

Tony Katajisto

LED-LAMPPUJEN VAIKUTUKSET SÄHKÖN LAATUUN

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2015

LED-LAMPPUJEN VAIKUTUKSET SÄHKÖN LAATUUN

Katajisto, Tony
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2015
Ohjaaja: Perkiö, Tauno
Sivumäärä: 45
Liitteitä: 3

Asiasanat: LED, sähkön laatu, yliaallot, himmentimet, häiriöt

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia hehkulampun korvaavia E27-kantaisia LED-lamppuja sekä niiden aiheuttamia vaikutuksia sähkön laatua ajatellen. Lisäksi selvitettiin, millaisia vaikutuksia LED-lampuille soveltuvilla himmentimillä on sähkön laatuun. Mittausten valmistuttua osa lampuista myös purettiin niiden rakenteen sekä lamppujen välisten erojen selvittämiseksi.

Mittausten perusteella todettiin, että LED-lamput aiheuttavat yliaaltoja ja loistehoa syöttävään sähköverkkoon ja himmentimet lisäävät häiriöiden määrää entisestään. Nämä häiriöt eivät kuitenkaan vielä aiheuta ongelmia LED-lamppujen tavallisessa kotitalouskäytössä. Koska LED-lamppujen käyttö lisääntyy, tulevaisuudessa sähköverkon häiriöiden suodatuksen tarve saattaa kasvaa, mikäli lamppukohtainen häiriöiden suodatus ei tule valmistajille pakolliseksi.

THE EFFECTS ON THE POWER QUALITY CAUSED BY LED LIGHT BULBS

Katajisto, Tony

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

May 2015

Supervisor: Perkiö, Tauno

Number of pages: 45

Appendices: 3

Keywords: LED, power quality, harmonics, dimmers, interferences

The purpose of this thesis was to study LED light bulbs with an E27 socket replacing the old incandescent light bulbs and also to study the effects on the power quality caused by them. The effects on the power quality caused by LED compatible dimmers were also studied. After the measurements were completed, a proportion of the LED light bulbs were dismantled to find out the structure and the differences between them.

LED light bulbs were found to cause harmonics and reactive power to the electrical network and dimmers to increase the amount of the interferences further. These interferences do not cause any problems in a normal domestic use yet. However, in the future when the use of LED light bulbs will grow, the need of filtering of interferences in the electrical network may increase, if the lamp-specific filtering of interferences will not be compulsory for the manufacturers.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KÄSITTEITÄ.....	6
3	TARKASTELTAVAT LAMPUT.....	9
4	LED-TEKNIikka VALAISTUKSESSA.....	10
4.1	Yleistä.....	11
4.2	Etuja.....	13
4.3	Haittoja.....	14
5	MITTAUKSET.....	16
5.1	Käytetyt mittalaitteet.....	16
5.1.1	Fluke 196C -oskilloskooppi.....	17
5.1.2	Fluke 43 -sähkönlaadun analysaattori.....	17
5.2	LED-lamput.....	18
5.2.1	Pätötehot ja virrat.....	18
5.2.2	Käynnistysvirrat ja -ajat.....	19
5.2.3	Virran ja jännitteen käyrämuodot.....	22
5.2.4	Virran yliaaltosisältö.....	27
5.3	Himentimien vaikutukset mittaustuloksiin.....	31
5.3.1	Himentimen valinta.....	31
5.3.2	Muutokset virran ja jännitteen käyrämuodoissa.....	35
5.3.3	Muutokset yliaaltosisällössä.....	37
5.4	Havaitut verkkovaikutukset ja suodatuksen tarve.....	40
6	E27-KANTAISEN LED-LAMPUN PURKAMINEN.....	41
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	43
	LÄHTEET.....	45
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

LED-lamput ovat alkaneet kiinnostaa kuluttajia energiatehokkuutensa ja valmistajien lupaaman pitkän käyttöiän myötä. Hintatasokin alkaa olla sitä luokkaa, että yhä useampi valitsee E27-kantaisen LED-lampun vanhan hehku- tai halogeenilampun tilalle.

LED-lamput – toisin kuin hehku- tai halogeenilamput – aiheuttavat kuitenkin häiriöitä syöttävään sähköverkkoon sekä lähistöllä tapahtuvaan langattomaan tiedonsiirtoon. Niiden sisältämä elektroniikka saa aikaan virran vääristymisen, joka lisää sähköjakoalueen verkkovirran yliaaltoisuutta ja mahdollisesti myös jännitteen säröä.

LED-valaisimien käytön lisääntyessä valaistuksessa yliaaltojen suodattamisen tarve kasvaa aiheuttaen sähköyhtiöille lisäkustannuksia. Tämä johtuu siitä, että lamppukohtaiselle häiriöiden suodatukselle ei ole tällä hetkellä voimassa olevaa laitestandardia. Jos häiriöiden suodatus jää sähköyhtiöiden tehtäväksi, se tulee ennen pitkää näkymään myös kuluttajan sähkölaskussa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli verrata kuuden eri valmistajan, yleisesti kuluttajien saatavilla olevan E27-kantaisen LED-lampun vaikutuksia sähkön laatuun. Kunkin valmistajan lamppuja hankittiin kuusi kappaletta satunnaisuuksien poistamiseksi mittaustuloksista. Lisäksi työtä varten tilattiin LED-lampuille soveltuvia himmentimiä, joiden aiheuttamia verkkovaikutuksia myös tutkittiin. Lopuksi osa LED-lampuista purettiin niiden rakenteen sekä lamppujen välisten eroavaisuuksien selvittämiseksi.

Työhön liittyvät mittaukset suoritettiin Satakunnan ammattikorkeakoulun Tiedepuisto B:n sähkölaboratoriossa. Mittauksia tehtiin myös Rauman EMC-laboratoriossa liittyen LED-lamppujen aiheuttamiin sähkömagneettisiin häiriöihin, mutta niihin keskitytään tarkemmin toisessa opinnäytetyössä.

2 KÄSITTEITÄ

Pätöteho (P)

Vaihtosähköpiirin kuluttama todellinen teho, jossa tehokerroin on huomioitu. Pätötehon SI-yksikkö on watti (W). Perustaajuudelle pätee:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi$$

Kaavassa U_1 ja I_1 ovat jännitteen ja virran tehollisarvot ja φ niiden välinen vaihesiirtokulma. Kun vaihtosähköpiirissä on harmonisia, kokonaispätöteho P on laskettava perustaajuuden ja harmonisten taajuuksien pätötehojen summana.

