teho. Mikäli LED-lampun todellinen lämpöhyöty on 0,3 kertaa lampun teho, maksaisi se sähkölämmitteissä kohteessa itsensä muutamaa kuukautta myöhemmin, kuin mitä kuvio 6 näyttää.

Vastaavanlainen vertailu hehkulampun ja edullisen noin euron hintaisen pienoisoistelampun välillä osoittaa pienoisoistelampun olevan lähes heti taloudellisempi vaihtoehto. Pienisoistelampun hinnan ollessa normaali eli noin kahdeksan euroa, kasvaa

takaisinmaksuaika heti pariin vuoteen. Edullisen pienoistoistelampun eliniäksi valmistaja lupaa 7000 tuntia, eli neljän tunnin päiväkäytöllä noin 3,5 vuotta ja kahdeksan euron lampulle valmistaja lupaa 10 000 tuntia, eli noin 5 vuotta.

## 6.5 Havaintoja lamppumittauksista

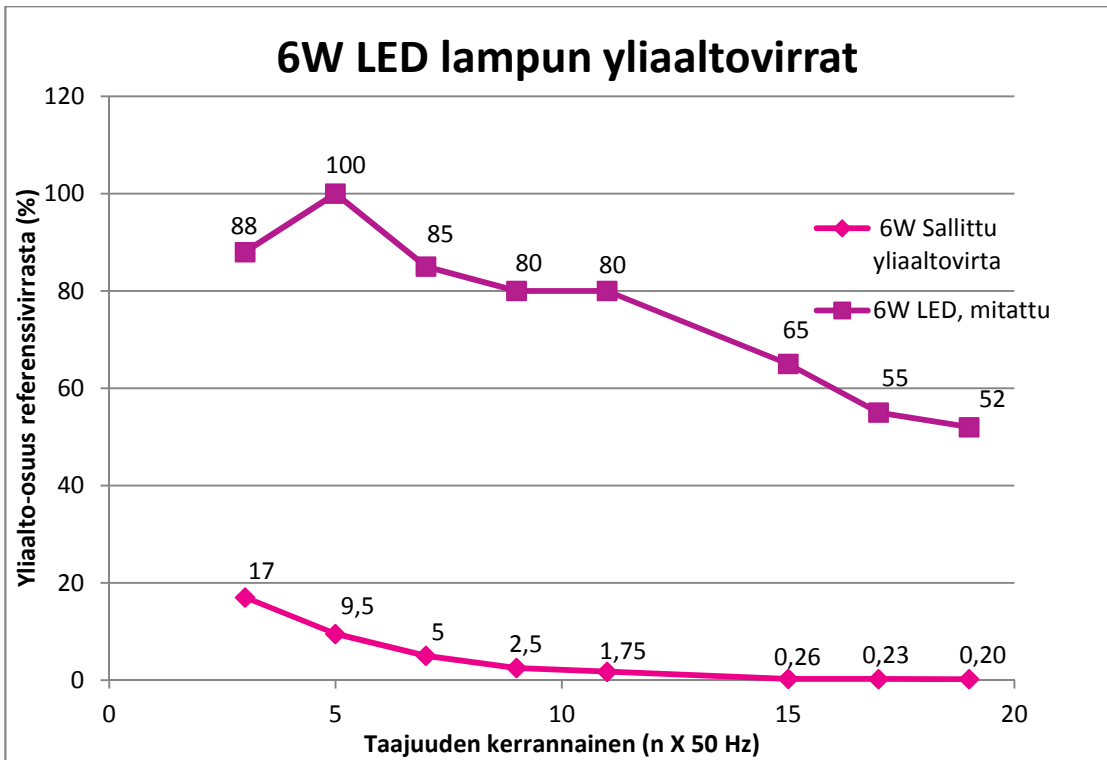
Tutkittavina kohteina oli suuren rautakaupan suosittuja energiansäästö- ja LED-lamppuja. Saadut tulokset vahvistavat epäilyksen lamppujen aiheuttamista jännitehäiriöistä ja vaihtelevasta valaistutehosta. EU on asettanut alle 25 W energiansäästölamppuille standardin, joka määrittelee muun muassa tehokertoimen alarajaksi 0,5. Taulukon 11 mittauksista saatujen tulosten perusteella pienoistoistelamput ylittävät juuri tämän rajan, kun LED-lamput jäävät rajasta selvästi.

Eniten mittauksissa huomiota herätti suuret virransyliaalto pitoisuudet. Pitoisuuksia mitattiin tarkemmin Fluke-41 harmonistenyliaaltojen mittaukseen tarkoitetulla mittalaitteella. Laitteella mitattuja yliaaltovirtoja vertailtiin standardin EN-61000-3-2 asettamiin virran harmonisten yliaaltojen raja-arvoihin, jotka ovat taulukossa 18. Standardi määrää suurimat sallitut virran yliaalto-osuudet alle 25 W energiansäästölamppuille.

TAULUKKO 18. Alle 25 W energiansäästölamppun sallitut yliaaltovirrat (Energiateollisuus 2012)

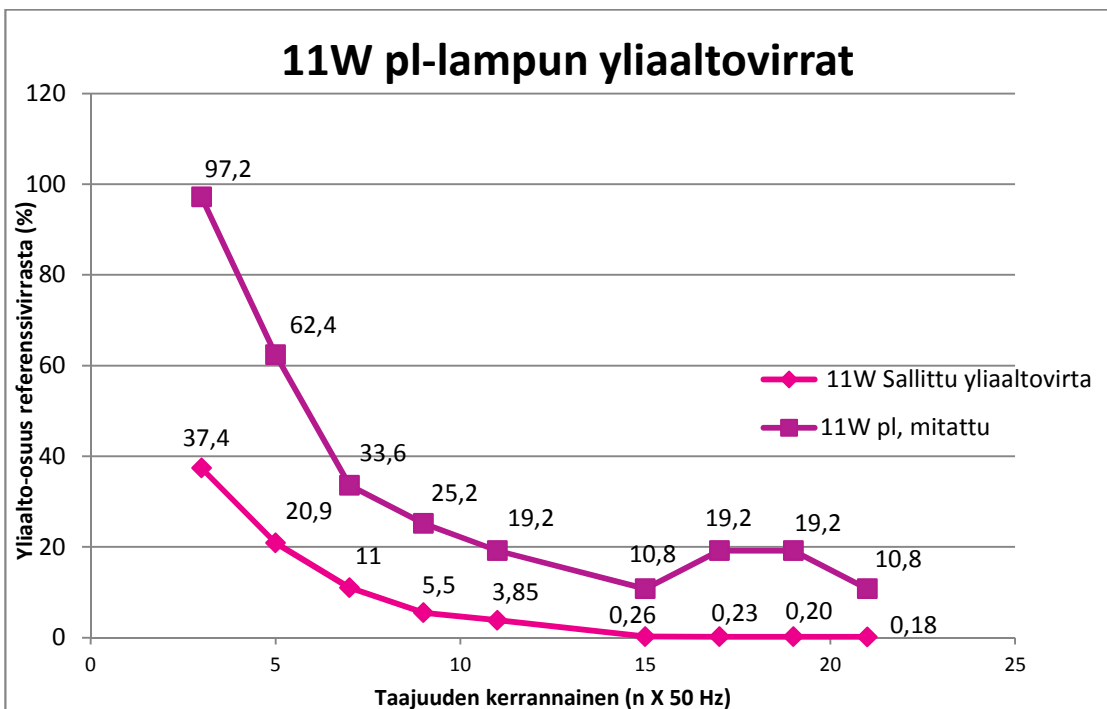
Harmoninen kertaluku n	Suurin yliaaltovirta/W mA/ W
3	3.4
5	1.9
7	1.0
9	0.5
11	0.35
$13 \leq n \leq 39$	$3.85/n$

Kuvio 7 vertailee tutkittavaa lamppua numero 2, eli 6 W LED-lamppua ja standardin asettamaa korkeimpien virtayliaaltojen osuutta 6 W energiansäästölamppulla. Kuviosta havaitaan tutkittavan lampun jäävän kauas standardin antamista arvoista.



KUVIO 7. 6 W LED-lampun mitatut ja suurimmat sallitut 6 W lampun yliaaltovirrat

Kuviossa 8 vertaillaan tutkittavaa kohdetta 1 eli 11 W energiansäästölamppua ja standardin asettamia korkeimpia virransyönte osuuksia 11 W energiansäästölamppulle. Kuviossa nähdään pienoisloistelampun seuraavan LED-lampun paremmin sallittua käyrää mutta jää huomattavasti sallituista arvoista.



KUVIO 8. 11 W energiansäästölamppun mitatut ja suurimmat sallitut 11 W lampun yliaaltovirrat

Mittauksien perusteella lamppuvalmistajat eivät välitä lamppuille asetetuista standardeista. Herääkin kysymys, kuinka tarkasti asetettujen standardien noudattamista valvotaan. Ehkä energiansäästölamppuille on annettu kehitysaikaa eikä standardien ylitukseen vielä puututa tiukasti.

Hehkulamppujen myynti loppuu kokonaan vuoden 2012 loppuun mennessä, jolloin kotitalouksien vaihtoehdoksi jää pääosin LED- tai pienoistoistelamput. Tässä työssä tehty energiavertailu osoittaa, etteivät lamppujen energiasäästöt ole yksiselitteisiä ja varsinkin sähkölämmitteisissä asunnoissa säästöt näkyvät varsin myöhään lampun käyttöönotosta. Uusien energiansäästölamppujen käyttöikä ailahtelee valmistajan ilmoittamista. Esimerkiksi lampun sytyttäminen alentaa elinikää merkittävämmän kuin hehkulampan. Jos lamppuja joudutaan uusimaan valmistajan ilmoittamaa tiheämmin, jää säästöt olemattoman pieniksi. Edullisilla muutaman euron energiansäästölamppuilla voi säästöjä tulla nopeastikin, mutta on kuitenkin arvailujen varassa, kuinka pitkä on edullisten lamppujen elinikä ja säilyykö niiden valaistusteho hyvänä niiden eliniän loppuun saakka.

## 7 PÄÄTELMÄT

Työn alkuperäinen tarve oli selvittää Kuopion Energian jakelualueen pienjännitteen laatu. Mittausten perusteena oli häiriölähteiden lisääntyminen ja vastaavan tutkimuksen puute tällä alueella. Jännitteen laadun tutkimisen lisäksi tutkittiin energiansäästölamppuja laboratorio-olosuhteissa. Energiansäästölamppujen käyttö on lisääntynyt kovaa vauhtia, sillä vanhojen hehkulamppujen myynti loppuu vuoden 2012 loppuun mennessä. Tutkimus oli mielenkiintoinen, sillä energiansäästölamppujen häiriöntuottoa ei ole juuri tutkittu ja aiemmin tehdyt tutkimukset vanhenevat nopeasti lamppujen kehittyessä. Energiansäästölamppuilla on suuri merkitys etenkin kotitalouksien jännitteen laatuun.

Muuntamomittausten perusteella Kuopion alueen jännite täyttää jännitteelle asetetut laatustandardit. Keskustan ja teollisuusalueiden muuntamoilla oli paikoin ylikuormitusta, mikä johtaa tulevaisuudessa muuntajien uusimiseen. Jännitteen laadulle asetettu standardi ei ota kantaa virran yliaaltoihin, mutta Sähkö- ja teleurakointiliiton suositukset määrittelevät raja-arvot. Virran yliaallot olivat useammalla muuntajalla suositusarvoa korkeammalla ja Neulamäen teollisuusalueen sähkökäyttäjän ongelmat olivat yhteydessä suuriin virran yliaalto-osuuksiin. Virran yliaaltojen kasvu aiheuttaa tulevaisuudessa muuntajien ja kaapeleiden ennen aikaisen vanhenemisen, joka näkyy mm. vanhojen kaapeleiden öljyvuoona. Yliaallot voivat aiheuttaa sähkökäyttäjillä häiriöitä laitteissa, mikä näkyy toimintahäiriöinä ja voi aiheuttaa laitevaurioita. Kuopion Energia on havainnut etäluettavien energiamittareiden PLC luennassa häiriöitä, jotka ovat voineet aiheutua korkeista yliaaltopitoisuuksista.

Kuopion Energian käyttöehtoihin olisi syytä mittauksista saatujen tulosten perusteella harkita ehtoa, joka rajoittaisi sähkökäyttäjien virran yliaalto-osuutta. Sähkö- ja teleurakointiliiton suositus käy tähän hyvänä pohjana, mitä sovellettaisiin tapauksittain. Esimerkiksi mittauksissa havaittuja teollisuusalueen yliaalto-ongelmia pystyttäisiin rajoittamaan suotuisemmalle tasolle rajoitusten avulla. Neulamäen kohteessa ongelmista kärsivälle asiakkaalle voitaisiin antaa korkeampi yliaalto-osuus, kunhan se ei ylitä muuntajan yliaaltorajaa suositusten rajoissa eikä vaikuta muuntopiirin muiden sähkökäyttäjien jännitteen laatuun. Mikäli tämä ei onnistu, olisi sovittava suuremmasta liittymätehosta.

Lamppumittauksissa havaittu suurin huomio oli lamppujen häiriönpoisto ja kompensointi, joita ei mittausten perusteella ollut yhdessäkään lampussa. Kaikkien lamppu-

jen virran yliaallot ovat erittäin korkeita, eivätkä ne täytä energiansäästölamppuille asetettua yliaaltostandardia. Yllättävä asia mittauksissa oli edullisimman lampun tulokset verrattuna kalliimpiin lamppuihin. Edullisimman lampun valoteho suhteessa lampun tehoon oli lamppuista paras ja virran kokonaissärö mittauksien toiseksi pienin. Tämän perusteella ei lampun hinnalla ole merkitystä laatuun. Lamppujen käyttöikä ei työssä otettu kantaa. Työssä vertailtiin myös LED- ja hehkulampun kustannuksia 10 vuoden ajalla. Laskelmien mukaan LED-lamppu maksaa itsenä takaisin sähkölämmittäessä kohteessa reilussa seitsemässä vuodessa. Pienoisloistelamput maksavat itsensä nopeammin takaisin edullisemman hinnan takia.

Tulevaisuudessa on Kuopion Energian kannattavaa tehdä vertailevia ja systemaattisia mittauksia esimerkiksi 5 tai 10 vuoden välein samoilla muuntamoilla. Mittauksista nähdään, mihin suuntaan jännitteen laatu kehittyy ja ovatko lamppujen kehitys ja tehoelektroniikan käytöt sitä muuttaneet. Tällä tavoin pystytään varmistamaan ja osoittamaan jakelualueen riittävän hyvälaatuinen jännite. Myös lamppujen tutkiminen on tulevaisuudessa mielenkiintoista niiden kehityksen ja käytön lisääntymisen vuoksi. Energiansäästölamppuille tarkoitettuihin standardeihin kiinnitetään jatkossa enemmän huomiota, kun viimeisetkin hehkulamput ovat poistuneet markkinoilta ja valmistajia todennäköisesti valvotaan enemmän, jotta ne saavat lamppujen häiriöt ja loistehot hyvälle tasolle.