Loisteho (Q)

Loisteho on työtä tekemätöntä tehoa, joka aiheuttaa virran kasvua ja kuormittaa siirtojohtoja. Loistehon SI-yksikkö on vari (VAr). Perustaajuudelle pätee:

$$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi$$

Näennäisteho (S)

Vaihtosähköpiirin käyttämän jännitteen ja virran tulo. Näennäistehon laskemisessa ei huomioida virran ja jännitteen vaihe-eroa, joten se ei ole piirin todellinen teho. Näennäistehon SI-yksikkö on voltiampeeri (VA). Perustaajuudelle pätee:

$$S_1 = U_1 I_1$$

Tehokerroin (PF)

PF (Power Factor) on kokonaispätötehon suhde kokonaisnäennäistehoon:

$$PF = \frac{P}{S}$$

Induktiivisilla kuormilla virta on jännitettä jäljessä, kun taas kapasitiivisilla kuormilla virta on jännitettä edellä. Harmoniset yliaallot alentavat tehokerrointa.

Tehokerroin lasketaan kokonais-rms-arvon perusteella. Siihen siis vaikuttavat kaikki harmoniset yliaallot. *Taulukosta 1* nähdään tehokertoimen arvosta pääteltävissä olevat seikat. (Fluke 43B Applications Guide [2001], 77.)

Taulukko 1. Tehokertoimen arvosta pääteltävät seikat

PF	Merkitys
0 – 1	Laite ei käytä kaikkea syötettyä tehoa, loistehoa esiintyy
1	Laite käyttää koko syötetyn tehon, loistehoa ei esiinny
-1	Laite tuottaa tehoa, virta on vaiheessa jännitteen kanssa
-1 – 0	Laite tuottaa tehoa, virta on joko jännitettä edellä tai jäljessä

Harmoninen yliaalto

Sinimuotoinen signaalin osa, joka on verkkotaajuuden (Suomessa 50 Hz) perusaallon monikerta. Harmonisia yliaaltoja aiheuttavat erityisesti nykypäivän elektroniikkalaitteet, joiden ottama virta on pulssimaista. Pulssimainen virta saa aikaan virran ja jännitteen säröytymisen. Harmonisten yliaaltojen haittoja ovat johtojen, liitosten, moottoreiden ja muuntajien ylikuumentuminen sekä suojakytkimien tarpeeton laukeaminen. *Taulukossa 2* on esitetty yliaaltojen järjestysluvut. (Fluken www-sivut 2015.)

Taulukko 2. Yliaaltojen järjestysluvut

Järjestysluku	f	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	...
Taajuus [Hz]	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	...
Jakso	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	...

Harmoninen kokonaissärö THD (Total Harmonic Distortion)

$THD - f$ kertoo harmonisten jännitteiden (tai virtojen) osuuden perusaallosta seuraavan kaavan mukaisesti:

$$THD - f = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_1}$$

$THD - r$ on harmonisten jännitteiden (tai virtojen) osuus koko tehollisarvoisesta jännitteestä (tai virrasta) kaavan

$$THD - r = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots}}$$

mukaisesti. Kaavoissa U_1 on perusaallon tehollisarvo ja U_2, U_3, U_4, \dots harmonisten yliaaltojen tehollisarvot. Kokonaissärö voidaan laskea samoin virralle korvaamalla kaavoissa jännite (U) virralla (I). THD-arvot ilmaistaan prosentteina.

Perusaallon tehokerroin DPF ($\cos \varphi$)

DPF (Displacement Power Factor) on perustaajuisen pätötehon suhde perustaajuiseen näennäistehoon:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1} = DPF$$

Induktiivisilla kuormilla virta on jännitettä jäljessä, kun taas kapasitiivisilla kuormilla virta on jännitettä edellä. Perusaallon tehokerroin lasketaan signaalin perusaallon perusteella, joten harmoniset yliaallot eivät vaikuta arvoon. *Taulukosta 3* nähdään perusaallon tehokertoimen arvosta pääteltävissä olevat seikat. (Fluke 43B Applications Guide [2001], 75.)

Taulukko3. Perusaallon tehokertoimen arvosta pääteltävät seikat

DPF	Merkitys
0 – 1	Laite kuluttaa tehoa, virta on jännitettä edellä tai jäljessä
1	Laite kuluttaa tehoa, virta on vaiheessa jännitteen kanssa
-1	Laite tuottaa tehoa, virta on vaiheessa jännitteen kanssa
-1 – 0	Laite tuottaa tehoa, virta on jännitettä edellä tai jäljessä

Valovirta (Φ)

Valovirta ilmaisee valonlähteen tarkasteltavaan avaruuskulmaan säteilemää näkyvän valon kokonaismäärää. Valovirran SI-yksikkö on luumen (lm). Esimerkiksi 60 watin hehkulampun tuottama valovirta on noin 800 luumenia.

Väriämpötila

Väriämpötilan SI-yksikkö on kelvin (K). Väriämpötilalla ilmaistaan, minkä sävyistä valoa valonlähde tuottaa. Esimerkiksi tavallisen hehkulampun väriämpötila on noin 2700 K. Valo on sitä viileämmän sävyistä, mitä korkeampi väriämpötila on.

Värintoistoindeksi

Värintoistoindeksi ilmaisee valonlähteen värintoistokykyä, eli kuinka luonnollisilta värit näyttävät kyseisessä valossa. Luku ilmaistaan Ra-indeksillä, tai usein myös englanninkielistä lyhennettä CRI (Color Rendering Index) käyttäen. Indeksiluku ilmoitetaan välillä 0-100. Sisätilojen valaistukseen käytettävien lamppujen suositeltu minimiarvo on 80. Värintoistokyky on sitä parempi, mitä suurempi luku on. (Pasanen 2015, 10.)

3 TARKASTELEVAT LAMPUT

Tarkasteluun valittiin kuusi LED-lamppua eri valmistajilta, jokaista kuusi kappaletta mittaustulosten oikeellisuuden varmistamiseksi. Lamppumerkeiksi valikoituivat Duracell, GE, Led Energie, Megaman, Osram sekä Star Trading (*Liite 1*). Lamput ovat keskenään hyvin samanlaisia, yleisesti kuluttajien saatavilla olevia E27-kantaisia lamppuja, jotka vastaavat valovirraltaan 60 watin hehkulamppua. Valituista kuudesta lamppumerkistä vain GE ja Osram olivat himmennettävää mallia, mutta myöhemmin himmentimiä testattaessa saatiin mielenkiintoisia tuloksia myös muilla lampuilla.

Taulukkoon 4 on koottu lamppujen pakkauksissa ilmoitettuja tietoja. Lamppujen hinnat on kerätty eri yritysten Internet-sivuilta 29.3.2015, lukuunottamatta Star

Tradingiä, jonka hintana on tähän työhön ostettujen lamppujen silloinen myyntihinta. Hinnat ovat suuntaa antavia ja vaihtelevat luonnollisesti myyntipaikasta riippuen.

Taulukko 4. Tarkasteltavien lamppujen hinnat ja valmistajien ilmoittamat tiedot

Lamppumerkki	Duracell	GE	Led Energie	Megaman	Osram	Star Trading
Himmennettävä	Ei	Kyllä	Ei	Ei	Kyllä	Ei
Hinta [€]	7,90	20,90	7,90	9,60	9,95	11,41
Kanta	E27	E27	E27	E27	E27	E27
Käynnistysaika [s]	Instant	< 1	0,5	Instant	0s 60 %	Instant
Käynnistyskerrat	40 000	25 000	≥ 20 000	1 000 000	100 000	12 500
Käyttöikä [h]	15 000	25 000	30 000	15 000	25 000	25 000
Teho P [W]	9,5	12	10	9,5	10	10,5
Valovirta Φ [lm]	806	810	806	810	806	806
Väriämpötila [K]	2 700	2 700	3 000	2 800	2 700	2 700
Ra-indeksi (CRI)	> 80	> 80	80	80	80	80

4 LED-TEKNIikka VALAISTUKSESSA

LED-tekniikka on saavuttanut kuluttajien suosion alhaisen sähkönkulutuksen ja hintojen laskemisen myötä. LED-lamppujen etuihin kuuluu energiatehokkuuden lisäksi muun muassa niiden alhainen lämpötila. LEDin tuottama lämpö johdetaan pois sirusta, eikä LED-valo itsessään säteile lämpöä kuten hehku- tai halogeenilamput. LED-lamppu säteilee siis huomattavasti vähemmän lämpöä ympäristöönsä, kuin saman valovirran tuottava hehku- tai halogeenilamppu. Alhainen pintalämpötila on myös turvallisuustekijä, kun verrataan LED-lamppuja esimerkiksi halogeenilamppuihin, joiden pintalämpötila voi olla hyvinkin korkea.

LED-lampuilla on kuitenkin myös haittapuolensa, joihin kuuluvat vielä korkeahko hinta, usein korkea käynnistysvirta, virran yliaaltosisältö sekä huono lämmönsieto. LED-lamppujen laatu vaihtelee myös suuresti eri valmistajien välillä.

4.1 Yleistä

LED (Light-Emitting Diode) on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa kun se kytketään matalaan tasajännitteeseen. LEDin tuottaman valon väri riippuu LEDin valmistuksessa käytetystä puolijohdemateriaalista. Kunkin värisellä LEDillä on oma kynnysjännitteensä, joka vaihtelee noin kahden ja neljän voltin välillä. LEDejä on jo vuosikymmenet käytetty muun muassa elektronisten laitteiden merkkivaloina, mutta valkoista valoa tuottavat yleisvalaistuskäyttöön sopivat LEDit ovat yleistyneet vasta viime vuosina.

LED vaatii aina virranrajoituksen. Merkkilampuissa on perinteisesti käytetty sarjavastusta, mutta valaistuskäytössä se ei ole hyvä ratkaisu, koska se lisää tehonkulutusta. Näin ollen virranrajoitus on tehtävä teholähteen avulla.

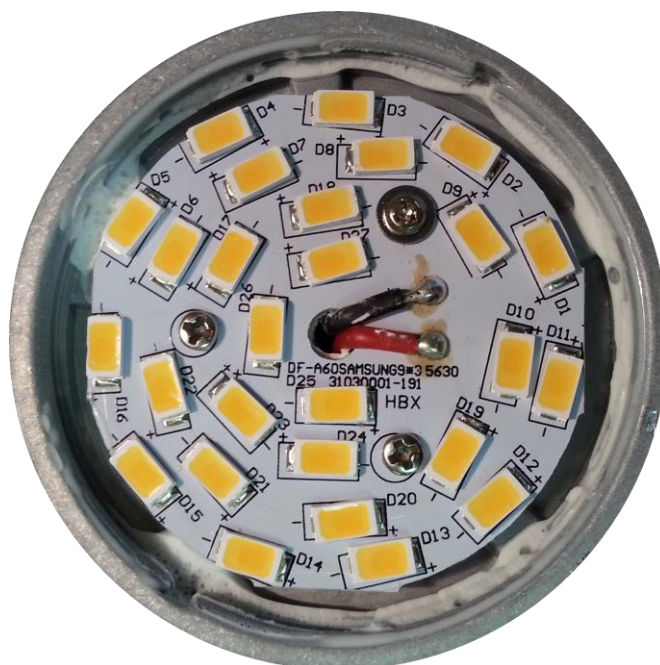
Koska LEDit tarvitsevat matalan tasajännitteen toimiakseen, ei niitä voi kytkeä suoraan verkkojännitteeseen. Hehkulampun korvaavien LED-lamppujen sisällä onkin piirikortti, jossa lampun kannalle tuleva 230 voltin vaihtojännite tasasuunnataan ja muunnetaan teholähteen avulla LEDeille sopivaksi tasajännitteeksi. Tässä työssä purettujen LED-lamppujen sisältämä elektroniikka on kuvattu *liitteessä 2*. Kuvasta nähdään kunkin lampun sisältämän elektroniikan poikkeavan hieman toisistaan.

LEDin tuottaman valon väri rajautuu aina hyvin kapealle aallonpituusalueelle, ja valon väri riippuu käytetystä puolijohdemateriaalista. Koska valkoinen valo on kaikkien värien sekoitus, on sen spektri ainoa, jota LED-siru ei pysty suoraan tuottamaan. (Osramin [www-sivut 2015](#).)

Koska LED ei komponenttina itsessään säteile valkoista valoa, sen tuottamiseksi käytetään eri tekniikoita. Valaistuksessa käytettävää valkoista valoa saadaan päällystämällä sininen LED fosforipitoisella materiaalilla. Mitä enemmän tätä fluoresoivaa ainetta lisätään LEDin päälle, sitä vähemmän valon seoksessa on sinistä, ja sitä lämpimämmän sävyistä valo on. Useimmissa LED-lampuissa käytetään tekniikkaa, jossa fluoresoiva aine on lisätty suoraan sinistä valoa tuottaviin LED-siruihin. Toinen tapa on lisätä fosforia sinisten LEDien ryhmän peittävään valoa hajottavaan materiaaliin. (Philipsin [www-sivut 2015](#).)