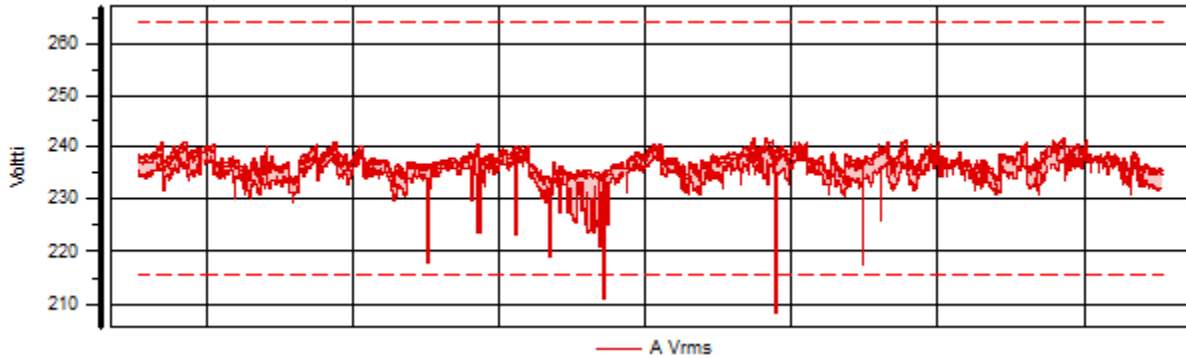
## LÄHTEET

1. Haastattelu Kuopion Energia, järjestelmäasiantuntija Harri Korhonen (18.11.2011).
2. Fluke Finland Oy. Fluke 435 -analysointilaitteen käyttöohjeet [Viitattu 8.11.2011]. Saatavissa:  
<http://www.fluke.com/Fluke/fifi/Sahkonlaatutyokalut/Kolmivaiheinen/Fluke-435-Series-II.htm?PID=73939>
3. Gossen Metrawatt. Mawowatt-70 -analysointilaitteen käyttöohjeet [Viitattu 8.11.2011]. Saatavissa:  
<http://www.gossenmetrawatt.com/english/produkte/mavowatt70.htm>
4. Kuopion Energian sopimus- ja verkkopalveluehdot. [Viitattu 4.1.2012]. Saatavissa: <http://www.kuopionenergia.fi/fi/sahkokauppa/sahkohinnastot/?id=75>
5. Kuopion Energia. Vuosikertomus 2011 [Verkojulkaisu]. [Viitattu 4.1.2012]. Saatavissa: <http://kuopionenergia.fi> ja Kuopion Energian intranet (ei saatavissa)
6. Lampputieto 2012. Lampputyypin vaikutus kotitalouksien energiankäyttöön ja CO<sub>2</sub> päästöihin. [Viitattu 2.3.2012]. Saatavissa:  
[http://www.lampputieto.fi/midcom-serveattachmentguid-1dfd75660a1fc4cd75611dfb2a96b231ed929b329b3/lamppututkimus\\_2010\\_diplomityontiivistelma\\_13102010.pdf](http://www.lampputieto.fi/midcom-serveattachmentguid-1dfd75660a1fc4cd75611dfb2a96b231ed929b329b3/lamppututkimus_2010_diplomityontiivistelma_13102010.pdf)
7. Alanen Raili & Hätönen Hannu. 2006. Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta. [Viitattu 14.7.2011]. Saatavissa:  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W52.pdf>
8. Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2010. SFS-EN 50160. 4.painos.
9. Sähkö- ja teleurakointiliitto STUL ry. 2006. Yliaallot ja Kompensointi. Espoo Sähköinfo Oy.
10. Energiateollisuus. 2012. Energiansäästölamppujen sallitut yliaaltovirrat. [Viitattu 15.2.2012]. Saatavissa:  
[http://www.energia.fi/sites/default/files/energiansaastolamppujen\\_verkostovaikeudet\\_ikukset\\_ja\\_plc-projekti\\_loppuraportti\\_2011.pdf](http://www.energia.fi/sites/default/files/energiansaastolamppujen_verkostovaikeudet_ikukset_ja_plc-projekti_loppuraportti_2011.pdf)

**JÄNNITEKUVAAJA**

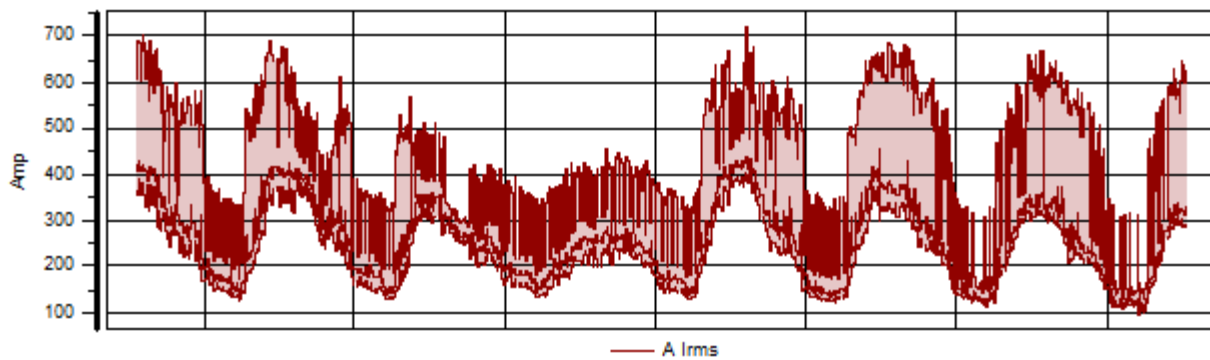
Kohde: m62-pankki

Mitattu alkaen 07.07.2011 08:53:15,0 Mihin 14.07.2011 17:06:45,0

**VIRRAN KUVAAJAT**

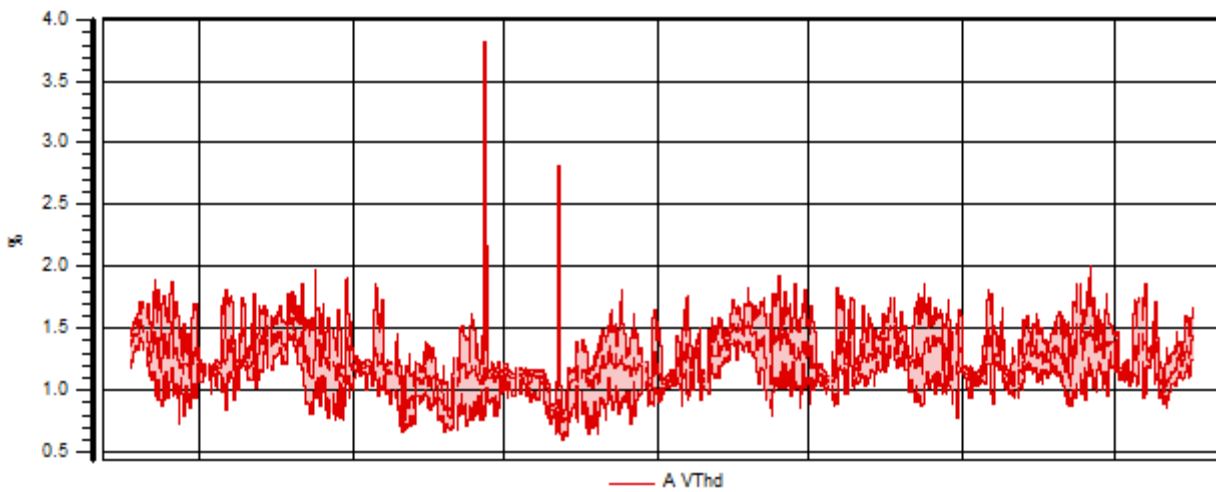
Kohde: m62-pankki

Mitattu alkaen 07.07.2011 08:53:15,0 Mihin 14.07.2011 17:06:45,0

**VTHD KUVAAJA**

Kohde: m62-pankki

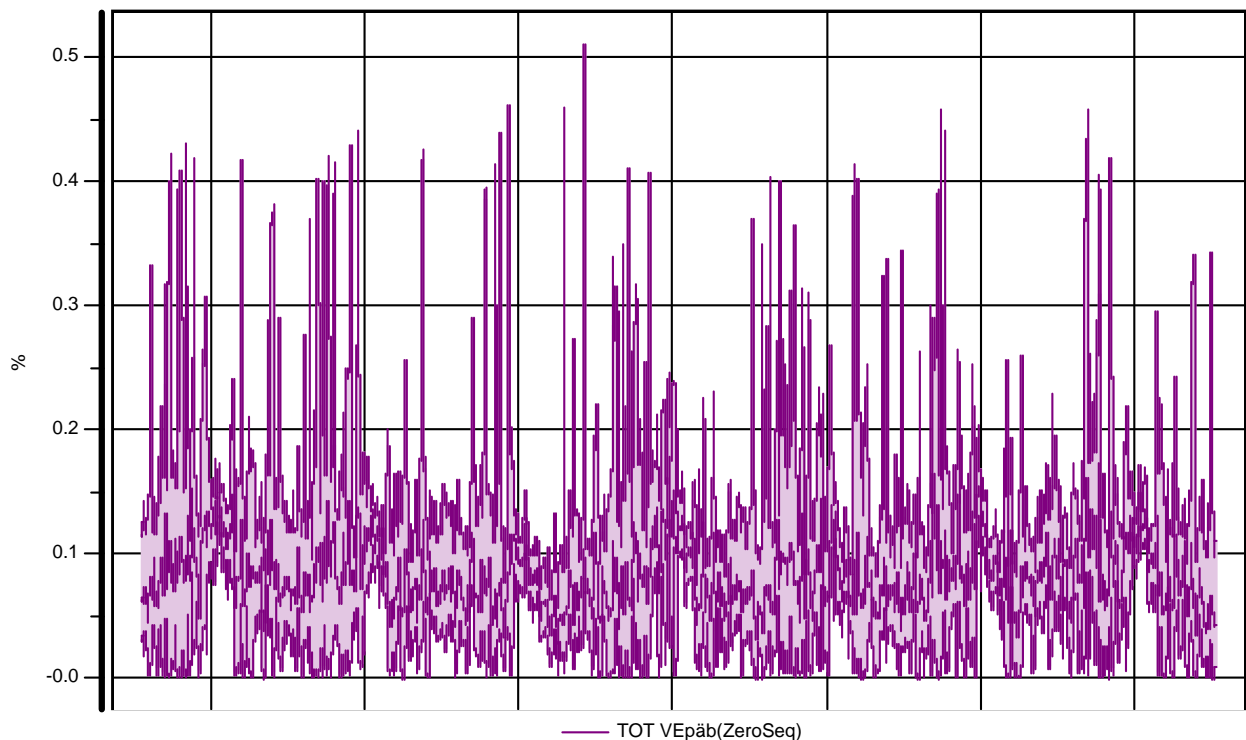
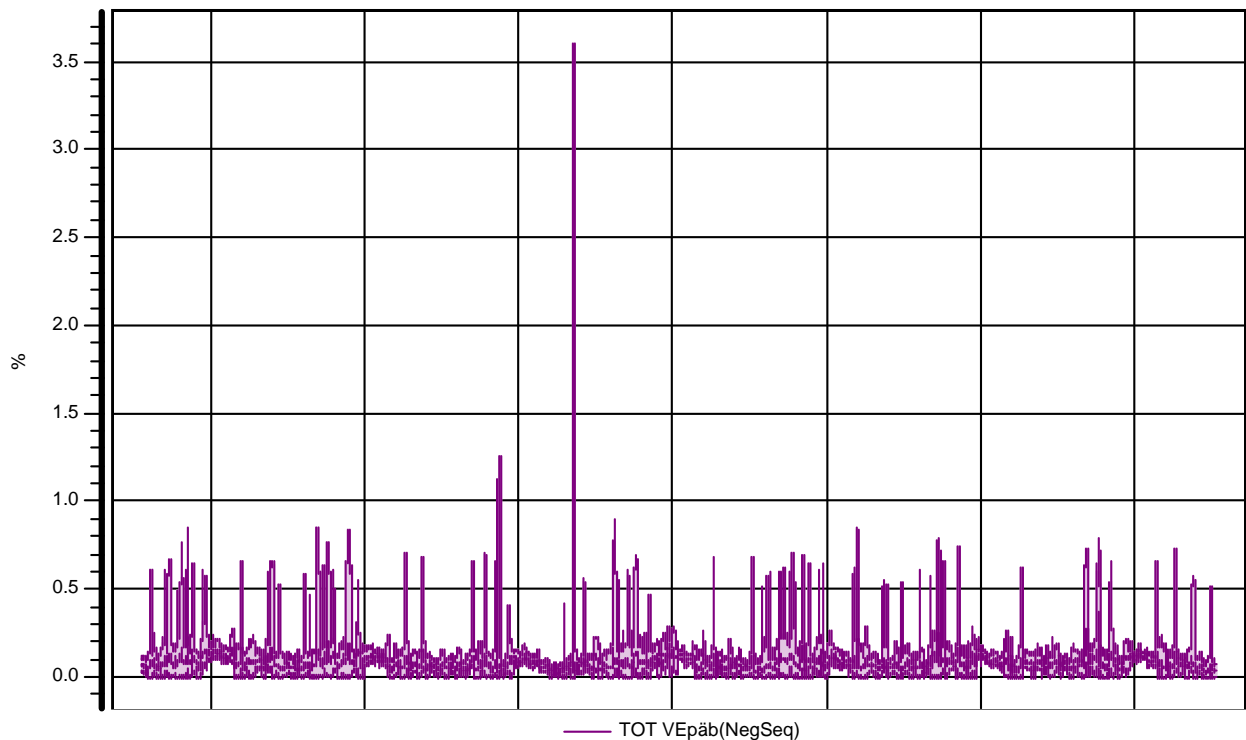
Mitattu alkaen 07.07.2011 08:53:15,0 Mihin 14.07.2011 17:06:45,0



# JÄNNITTEEN EPÄBALANSSI -KUVAAJA

Kohde: m62-pankki

Mitattu alkaen 07.07.2011 08:53:15,0 Mihin 14.07.2011 17:06:45,0

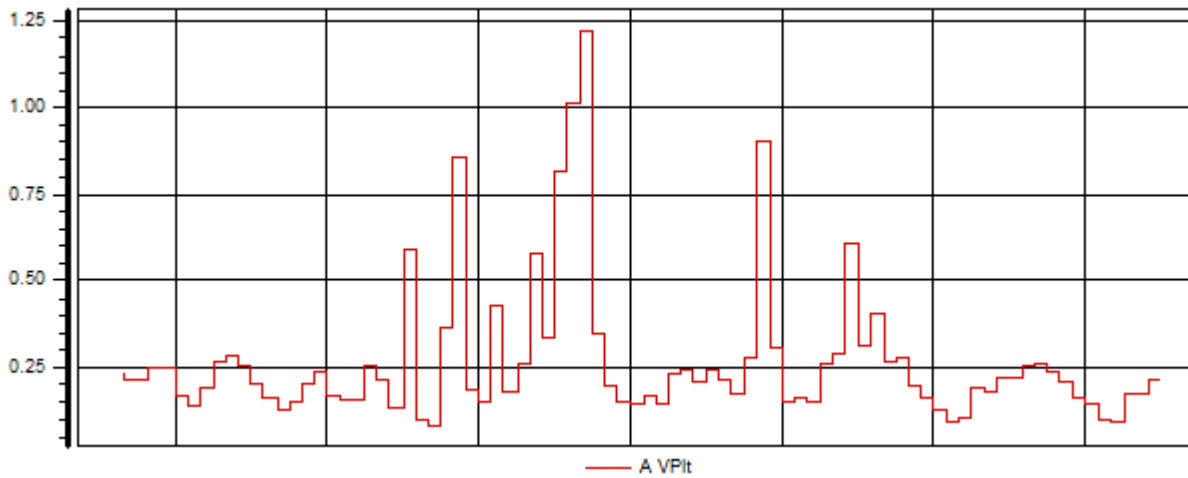


08.07.2011 Perjantai  
 09.07.2011 Lauantai  
 10.07.2011 Sunnuntai  
 11.07.2011 Maanantai  
 12.07.2011 Tiistai  
 13.07.2011 Keskiviikko  
 14.07.2011 Torstai

**VÄLKYNTÄ (PLT) KUVAAJA**

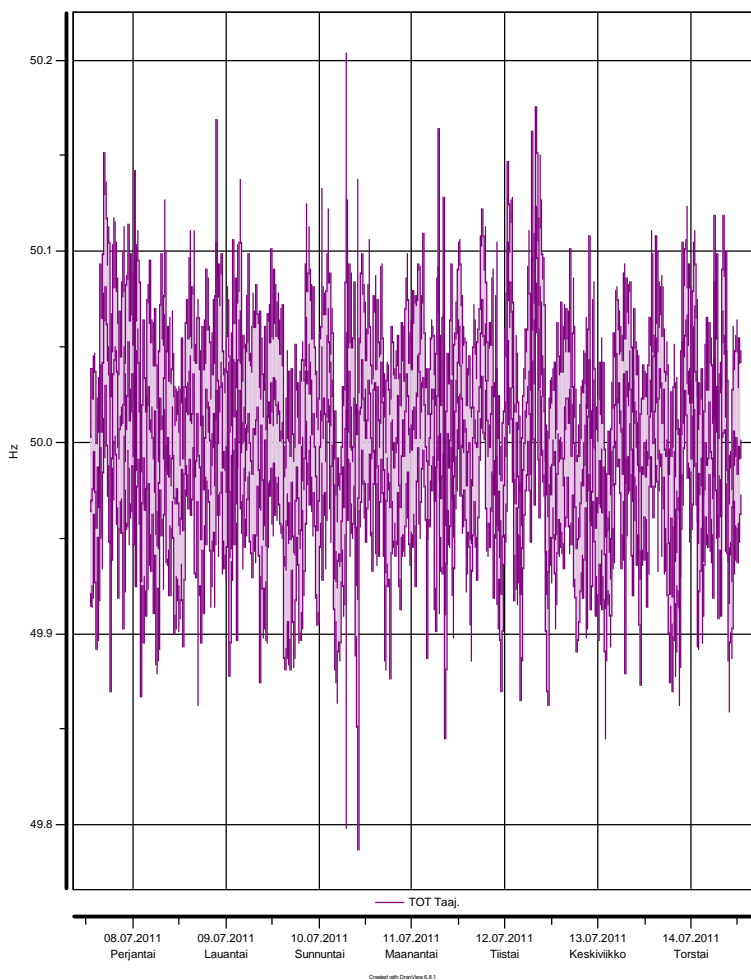
Kohde: m62-pankki

Mitattu alkaen 07.07.2011 08:53:15,0 Mihin 14.07.2011 17:06:45,0

**JÄNNITTEEN TAAJUUS KUVAAJA**

Kohde: m62-pankki

Mitattu alkaen 07.07.2011 08:53:15,0 Mihin 14.07.2011 17:06:45,0

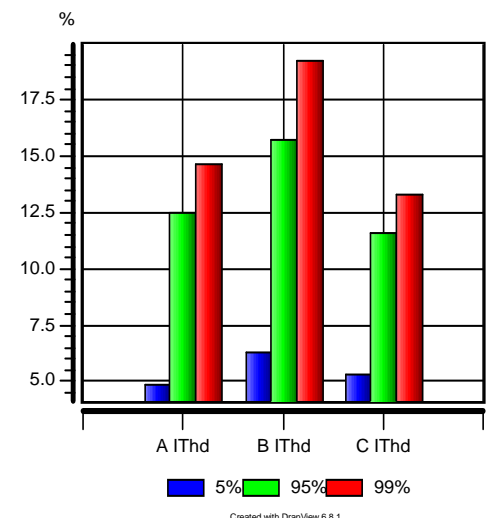
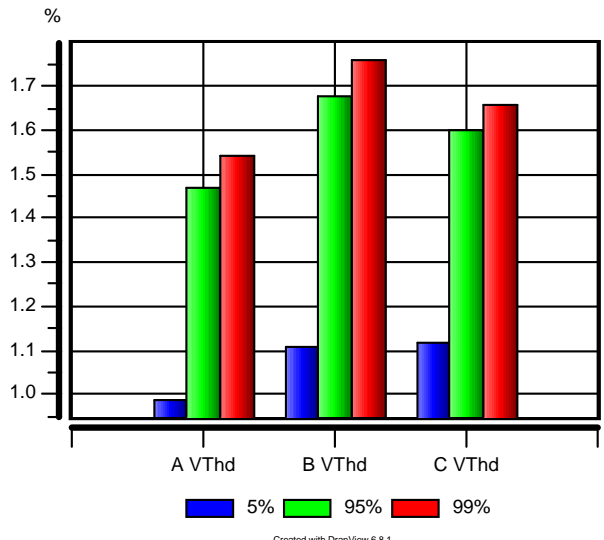
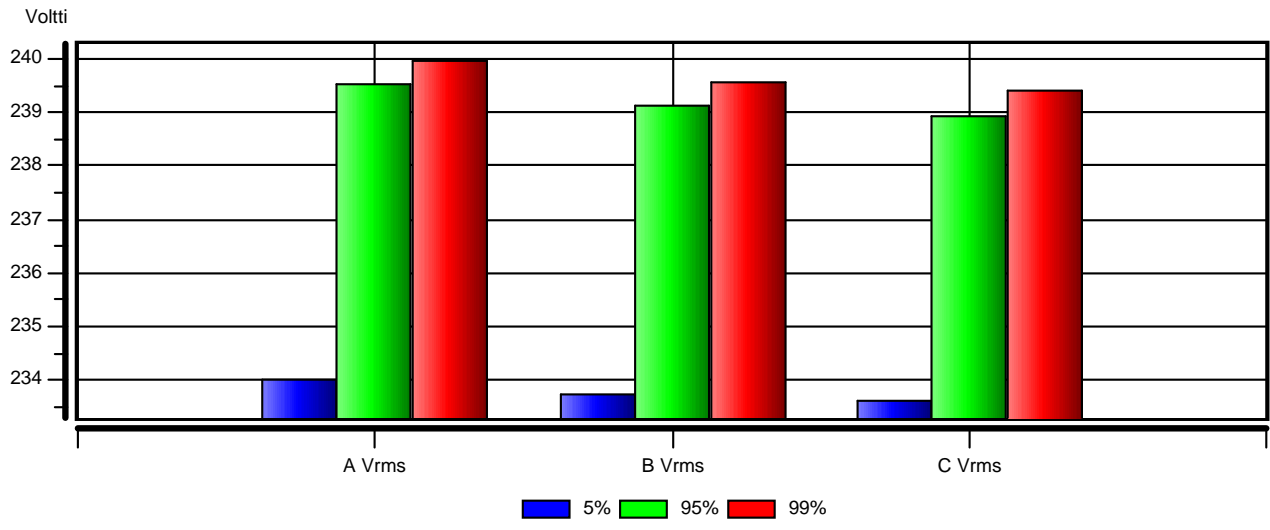


Created with DrawView 5.5.1

### Syötön laatu

Kohde: m62-pankki

Mitattu alkaen 07.07.2011 08:53:15,0 Mihin 14.07.2011 17:06:45,0

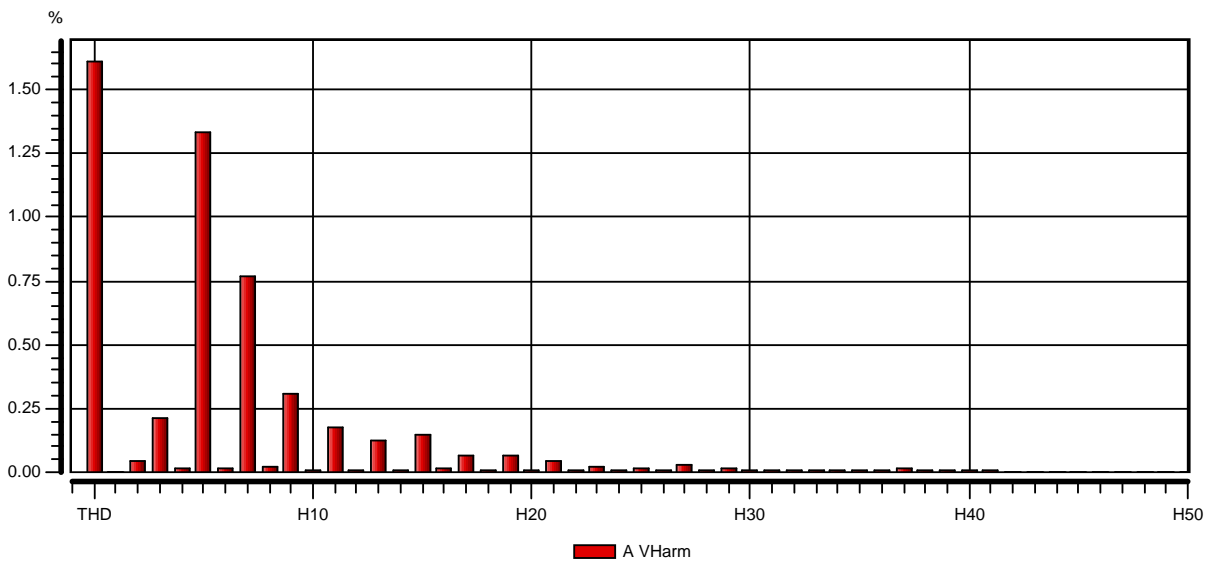
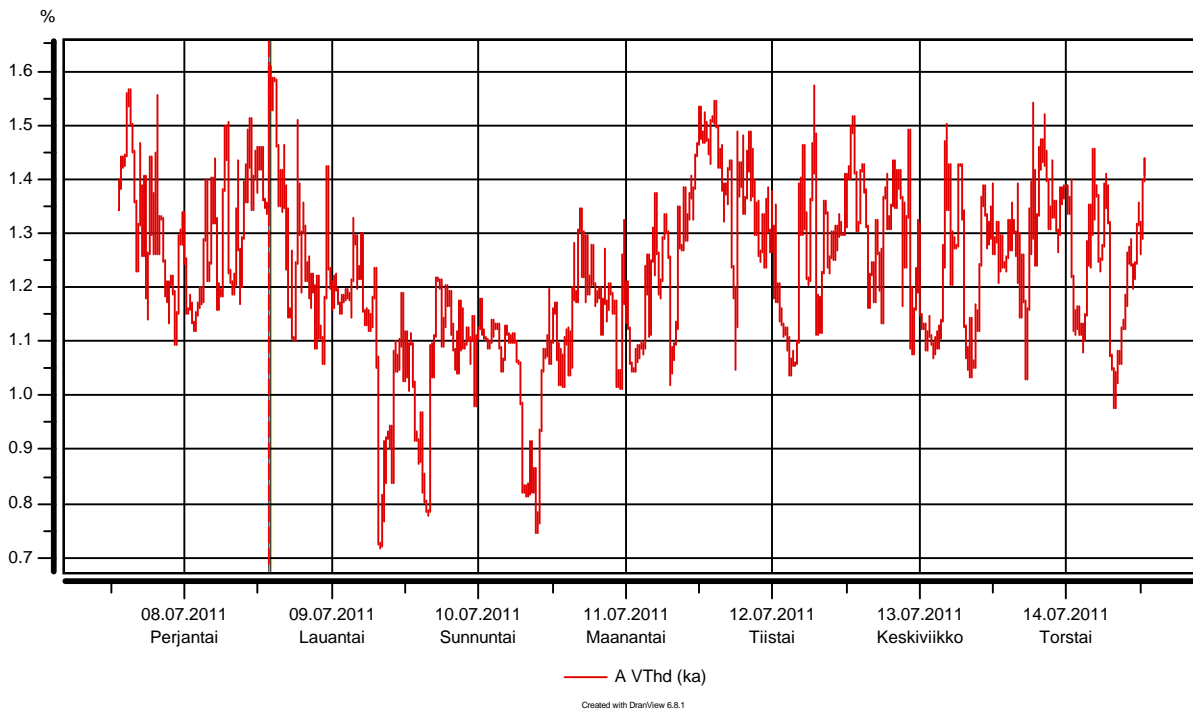


### Vaihe A harmonisten kuvaaja

Kohde: m62-pankki

Mitattu alkaen 07.07.2011 08:53:15,0 Mihin 14.07.2011 17:06:45,0

#### JÄNNITE



Total RMS:	233.22 V
DC taso:	0.06 V
Perusaalto(H1) RMS:	235.79 V
Total Harmonic Distortion THD:	1.61 %FND (Paril.: 0.07 %FND, Parit.: 1.61 %FND)