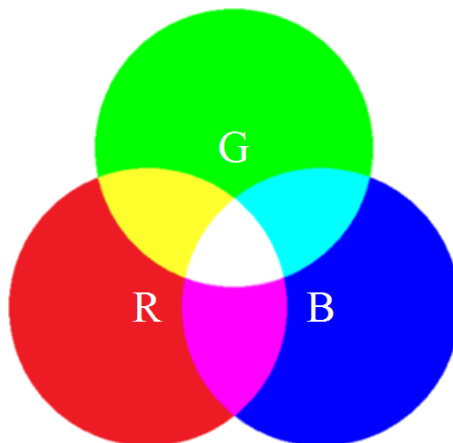
Tässä työssä käytettyjä LED-lamppuja purettaessa todettiin, että jokaisessa kuudessa lampussa fosforipitoinen aine oli lisätty suoraan siruihin. Tämä onkin yleinen E27-kantaisissa LED-lampuissa käytetty tekniikka.

Kuvassa 1 on Star Tradingin LED-lamppu ilman kupua. Kyseisessä lampussa LEDEjä oli puretuista lampuista toiseksi eniten, 27 kappaletta.



Kuva 1. LED-lamppu, jonka piirikortissa on 27 fluoresoivalla loisteaineella päällystettyä sinistä LEDiä

Toinen menetelmä valkoisen valon tuottoon perustuu kolmen eriväristä valoa säteilevän LEDin yhteiskäyttöön, jossa käytetään punaista, vihreää ja sinistä (RGB) LEDiä (*Kuva 2*). Menetelmän hyötynä on, että ohjauksen avulla saadaan tuotettua sekä värillistä että valkoista valoa. Tämä menetelmä on käytössä esimerkiksi LED-televisioissa, joissa sekä kuva että taustavalaistus on toteutettu LED-tekniikalla. (Osramin www-sivut 2015.)



Kuva 2. RGB-värimalli havainnollistaa valkoisen valon syntyä punaista, vihreää ja sinistä väriä yhdistämällä

4.2 Etuja

LED-lamppujen yksi merkittävä etu muihin valaistustekniikoihin verrattuna on niiden pitkä käyttöikä. Tässä työssä tutkittavien LED-lamppujen valmistajien ilmoittama käyttöikä vaihteli 15 000 tunnista 30 000 tuntiin, kun taas esimerkiksi E27-kantaisille halogeeneille käyttöikäksi luvataan vain noin kaksituhatta ja hehkulamput noin tuhat tuntia. Energiansäästölamput pääsevät lähes LED-lamppujen lukemiin, mutta ne eivät anna täyttä valotehoa heti käynnistettäessä, eivätkä tämän vuoksi sovellu kaikkiin käyttötarkoituksiin. Ilmoitettuun käyttöikäkään kannattaa kuitenkin suhtautua varauksella, sillä LEDien käyttöikään vaikuttaa myös ympäristön lämpötila.

LED-lamppujen etuihin esimerkiksi energiansäästölamppuihin verrattuna kuuluu myös se, että ne antavat täyden valotehon käytännössä heti käynnistyshetkestä lähtien. Lisäksi ne toimivat hyvin myös kylmässä soveltuen näin myös ulkokäyttöön. Ne eivät myöskään sisällä elohopeaa tai muita raskasmetalleja, joten ne ovat täten myös ympäristöystävällisempi vaihtoehto energiansäästölamputteille.

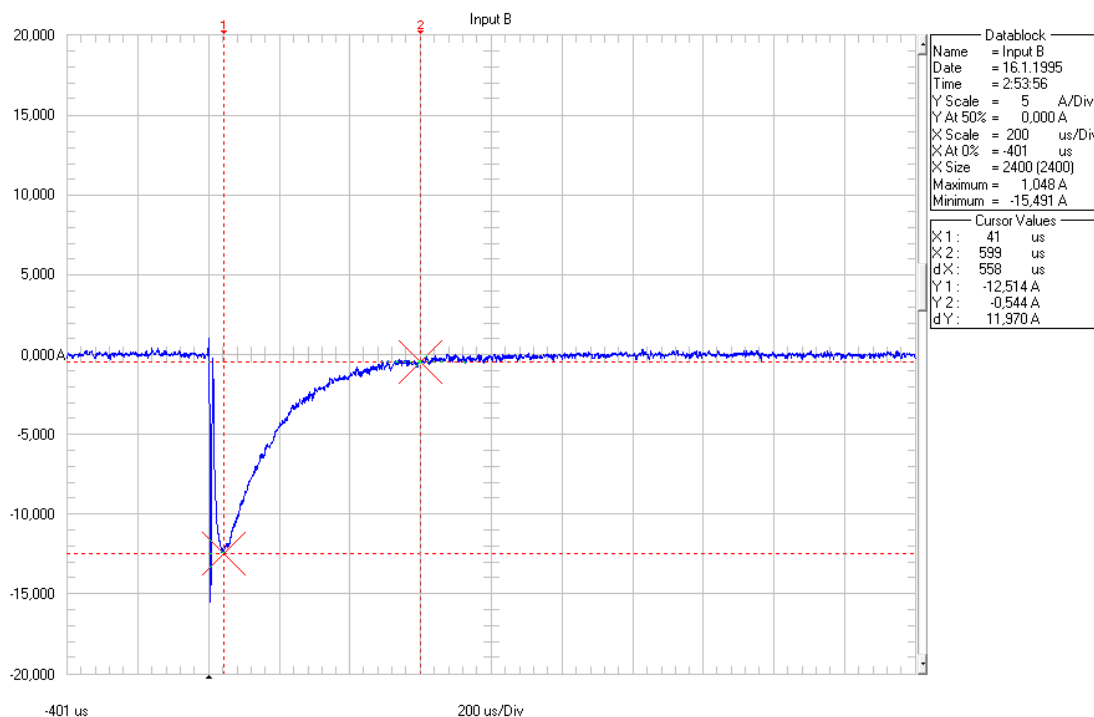
Ehkä kuitenkin tärkeimpänä etuna voidaan pitää LEDien alhaista energiankulutusta. Jo noin kymmenen watin LED-lamppu vastaa valovirraltaan 60 watin hehkulamppua. Tuhannen tunnin aikana tämä kymmenen watin LED-lamppu kuluttaa kymmenen kilowattituntia energiaa ($0,01 \text{ kW} * 1000 \text{ h} = 10 \text{ kWh}$)

hehkulampun kuluttaessa vastaavasti 60 kilowattituntia energiaa samassa ajassa. Säästö on siis noin 83 prosenttia sähkönkulutuksessa, mikäli hehkulampun lämmitystehoa ei oteta huomioon. Hehkulamppujen lämmöntuotto on kuitenkin huonosti hyödynnettävissä, sillä niiden tuottama lämpö jää usein huoneen kattoon, jolloin vain osa voidaan saada talteen, mikäli asunnon ilmanvaihtojärjestelmä on varustettu lämmöntalteenotolla.