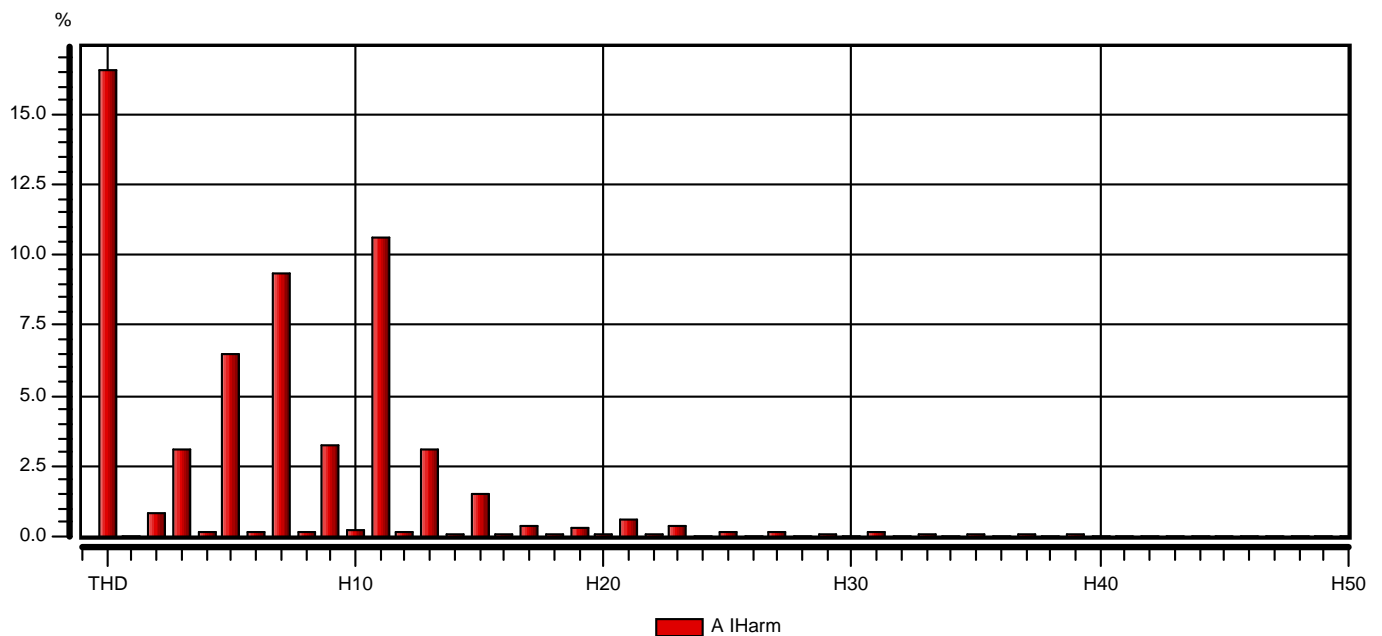
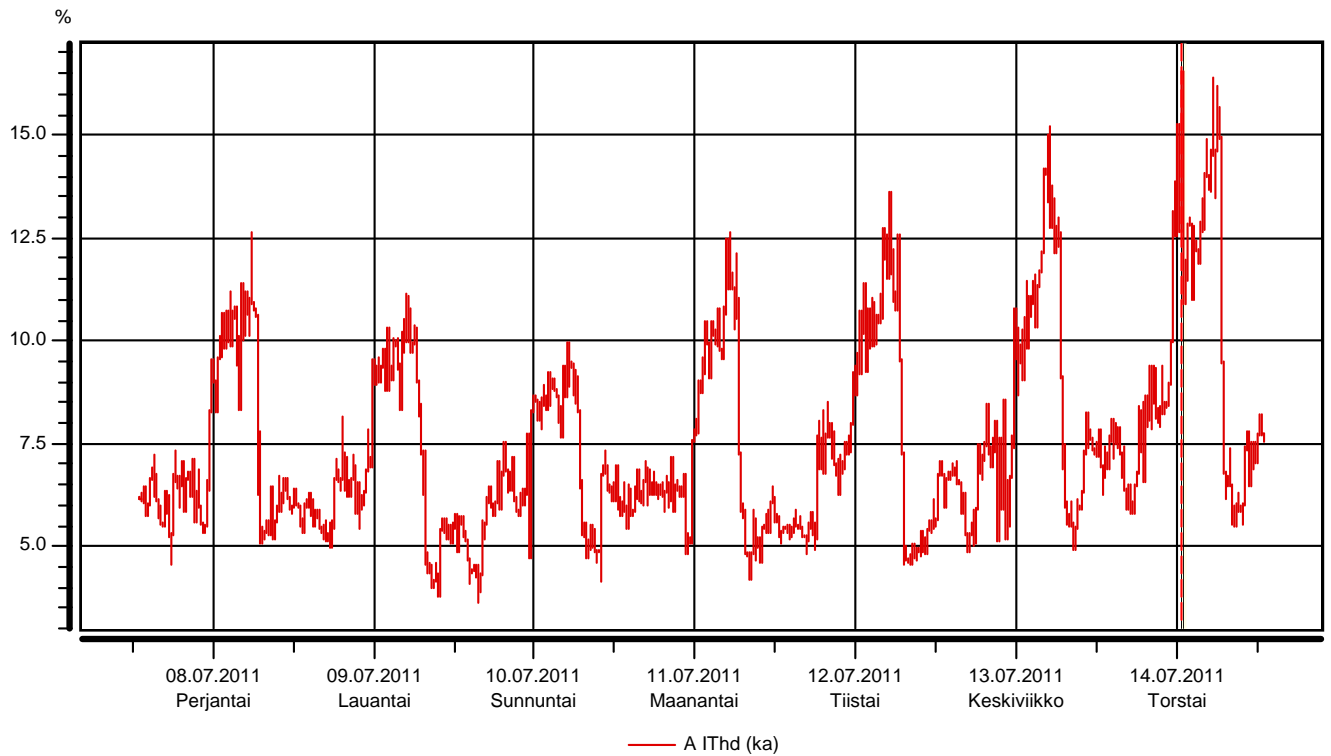
Created with DianView 6.8.1

### Vaihe A harmonisten kuvaaja

Kohde: m62-pankki

Mitattu alkaen 07.07.2011 08:53:15,0 Mihin 14.07.2011 17:06:45,0

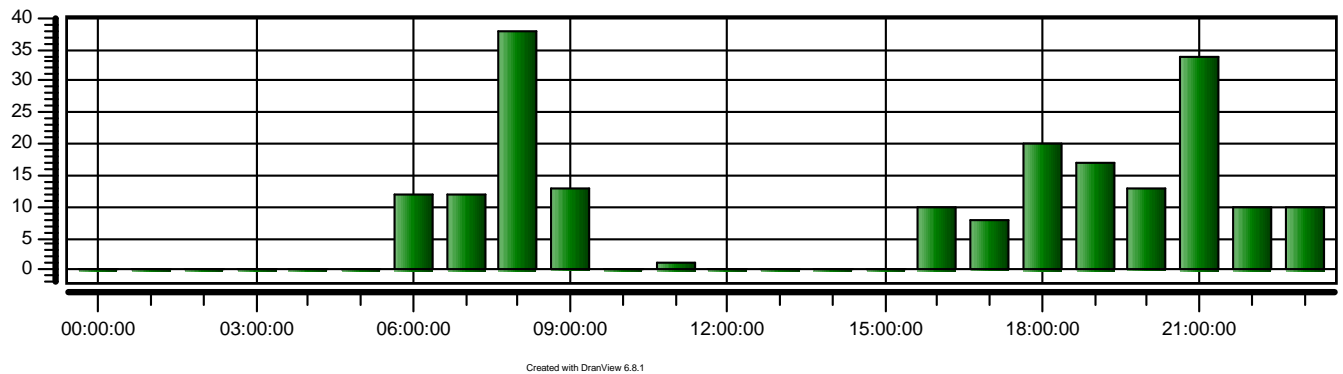
VIRTA



Total RMS:	144.84 A
DC taso:	0.28 A
Perusaalto(H1) RMS:	156.69 A
Total Harmonic Distortion THD:	16.59 %FND (Paril.: 0.95 %FND, Parit.: 16.56 %FND)

Created with DranView 6.8.1

## TRANSIENTIT



## Huonoimmat, yhteenveto

Kohde: m62-pankki

Mitattu alkaen 07.07.2011 08:53:15,0 Mihin 14.07.2011 17:06:45,0

5 kokonaisjännitekuopista

KRITEERI	VAIHE	KATEGORIA	DATA	PVM/AIKA
Pienin arvo	C	HETKELLINEN	200.5V, 0.770 Sek.	10.07.2011 08:36:56,43
	B	HETKELLINEN	205.9V, 0.080 Sek.	11.07.2011 21:20:18,90
	B	HETKELLINEN	207.7V, 0.110 Sek.	10.07.2011 17:25:27,54
	B	HETKELLINEN	210.5V, 0.110 Sek.	10.07.2011 17:21:51,34
Pisin kesto	B	HETKELLINEN	200.5V, 0.770 Sek.	10.07.2011 08:36:56,43
	A	HETKELLINEN	207.7V, 0.110 Sek.	10.07.2011 17:25:27,54
	A	HETKELLINEN	210.5V, 0.110 Sek.	10.07.2011 17:21:51,34
	A	HETKELLINEN	205.9V, 0.080 Sek.	11.07.2011 21:20:18,90
Suurin energia hävinnyt	B	HETKELLINEN	200.5V, 0.770 Sek.	10.07.2011 08:36:56,43
	A	HETKELLINEN	210.5V, 0.110 Sek.	10.07.2011 17:21:51,34
	A	HETKELLINEN	207.7V, 0.110 Sek.	10.07.2011 17:25:27,54
	A	HETKELLINEN	205.9V, 0.080 Sek.	11.07.2011 21:20:18,90

0 kokonaisjännitenousuista

KRITEERI	VAIHE	KATEGORIA	DATA	PVM/AIKA
----------	-------	-----------	------	----------

0 kokonaisjännitekatkoksista

KRITEERI	VAIHE	KATEGORIA	DATA	PVM/AIKA
----------	-------	-----------	------	----------

198 kokonaisjännitetransienteista

KRITEERI	VAIHE	DATA	PVM/AIKA
Suurin arvo	A	188.8V, 0.000 Sek.	08.07.2011 06:34:00,40
	A	184.0V, 0.000 Sek.	12.07.2011 07:04:04,34
	A	180.2V, 0.000 Sek.	09.07.2011 06:33:40,61
	A	173.9V, 0.000 Sek.	12.07.2011 07:09:32,87

**MIN/MAX/KA Yhteenveto**

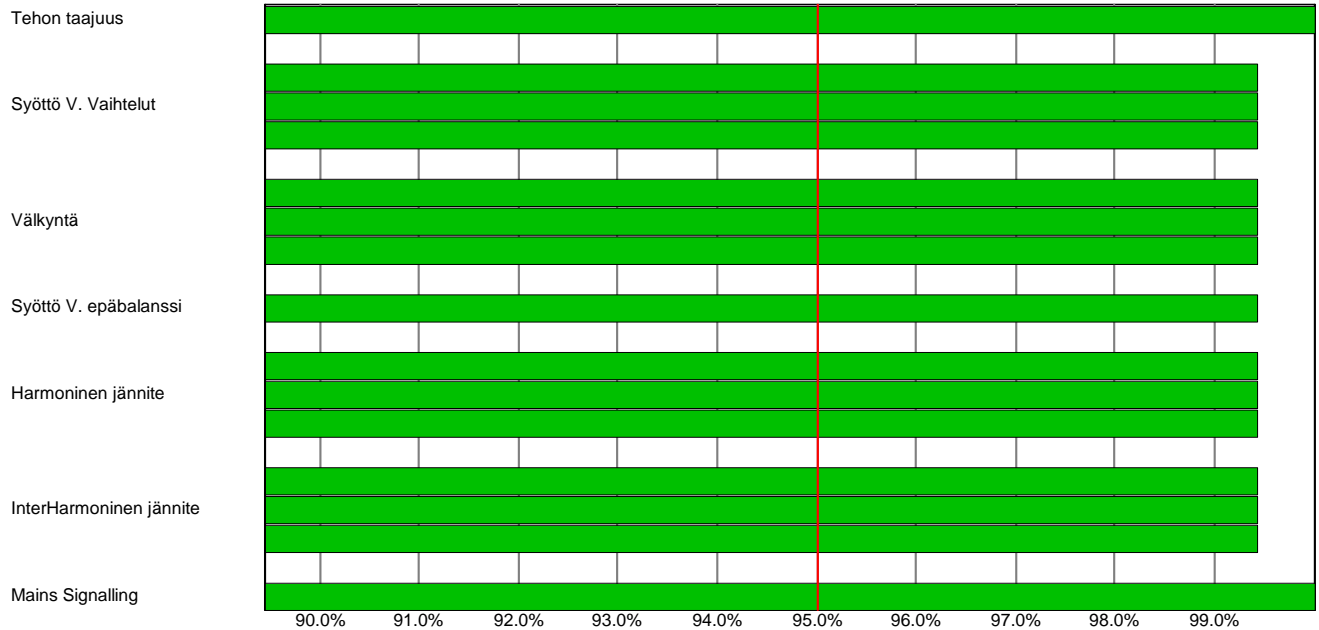
Kohde: m62-pankki

Mitattu alkaen 07.07.2011 08:53:15,0 Mihin 14.07.2011 17:06:45,0

**JÄNNITE**

	<b>Kanava A</b>	<b>Kanava B</b>
Min Voltti	208.63 päällä 11.07.2011 21:30:00	202.70 päällä 10.07.2011 08:40:00
Max Voltti	241.77 päällä 13.07.2011 20:40:00	241.45 päällä 11.07.2011 20:50:00
Mediaani Voltti	236.97	236.61
Keskiarvo Voltti	236.90	236.52
	<b>Kanava C</b>	<b>Kanava D</b>
Min Voltti	200.48 päällä 10.07.2011 08:40:00	0.096 päällä 13.07.2011 06:30:00
Max Voltti	241.15 päällä 13.07.2011 20:40:00	0.322 päällä 09.07.2011 05:30:00
Mediaani Voltti	236.50	0.116
Keskiarvo Voltti	236.42	0.115
	<b>Kanava A-B</b>	<b>Kanava B-C</b>
Min Voltti	352.9 päällä 10.07.2011 17:30:00	337.8 päällä 10.07.2011 08:40:00
Max Voltti	419.1 päällä 13.07.2011 20:40:00	418.3 päällä 11.07.2011 20:50:00
Mediaani Voltti	410.8	409.7
Keskiarvo Voltti	410.6	409.5
	<b>Kanava C-A</b>	
Min Voltti	362.3 päällä 11.07.2011 21:30:00	
Max Voltti	417.8 päällä 13.07.2011 20:40:00	
Mediaani Voltti	409.5	
Keskiarvo Voltti	409.3	
	<b>VIRTA</b>	
	<b>Kanava A</b>	<b>Kanava B</b>
Min Amp	95.0 päällä 14.07.2011 05:10:00	75.8 päällä 14.07.2011 05:10:00
Max Amp	719.9 päällä 11.07.2011 14:40:00	661.0 päällä 11.07.2011 14:50:00
Mediaani Amp	254.1	229.7
Keskiarvo Amp	257.1	239.3
	<b>Kanava C</b>	<b>Kanava D</b>
Min Amp	104.2 päällä 14.07.2011 05:10:00	18.29 päällä 08.07.2011 05:00:00
Max Amp	687.3 päällä 07.07.2011 13:40:00	142.98 päällä 10.07.2011 22:00:00
Mediaani Amp	256.6	51.77
Keskiarvo Amp	264.1	53.29

Tapahtuma #14644 10.07.2011 00:00:00,000  
EN50160 Ei valmis - Läpi



UNIPED DISDIP Tilastot									
Syvyys (%)		Kesto							
Mistä	Mihin <	msek	Sek.	Sek.	Sek.	Sek.	Sek.	min	min
		10<100	.1<.5	0.5<1	1<3	3<20	20<60	1<3	>3
Kuopat									
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	0	0	0	0	0	0	0	0
15	30	0	0	0	0	0	0	0	0
30	60	0	0	0	0	0	0	0	0
60	99	0	0	0	0	0	0	0	0
Katkokset									
99	100	0	0	0	0	0	0	0	0
Hetkelliset ylijännitteet									
110	120	0	0	0	0	0	0	0	0
120	140	0	0	0	0	0	0	0	0
140	160	0	0	0	0	0	0	0	0
160	200	0	0	0	0	0	0	0	0
200		0	0	0	0	0	0	0	0

Transientit ylijännitteet		Lukum
110	120	0
120	140	0
140	160	0
160	200	0
200		0

**EN50160 Yhteensopiva raportti**

Kohde: m62-pankki, Viikko #1 (07.07.2011 08:53:15,0 Mihin 14.07.2011 08:53:15,0)

Nimellisjännite (Un) = 240 V

**Tehon taajuus**

Alue	Raja-arvo	Yhteensopiv.	
50 Hz +1%/-1%	99.5%	100.0%	PASSED
50 Hz +4%/-6%	100.0%	100.0%	PASSED