4.3 Haittoja

LED-lampuilla on kuitenkin myös haittapuolia. Niiden ottama korkeahko käynnistysvirtapiikki on yksi näistä. Mikäli lamppuja on samassa ryhmässä useita, voivat ne käynnistyshetkellä aiheuttaa johdonsuojakatkaisijan laukeamisen. Työpisteellä testattiin neljän LED-lampun käynnistämistä yhtäaikaaisesti, mutta niiden ottama käynnistysvirta ei kuitenkaan aiheuttanut 16 ampeerin c-tyyppin johdonsuojakatkaisijan laukeamista, vaikka käynnistysvirta kohosikin selvästi yli nimellisen toimintavirran. Käynnistysvirtapiikki onkin hyvin lyhytkestoinen, eikä kyseinen johdonsuoja ehdi tähän reagoimaan. Mikäli lamppuja käynnistettäisiin selvästi suurempi määrä samanaikaisesti, olisi johdonsuojakatkaisijan laukeaminen kuitenkin todennäköistä. Tarjolla on myös nopeammalla laukaisukäyrällä varustettuja johdonsuojakatkaisijoita, jotka reagoivat herkemmin tämäntyyppisiin virtapiikkeihin.

Kuvassa 3 on esitetty erään LED-lampun ottama käynnistysvirta. Kuvasta voidaan lukea virran korkeimmaksi arvoksi noin 12 ampeeria ja käynnistysvirran kestoajaksi noin 600 mikrosekuntia. Terävämpi, noin 15 ampeeriin yltävä piikki on mitä ilmeisimmin kytkimen sulkeutumisesta aiheutunut. Kyseessä on Led Energien lamppu, jonka käynnistysvirrat olivat kuudesta vertaillusta lampusta keskimäärin korkeimmat. Jokaisen lampun kohdalla käynnistysvirran arvo kuitenkin vaihteli eri käynnistyskertojen välillä.



Kuva 3. Esimerkki LED-lampun ottamasta käynnistysvirrasta

Epäiltiin, että lampun lämmitessä käynnistysvirran arvo vakiintuisi, joten mittaukset toistettiin myös lämpimille lampuille. Jokaisen lampun annettiin lämmitä viiden minuutin ajan, mutta lampun lämpötilalla ei havaittu olevan juurikaan merkitystä käynnistysvirran suuruuteen, vaan joka käynnistyskerralla lamput ottivat hieman erisuuruisen käynnistysvirran.

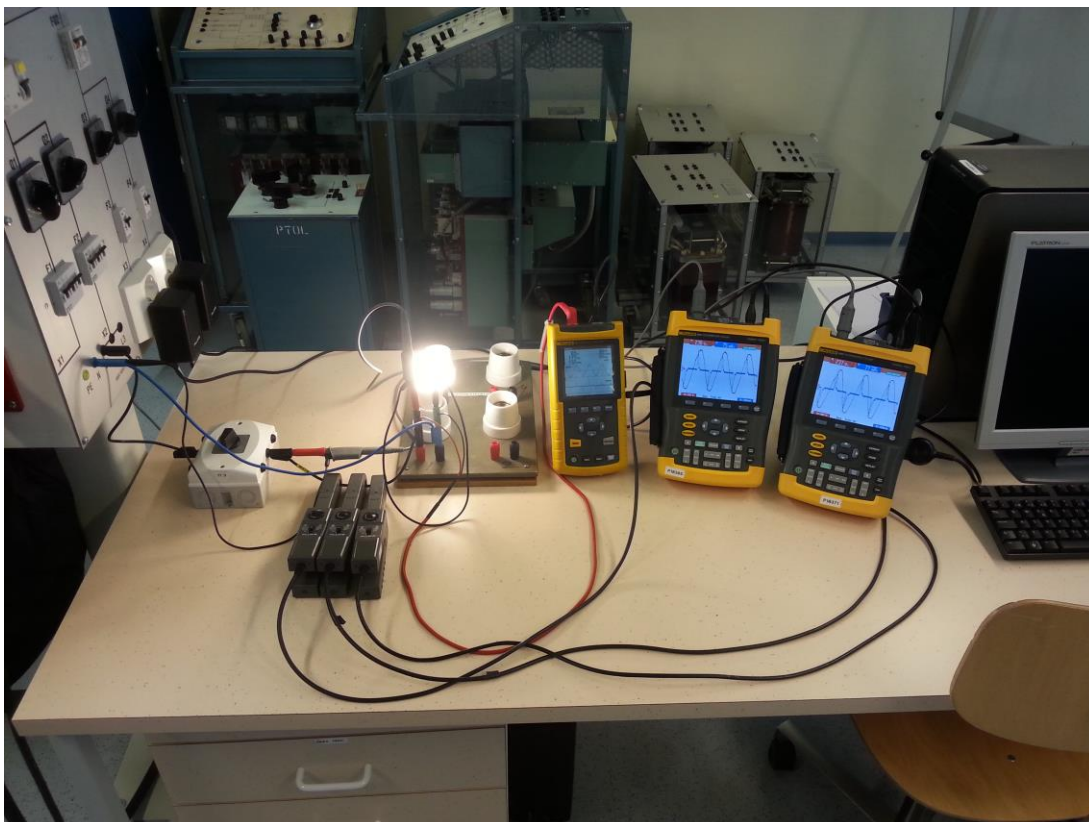
LED-lamput sietävät huonosti lämpöä. Ympäristön korkea lämpötila lyhentää LED-lamppujen käyttöikää tehden niistä huonosti soveltuvia esimerkiksi saunan valaistukseen. Saunaan soveltuvia LED-valaistusratkaisuja on toki olemassa, ja LEDit ovatkin suosittu valonlähde saneerauskohteissa ja uusissa saunatiloissa. E27-kantaisten LED-lamppujen käyttö hehkulampun korvaajana saunassa ei kuitenkaan ole järkevää, sillä niiden käyttöikä romahtaa yli 80 celsiusasteen lämpötilassa. Tästä syystä niiden käyttö on näissä olosuhteissa taloudellisesti kannattamatonta.