**Syöttöjännitteen vaihtelu**

Alue	Raja-arvo	Yhteensopiv.:			
		CHA	CHB	CHC	
240 V +10%/-10%	95.0%	100.0%	100.0%	100.0%	PASSED
240 V +10%/-15%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	PASSED

**Nopeat jännitemuutokset**

Ei saatavilla

**Välkyntä**

Alue	Raja-arvo	Yhteensopiv.:			
		CHA	CHB	CHC	
<1	95.0%	98.7%	100.0%	98.7%	PASSED

**Syöttöjännitteen epäbalanssi**

Alue	Raja-arvo	Yhteensopiv.	
0-2%	95.0%	100.0%	PASSED

**Harmoniset**

Kaikki ovat 95% arvoja

	Raja(% Un)	A	B	C	Status
THD	<8.00%	1.47%	1.68%	1.60%	PASSED
H02	<2.00%	0.05%	0.04%	0.05%	PASSED
H03	<5.00%	0.39%	0.31%	0.29%	PASSED
H04	<1.00%	0.02%	0.02%	0.02%	PASSED
H05	<6.00%	1.11%	1.31%	1.11%	PASSED
H06	<0.50%	0.04%	0.03%	0.02%	PASSED
H07	<5.00%	1.02%	1.00%	1.17%	PASSED
H08	<0.50%	0.03%	0.03%	0.02%	PASSED
H09	<1.50%	0.31%	0.48%	0.29%	PASSED
H10	<0.50%	0.02%	0.02%	0.02%	PASSED
H11	<3.50%	0.70%	0.76%	0.76%	PASSED
H12	<0.50%	0.01%	0.01%	0.01%	PASSED
H13	<3.00%	0.51%	0.52%	0.46%	PASSED
H14	<0.50%	0.01%	0.01%	0.01%	PASSED
H15	<0.50%	0.23%	0.24%	0.30%	PASSED
H16	<0.50%	0.01%	0.00%	0.00%	PASSED
H17	<2.00%	0.15%	0.19%	0.19%	PASSED
H18	<0.50%	0.01%	0.01%	0.01%	PASSED
H19	<1.50%	0.09%	0.09%	0.11%	PASSED
H20	<0.50%	0.01%	0.00%	0.00%	PASSED
H21	<0.50%	0.11%	0.09%	0.10%	PASSED
H22	<0.50%	0.01%	0.00%	0.00%	PASSED
H23	<1.50%	0.04%	0.05%	0.06%	PASSED
H24	<0.50%	0.01%	0.00%	0.00%	PASSED
H25	<1.50%	0.04%	0.07%	0.05%	PASSED

**Syöttöjännitteen heijastus**

75Hz - 2475Hz

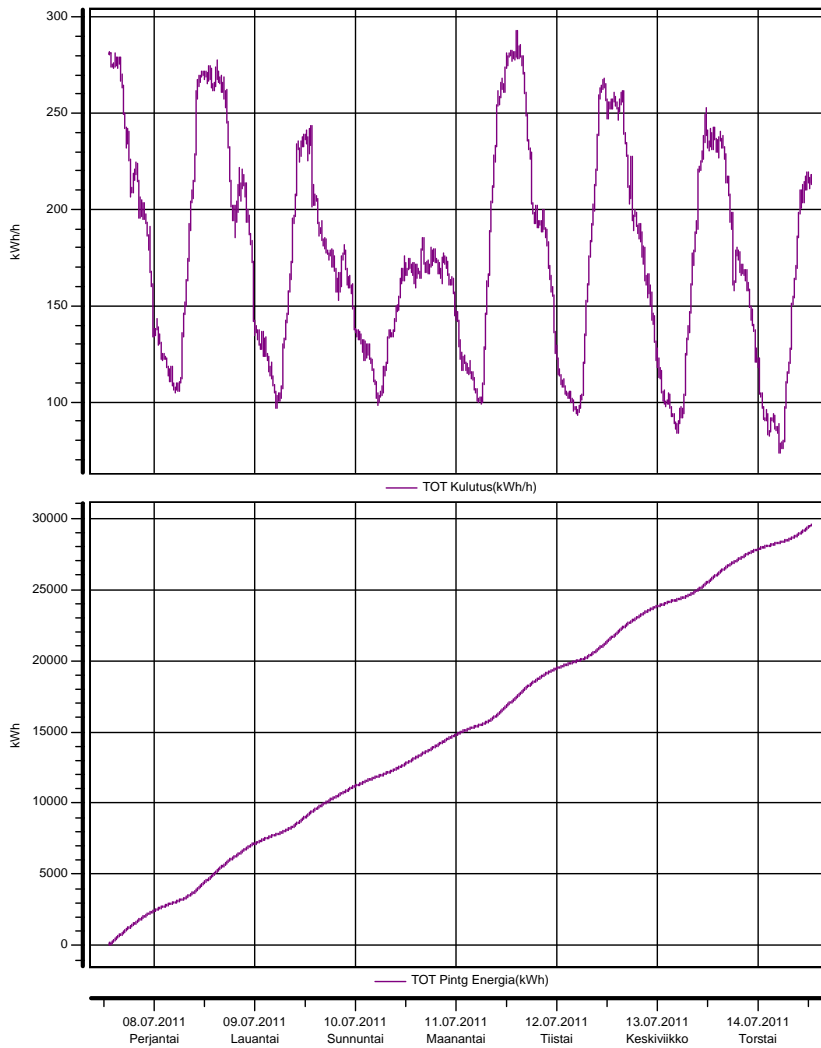
PASSED

2475Hz - 100kHz ei ole saatavilla tästä laitteesta.

## Kulutus ja energia -kuvaajat

Kohde: m62-pankki

Mitattu alkaen 07.07.2011 08:53:15,0 Mihin 14.07.2011 17:06:45,0



Created with DataView 5.5.1

**MIN/MAX/KA Tehon raportti**

Kohde: m62-pankki

Mitattu alkaen 07.07.2011 08:53:15,0 Mihin 14.07.2011 17:06:45,0

**POWER****PÄTÖTEHO, P (W)**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>TOTAL</b>
Min kW	23.07	20.54	27.26	-0.001	72.40 päällä 14.07.2011 05:20:00
Max kW	110.84	106.13	106.91	0.000	321.26 päällä 11.07.2011 14:20:00
Mediaani kW	58.68	53.41	59.39	-0.000	171.06
Keskiarvo kW	59.22	55.61	61.04	-0.000	175.88

**NÄENNÄISTEHO, S (VA)**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>TOTAL</b>
Min kVA	23.42	21.12	27.57	0.002	73.61 päällä 14.07.2011 05:20:00
Max kVA	116.28	108.51	110.18	0.014	332.07 päällä 11.07.2011 14:20:00
Mediaani kVA	59.87	54.32	60.59	0.006	174.49
Keskiarvo kVA	60.90	56.60	62.45	0.006	179.95

**LOISTEHO Q, PERUSTAAJUDELLE. (VAR)**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>TOTAL</b>
Min kVAR	-17.504	-21.336	-20.013	-0.004	-51.02 päällä 13.07.2011 21:40:00
Max kVAR	51.349	45.070	44.643	0.000	140.12 päällä 12.07.2011 16:30:00
Mediaani kVAR	10.943	5.603	9.628	-0.001	27.15
Keskiarvo kVAR	12.091	6.517	10.172	-0.001	28.78

**TEHOKERROIN, PF**

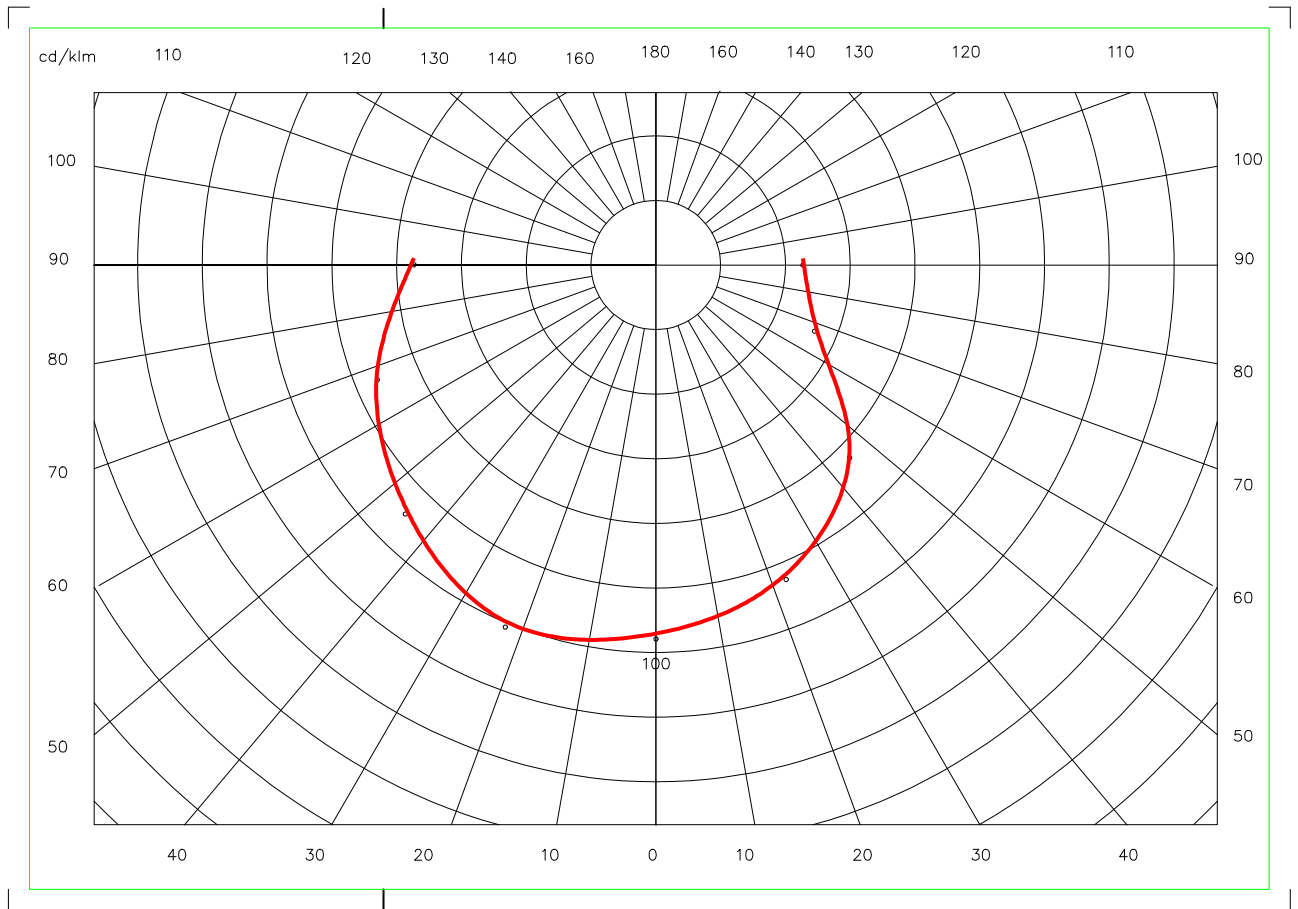
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>TOTAL</b>
Min	-0.999	-0.999	-0.999	-0.103	-1.000 päällä 08.07.2011 07:50:00
Max	0.999	0.999	0.999	0.132	1.000 päällä 07.07.2011 20:50:00
Mediaani	0.974	0.984	0.981	0.055	0.980
Keskiarvo	0.935	0.723	0.930	0.054	0.920

**KULUTUS****TEHON KULUTUS**

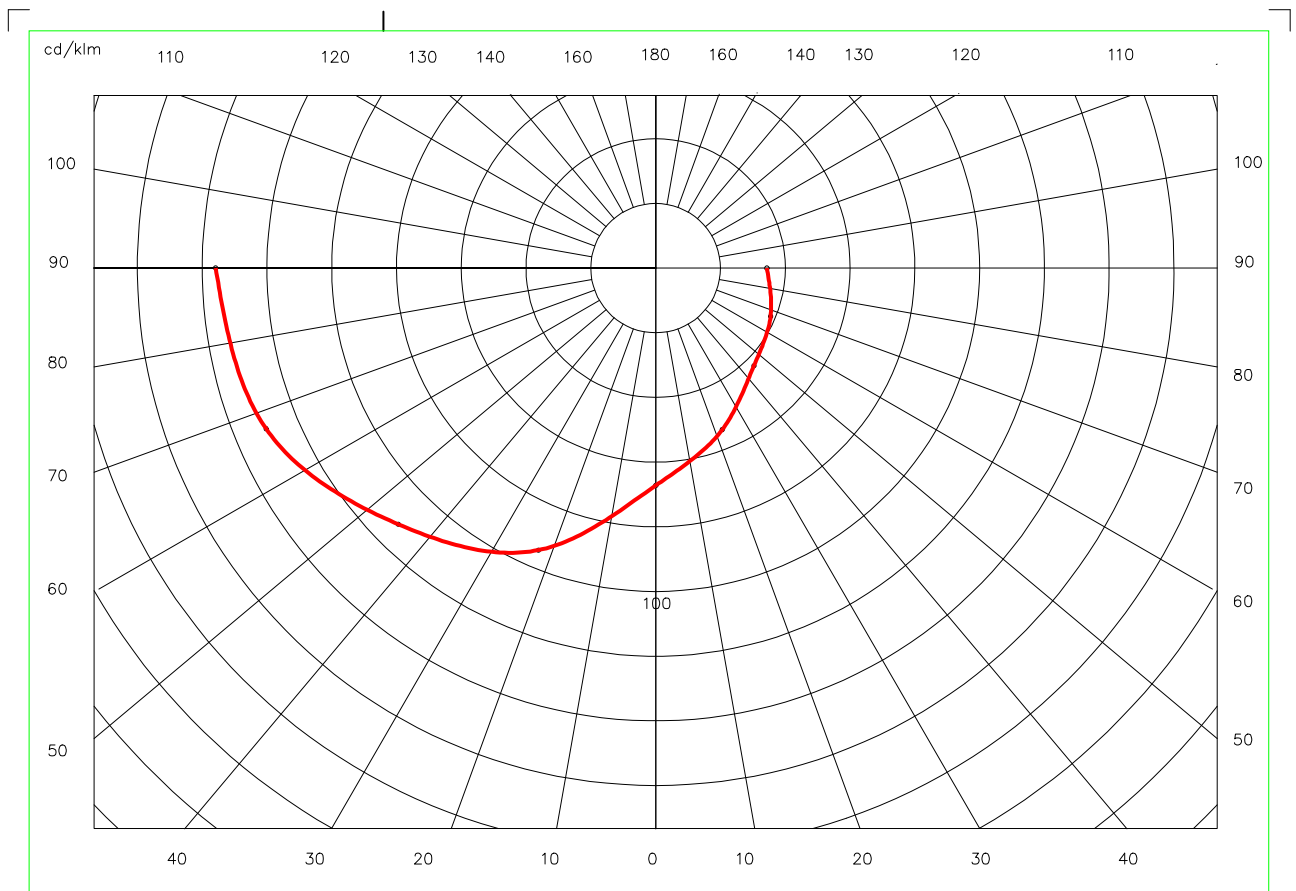
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>TOTAL</b>
Min kWh/h					74.33 päällä 14.07.2011 05:20:00
Max kWh/h					292.92 päällä 11.07.2011 14:35:00
Mediaani kWh/h					171.01
Keskiarvo kWh/h					175.85