Vielä korkeahko hinta on myös monelle syy olla ostamatta LED-lamppua. Pitää kuitenkin muistaa, että LED-lamppu maksaa itsensä takaisin matalan energiankulutuksen ja pitkän käyttöiän myötä. Takaisinmaksuaika on luonnollisesti sitä lyhyempi, mitä enemmän lamppua käytetään.

5 MITTAUKSET

5.1 Käytetyt mittalaitteet

Mittaukset tehtiin Satakunnan ammattikorkeakoulun Tiedepuisto B:n sähkölaboratoriossa. Mittalaitteina toimivat kaksi Fluke 196C -oskilloskooppia sekä Fluke 43 -sähkönlaadun analysaattori virtapihteineen (*Kuva 4*). Lisäksi käytössä oli kytkentäalusta neljälle E27-kantaiselle lampulle sekä erillinen käyttökytkin mittausten helpottamiseksi. Mittaustulosten kirjaamiseen käytettiin työpisteen tietokonetta, jolla tulokset kirjattiin Excel-taulukoihin ja oskilloskooppien kuvat tallennettiin FlukeView-ohjelmaa käyttäen. *Taulukkoon 5* on kirjattu mittausten olennaisimpia tuloksia.



Kuva 4. Mittausjärjestelyt työpisteellä

Taulukko 5. LED-lamppujen sähköteknisten mittausten tuloksia

Lamppu	Duracell	GE	Led Energie	Megaman	Osram	Star Trading	LED X
I [mA]	79	69	102	76	45	50	50
P [W]	9,02	12,98	9,70	9,77	10,13	10,23	5,10
Sfund [VA]	9,58	14,65	11,55	10,50	10,25	11,32	5,30
Sfull [VA]	18,17	16,00	23,53	17,60	10,70	11,53	12,10
Qfund [VAr]	3,42	7,07	6,40	4,00	1,92	4,97	1,50
Qfull [VAr]	15,78	9,43	21,40	14,67	3,37	5,43	10,90
THD-r [%]	84,19	37,67	86,53	79,02	14,59	14,91	88,95
THD-f [%]	156,15	40,67	172,67	128,98	14,75	15,08	194,62
PF	0,50	0,81	0,42	0,55	0,95	0,88	0,43
cos φ	0,94	0,88	0,85	0,94	0,99	0,91	0,96

5.1.1 Fluke 196C -oskilloskooppi

Fluke 196C -oskilloskooppia käytettiin tutkittavien lamppujen käynnistysvirtojen ja -aikojen sekä virran ja jännitteen käyrämuotojen mittaamiseen. Mittaukset aloitettiin käyttämällä yhtä oskilloskooppia, mutta pian huomattiin, että yhdellä laitteella ei saatu mitattua käynnistysvirran suuruutta ja käynnistymiseen kuluva aikaa samalla kertaa. Otettiin siis käyttöön toinen oskilloskooppi, jolloin toinen laitteista asetettiin mittaamaan lampun käynnistysvirtaa ja toinen käynnistysaikaa.

FlukeView-ohjelman avulla tallennettiin kuvat kunkin LED-lampun ottamasta käynnistysvirrasta, virran vakiintumiseen eli lampun käynnistymiseen kuluva ajasta, virran ja jännitteen käyrämuodoista sekä harmonisten yliaaltojen spektreistä. Oskilloskoopista otettiin ylös myös kunkin LED-lampun ottaman virran arvo.

5.1.2 Fluke 43 -sähkönlaadun analysaattori

Fluke 43 -sähkönlaadun analysaattorilla mitattiin LED-lamppujen pätö-, näennäis- ja loistehot, tehokertoimet (cos φ ja PF) sekä virran harmonisen kokonaissärön arvot. Mittaustulokset kirjattiin ylös Excel-taulukoihin ja mitatuista arvoista luotiin havainnollistavat kaaviot, joista selviää erot eri lamppujen välillä.

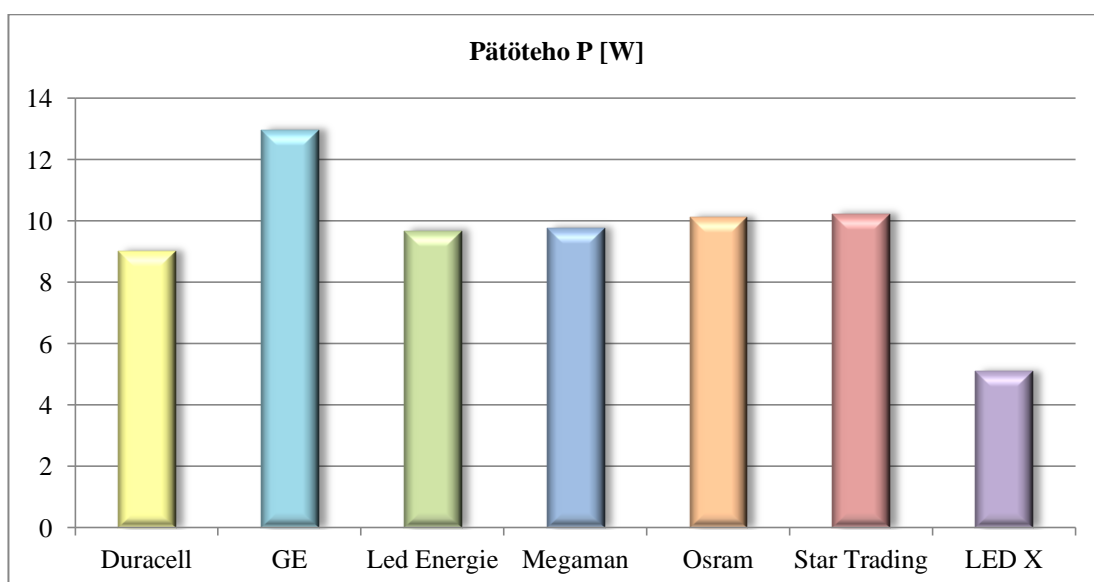
5.2 LED-lamput

Työtä varten hankittujen kuuden eri valmistajan LED-lamppujen lisäksi käytettiin joissakin mittauksissa vertailun vuoksi erästä halpaa kiinalaisvalmisteista E27-kantaista LED-lamppua, jonka pakkaukseen eikä itse lampuun ollut leimattu mitään arvoja. Tästä lampusta käytetään jatkossa nimitystä LED X. Lamppu on päällisin puolin saman näköinen kuin muut lamput, mutta on rakenteeltaan selvästi kevyempi.

Rauman EMC-laboratoriossa tehdyissä EMC-häiriömittauksissa LED X ylitti raja-arvoja useassa mittauksessa muiden lamppujen pysyessä selvästi standardien asettamien raja-arvojen alapuolella. Näiden tulosten perusteella olikin todennäköistä, että lamppu aiheuttaa runsaasti häiriötä myös syöttävään sähköverkkoon.

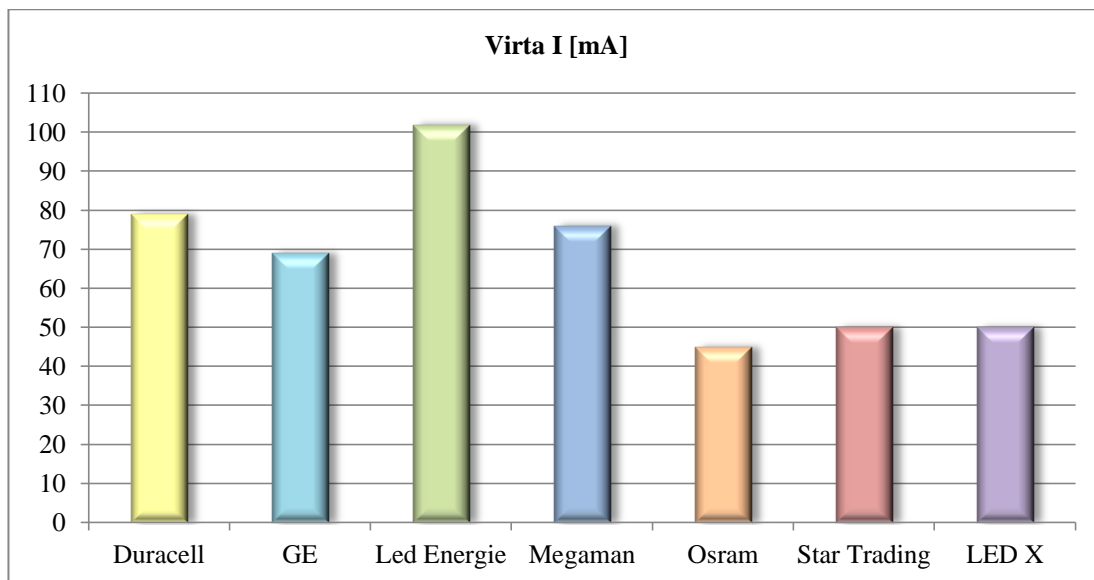
5.2.1 Pätötehot ja virrat

LED-lamppujen mitatut pätötehot vastasivat kutakuinkin valmistajien ilmoittamia arvoja. LED X:n pätötehoksi mitattiin kuitenkin vain noin viisi wattia. Se on siis vain noin puolet muiden lamppujen pätötehosta, joten tämä on huomioitava vertailtaessa tulevia mittaustuloksia. *Kaavioon 1* on merkitty kunkin lamppumerkin mitattujen pätötehojen keskiarvo.



Kaavio 1. LED-lamppujen mitatut pätötehot watteina

Vaikka LED X oli pätöteholtaan vain noin puolet Osramin pätötehosta, otti se kuitenkin tätä enemmän virtaa. *Kaaviosta 2* nähdään kunkin lamppumerkin mitattujen virtojen keskiarvo. Eniten virtaa otti Led Energien lamppu, joka sekkin otti kuitenkin alle puolet 60 watin hehkulampan 277 milliampeerin virrasta. Kun otetaan huomioon LED X:n pätöteho, sen ottama virta oli Led Energien luokkaa.



Kaavio 2. LED-lamppujen mitatut virrat milliampeereina

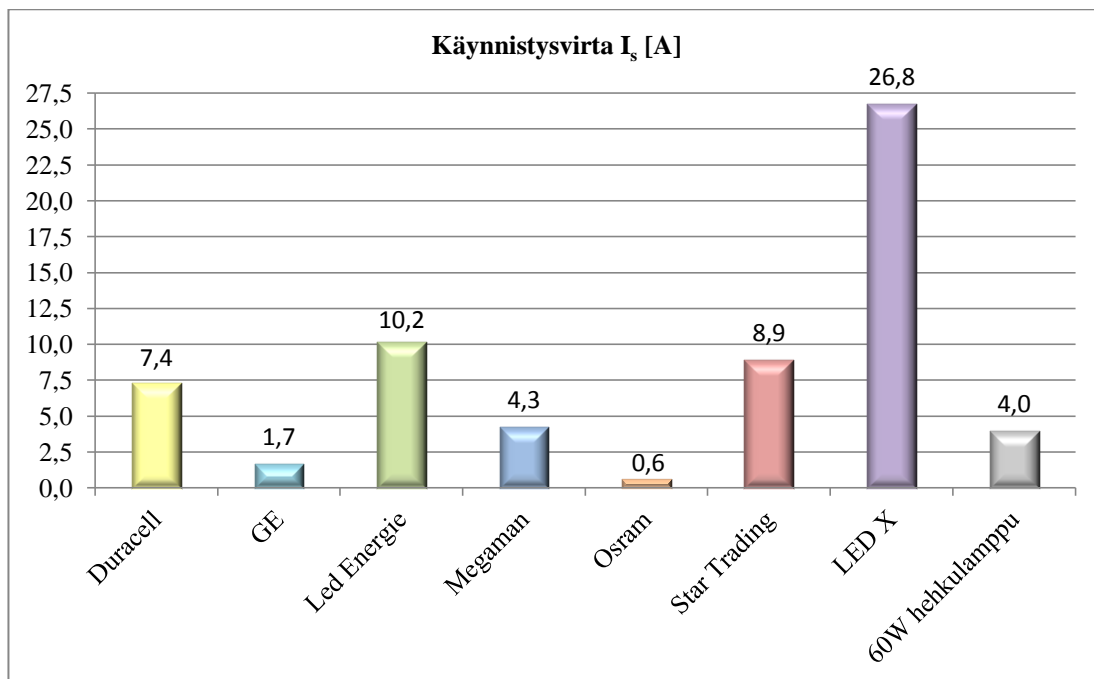
5.2.2 Käynnistysvirrat ja -ajat

Käynnistysvirtamittaukset aloitettiin mittaamalla jokaisen lamppumerkin kaikkien lamppujen käynnistysvirrat useaan kertaan saman mallin lamppujen välisten erojen selvittämiseksi. Mittauksissa todettiin kuitenkin erojen olevan niin pieniä, että lopulliset mittaukset voitiin tehdä millä tahansa kuudesta lampusta.