**ENERGIA****ENERGIA - INTERGROITU PÄTÖTEHO (W-HRS)**

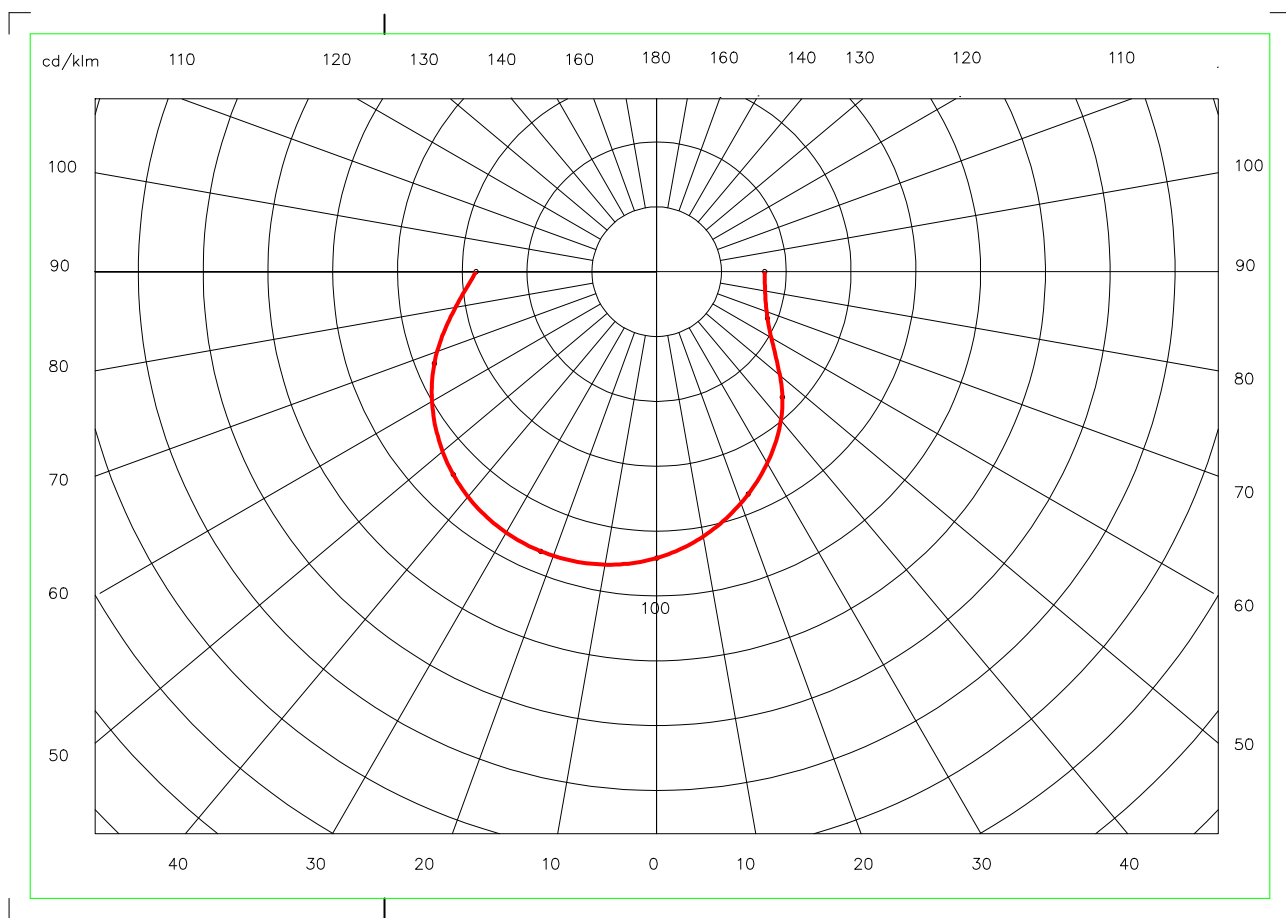
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>TOTAL</b>
kWh	9934	9329	10240	0.041	29502 päällä 14.07.2011 12:50:00



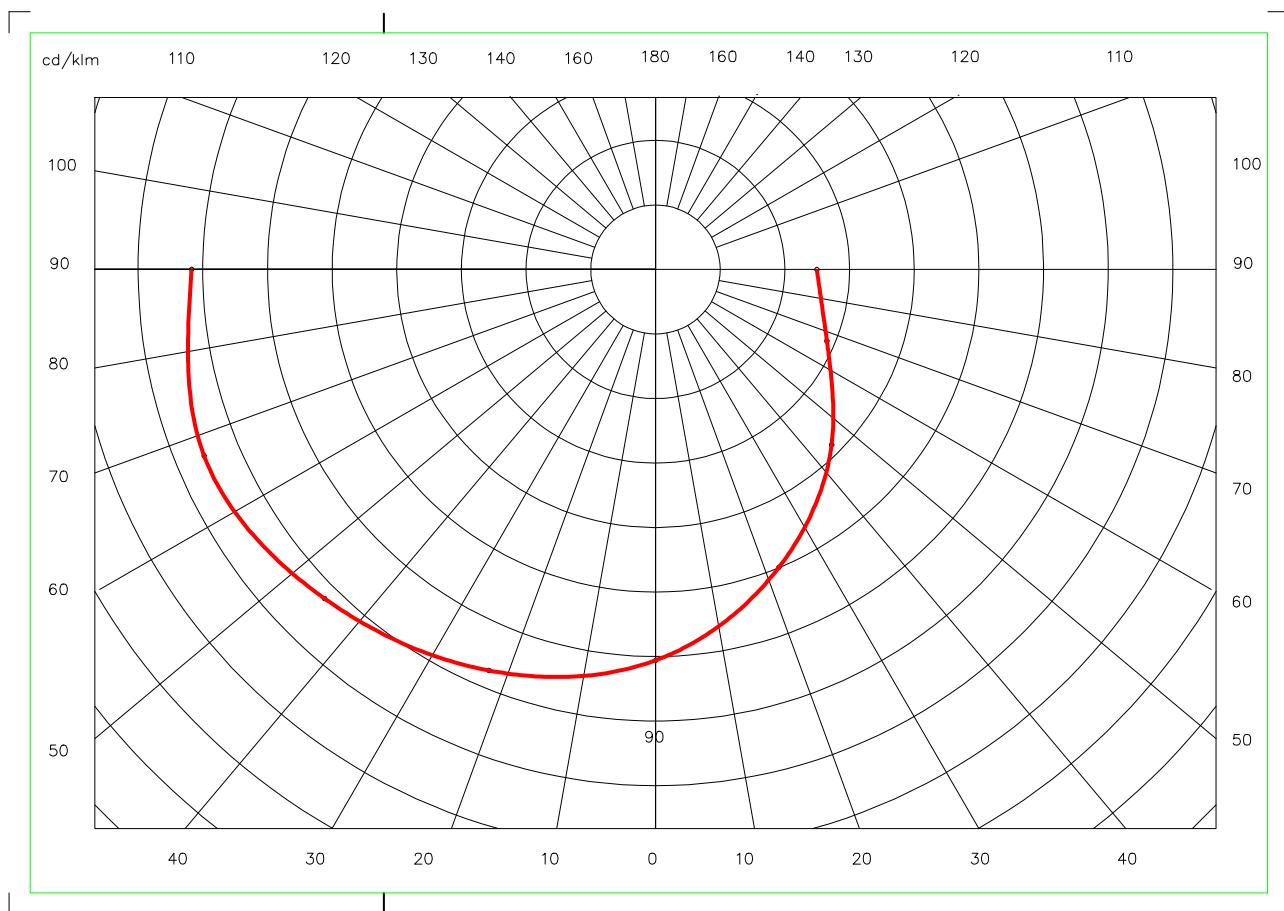
KUVA 11, Lamppu 1 Valonjakokäyrä



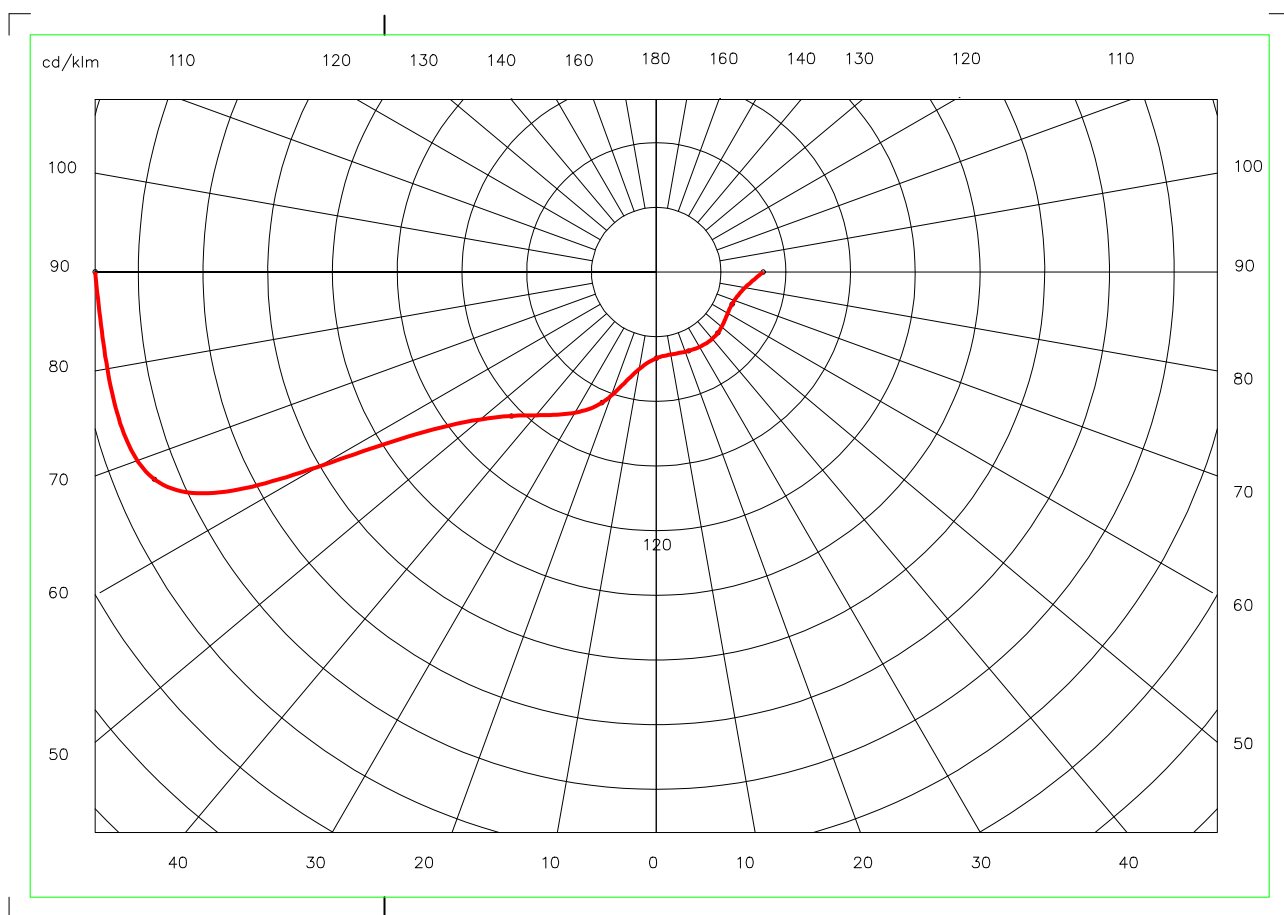
KUVA 12. Lamppu 2 valonjakokäyrä



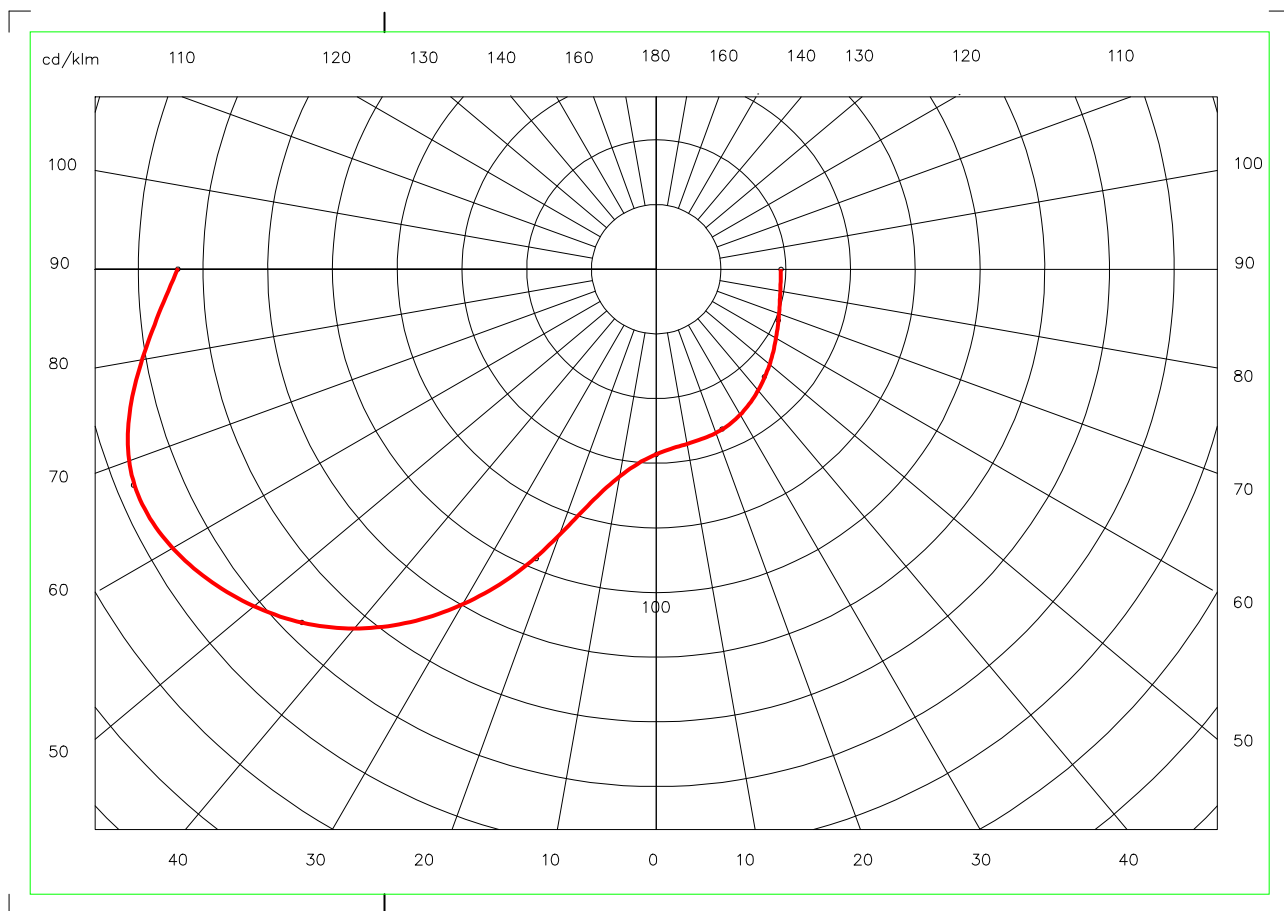
KUVA 13. Lamppu 3 valonjakokäyrä



KUVA 14. Lamppu 4 valonjakokäyrä

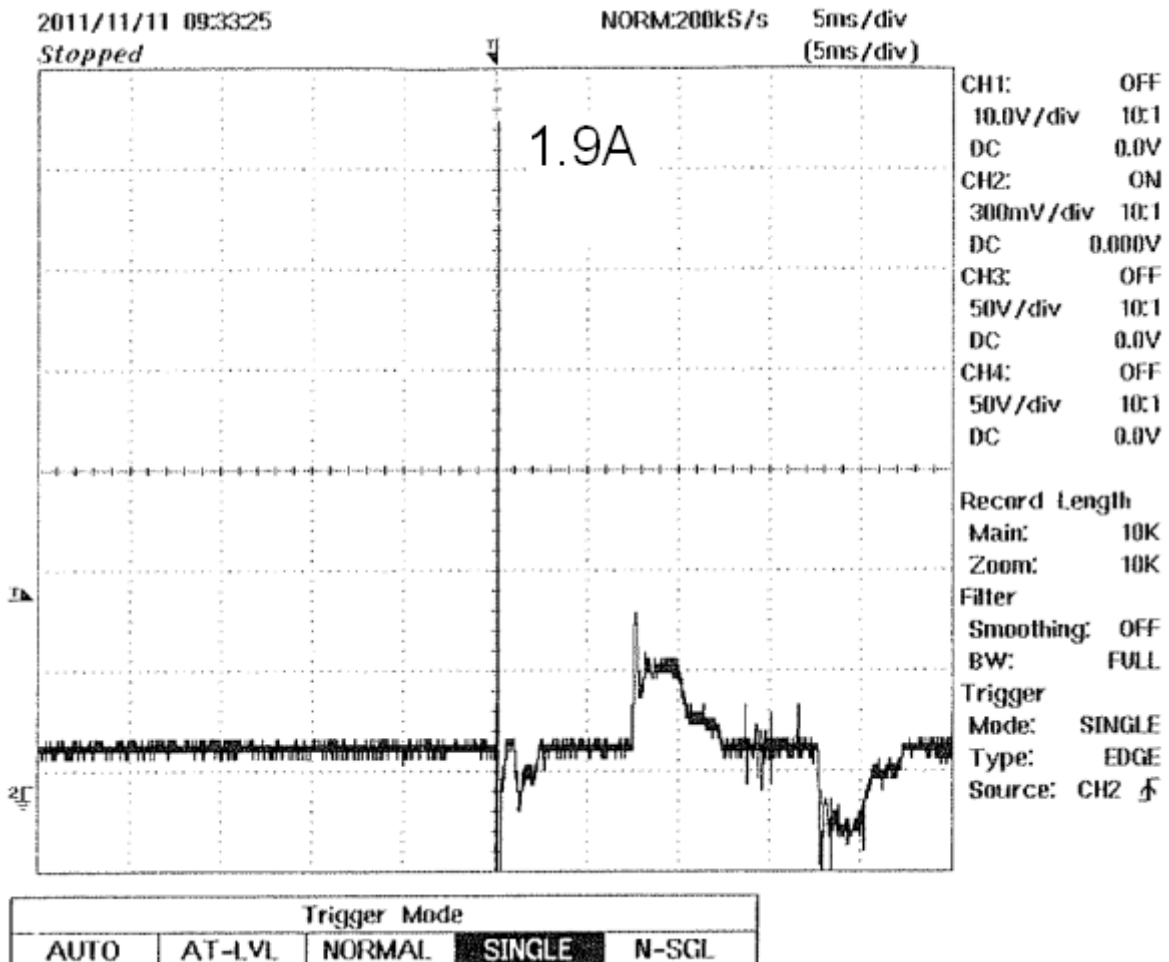
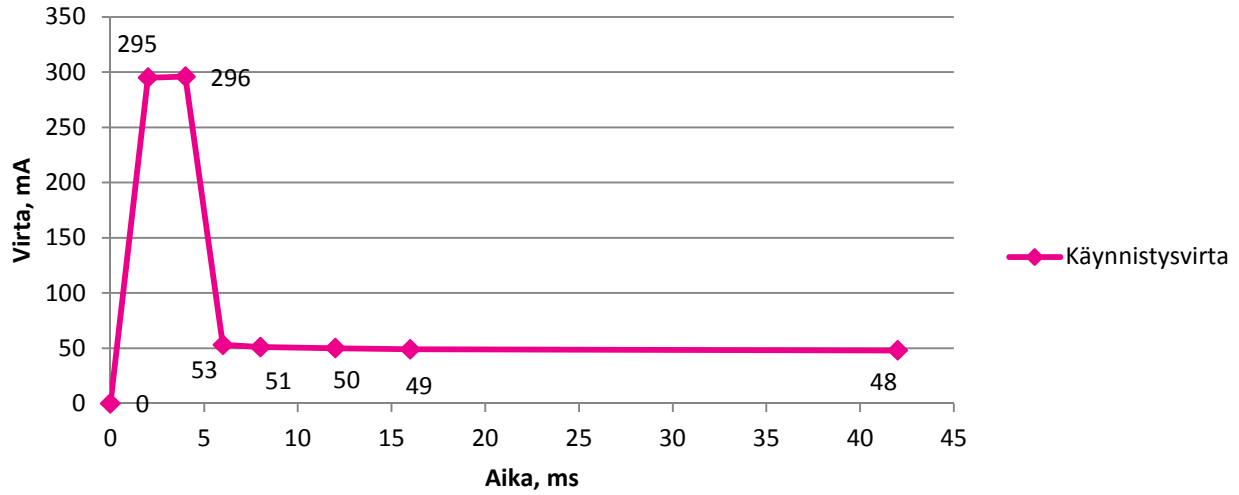


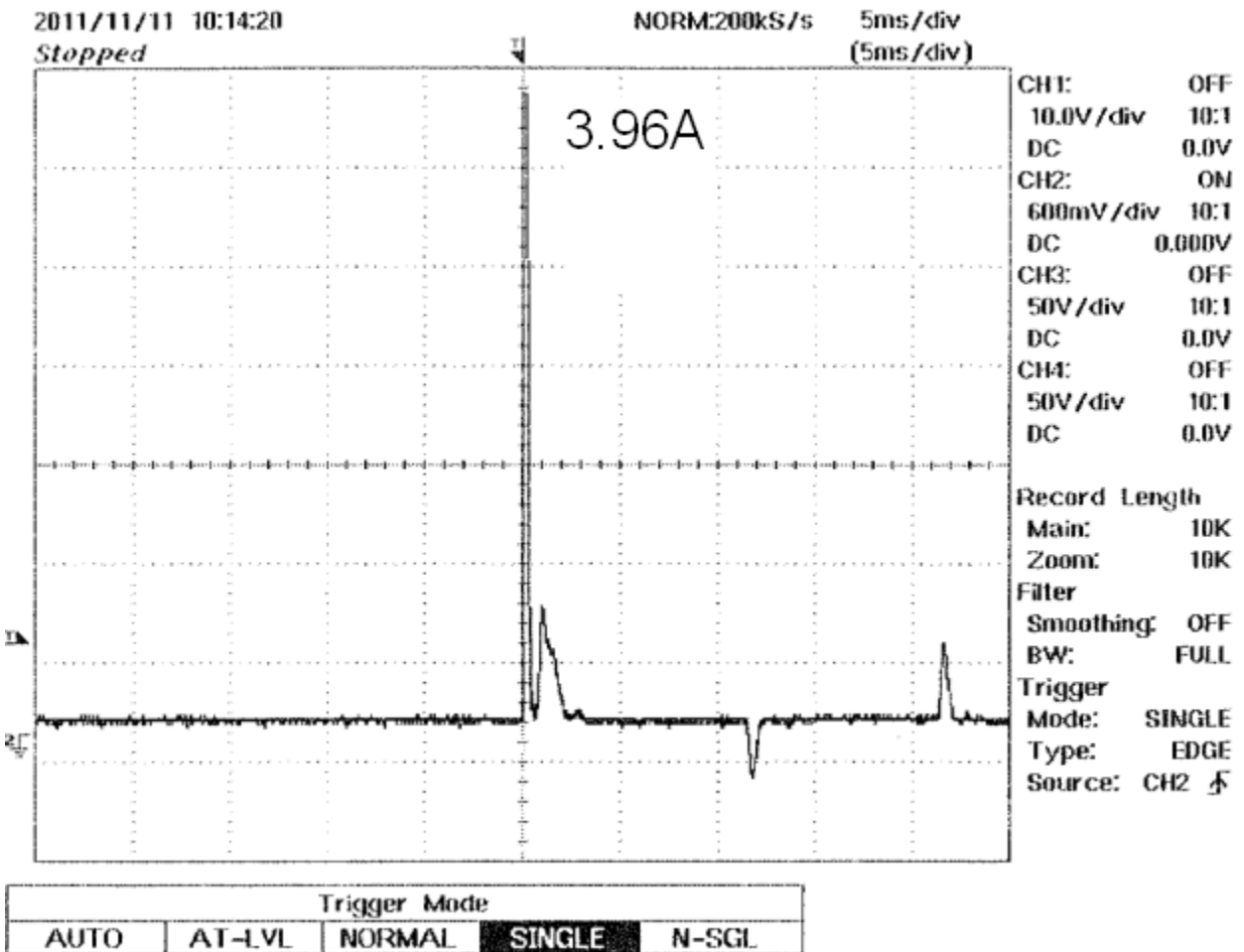
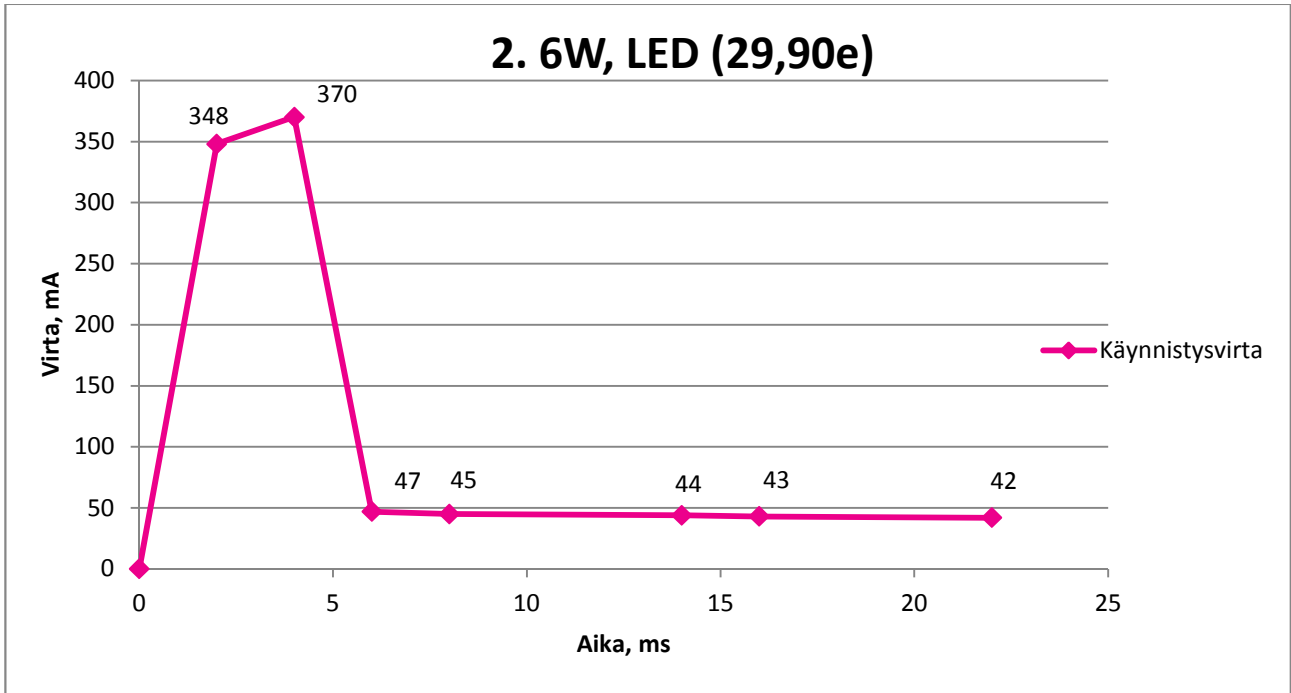
KUVA 15. Lamppu 5 valonjakokäyrä



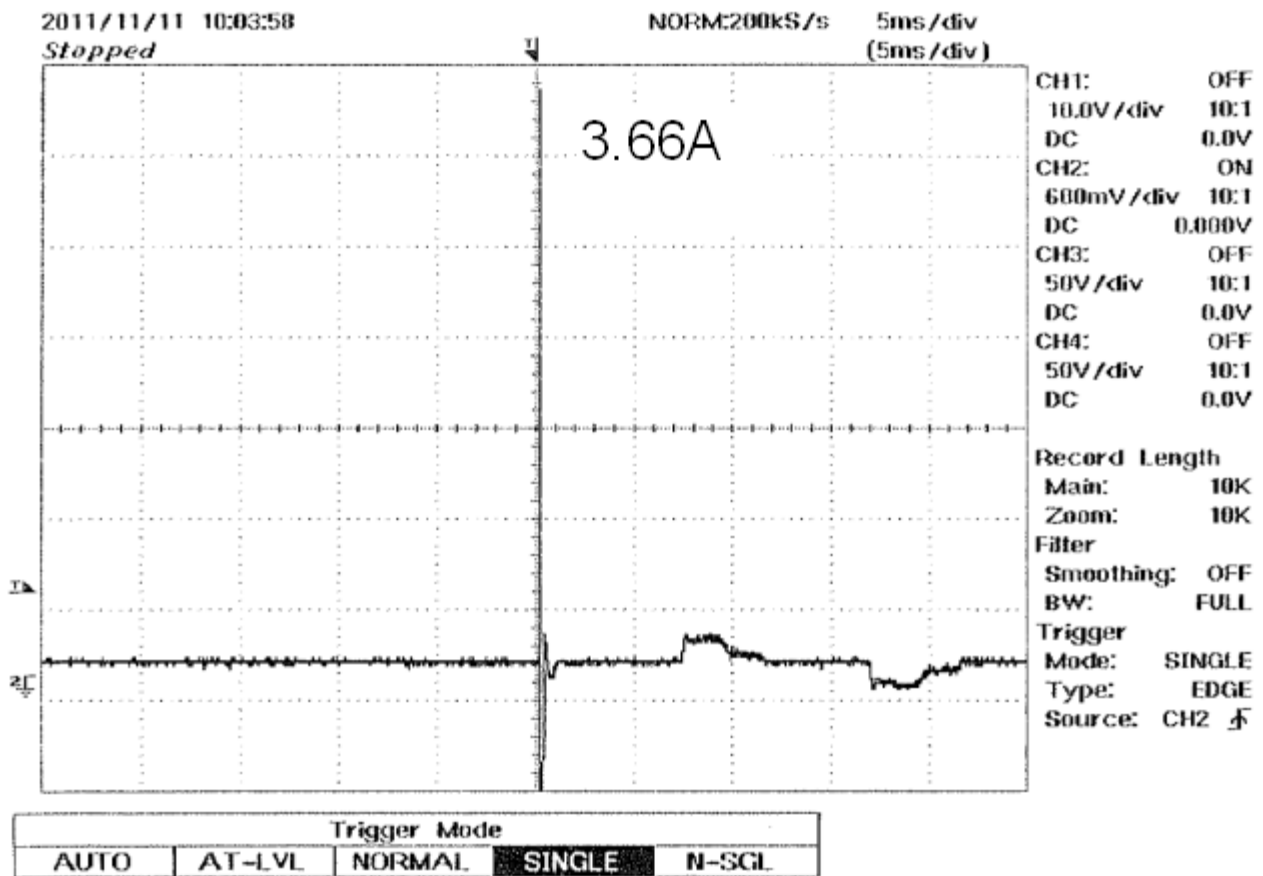
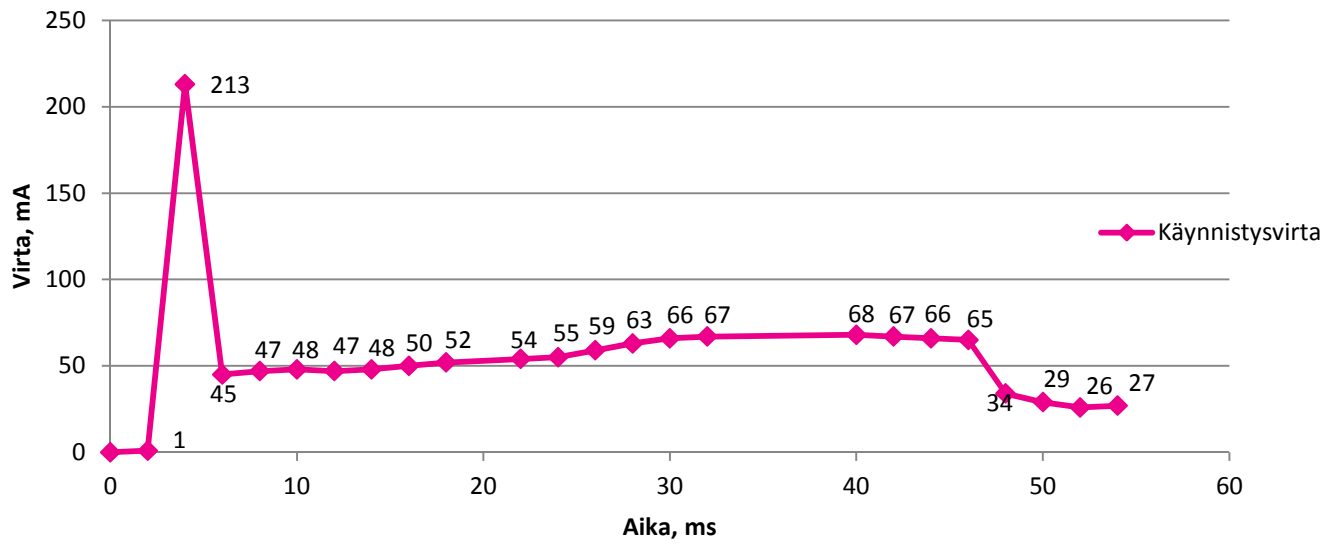
KUVA 16. Lamppu 6 valonjakokäyrä

### 1. 11W, PI (0,99e)

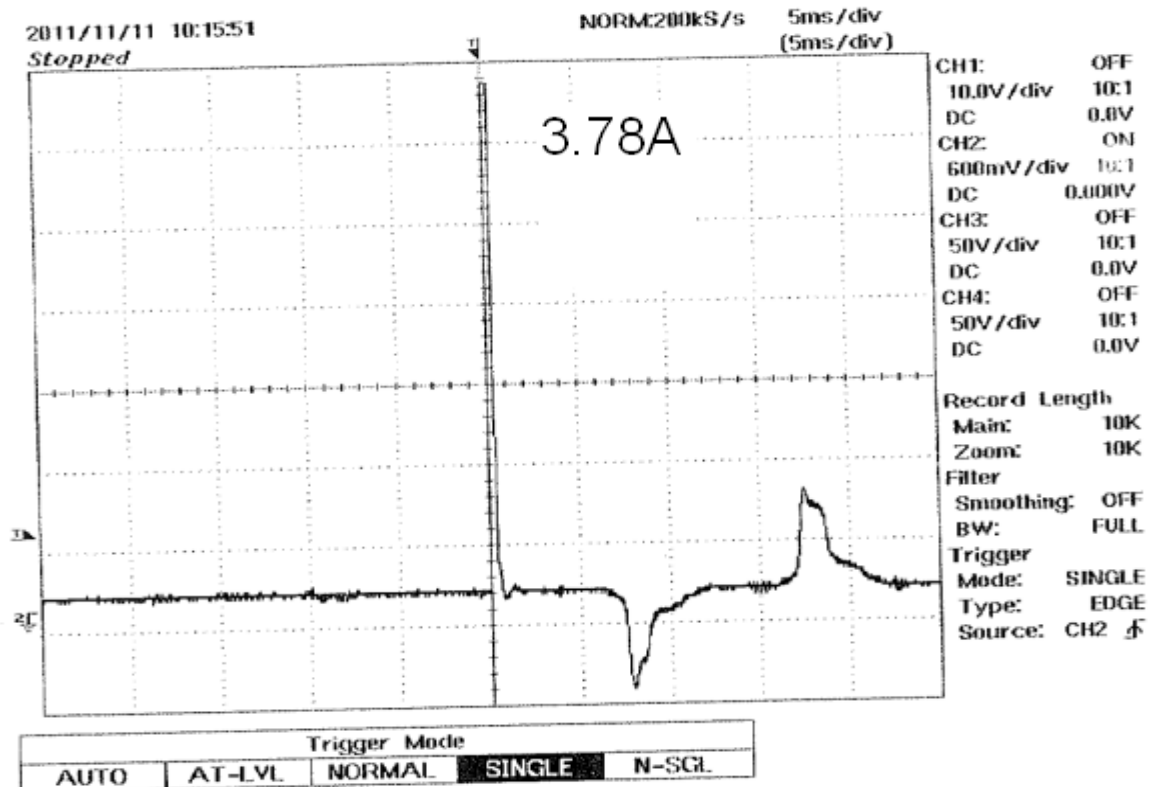
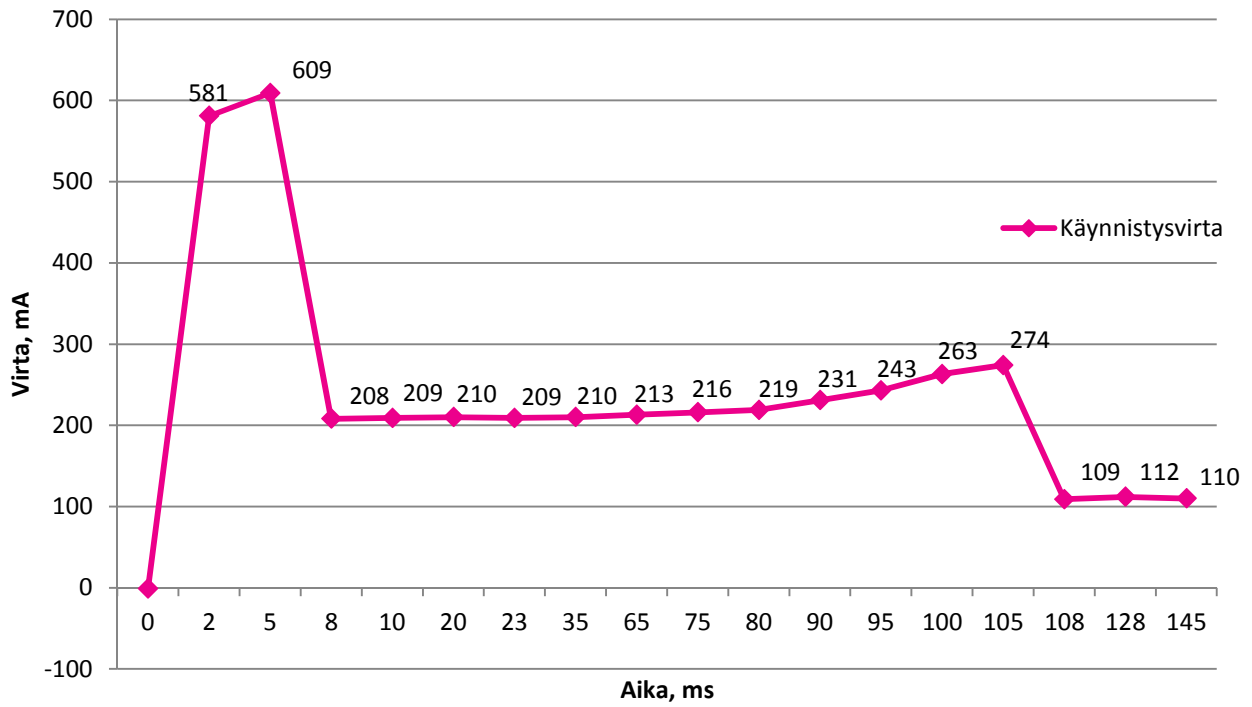




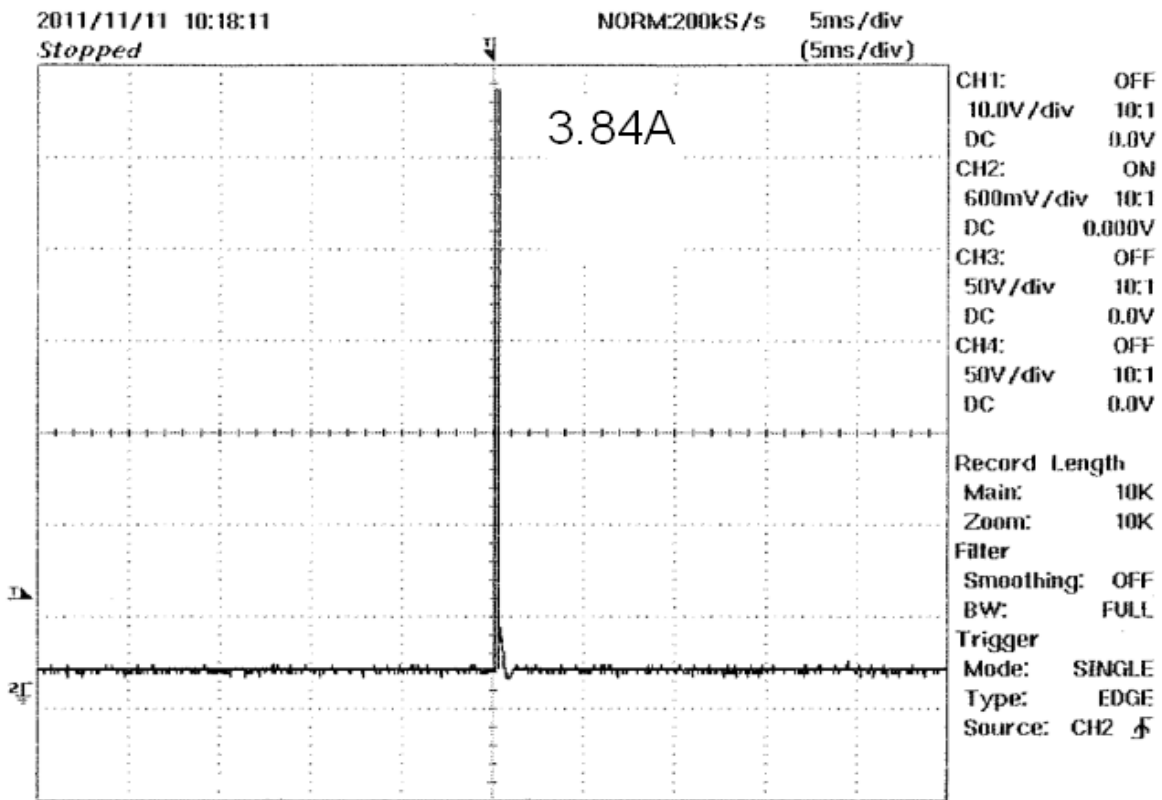
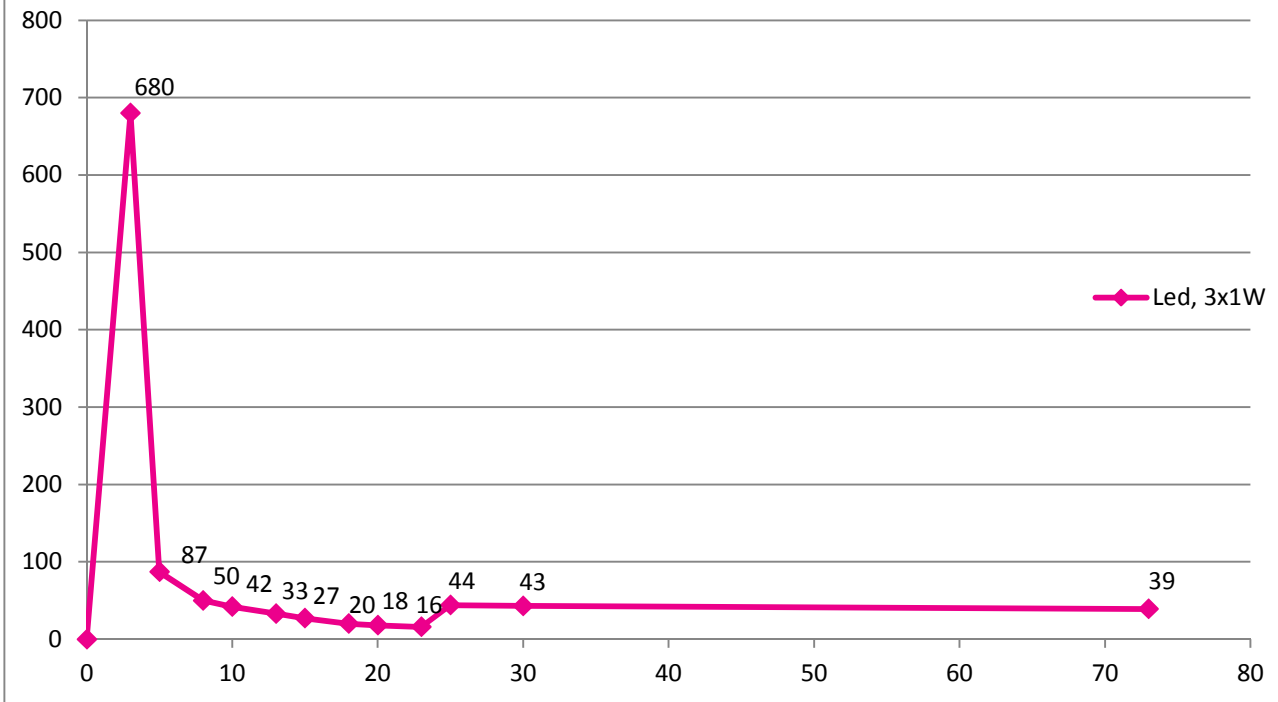
### 3. 7W, PL(7 e)



### 4. 20W,PL, Ulko (19,90e)



### 5. Led, 3W



Trigger Mode				
AUTO	AT-LVL	NORMAL	<b>SINGLE</b>	N-SGL

### 6. 6W, Kylmäkatodi (7 e)