Mittauksin todettiin myös, että lampun lämpötilalla ei ollut vaikutusta käynnistysvirran suuruuteen. Lamppujen annettiin olla päällä viiden minuutin ajan ja lämpimillä lampuilla saatuja mittaustuloksia verrattiin kylmien lamppujen mittaustuloksiin.

Kaaviossa 3 on esitetty kunkin lampun kymmenen käynnistyskerran käynnistysvirtojen keskiarvo. Vertailun vuoksi mitattiin myös LED X:n ja 60 watin

hehkulampun käynnistysvirrat samalla tavalla. Kaaviosta nähdään, että Osram ja GE pääsivät selvästi alle hehkulampun neljän ampeerin käynnistysvirran, kun taas LED X otti käynnistyessään keskimäärin jopa noin 27 ampeeria virtaa. Tämä käynnistysvirran arvo on erityisen suuri huomioitaessa LED X:n vain noin viiden watin pätöteho.



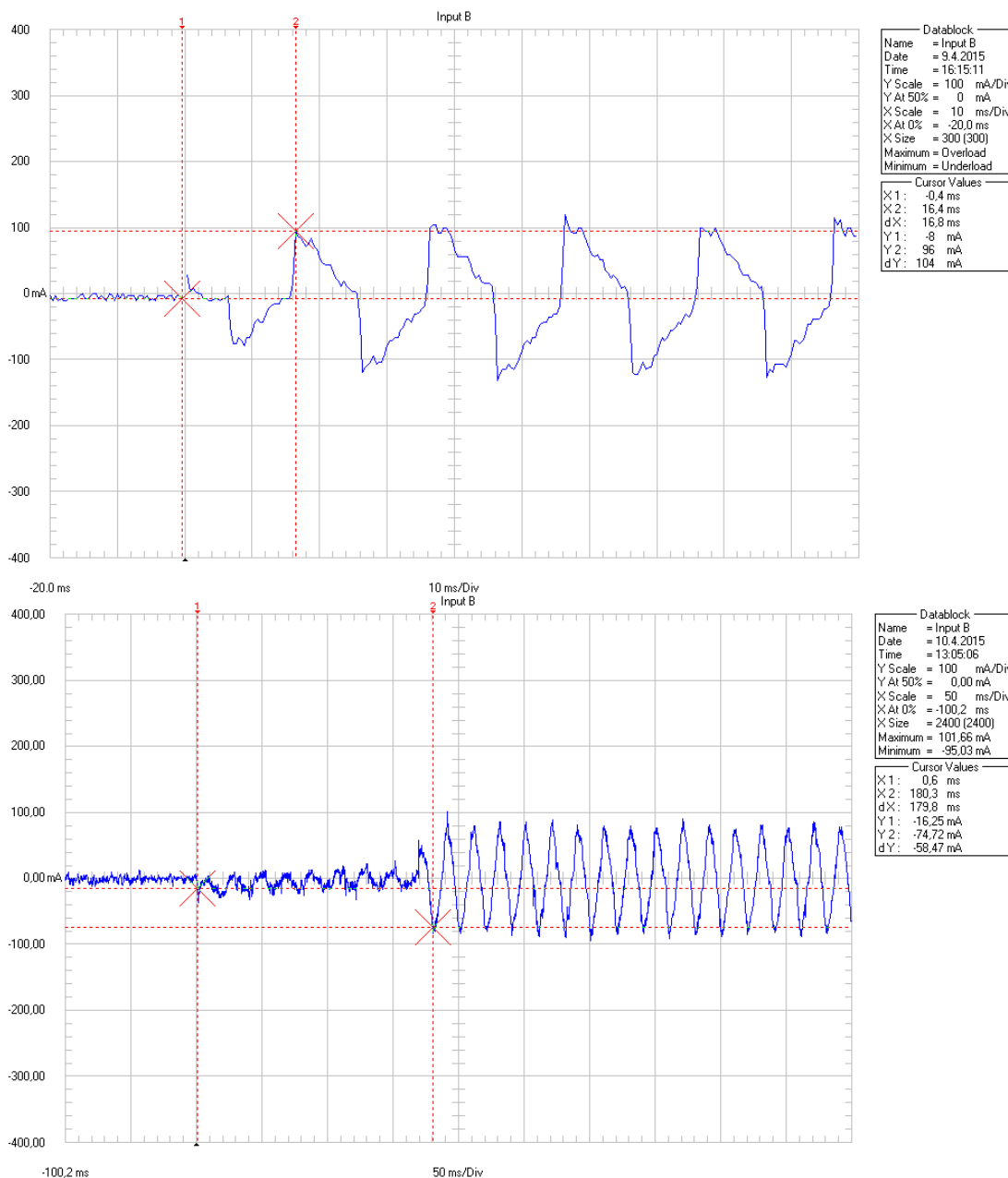
Kaavio 3. LED-lamppujen mitatut käynnistysvirrat ampeereina

Käynnistysvirtojen suuruus vaihtelee siis hyvin paljon eri lamppumerkkien välillä. Laadukkaampien LEDien käynnistysvirrat näyttäisivät olevan selvästi maltillisempia halpaan LED X:ään verrattuna. Käynnistysvirran suuruus vaikuttaisikin olevan näin sidoksissa LEDin laatuun.

Käynnistysvirtojen kestoajat vaihtelivat Star Tradingin noin sadasta mikrosekunnista Led Energien noin kuuteensataan mikrosekuntiin, kun taas hehkulampun käynnistysvirran kesto oli noin neljän millisekunnin luokkaa. Käynnistysvirran lyhyestä kestoajasta johtuen ei suurenkaan käynnistysvirran ottava yksittäinen LED-lamppu saa johdonsuojakatkaisijaa laukeamaan. Korkea käynnistysvirta saattaa koitua kuitenkin ongelmaksi, mikäli samassa ryhmässä on suuri määrä suuren käynnistysvirran ottavia LED-lamppuja. *Kuvassa 3* nähtiin esimerkki Led Energien lampun ottamasta käynnistysvirrasta.

Fluke 196C -oskilloskoopilla mitattiin myös kunkin lampun käynnistymiseen eli virran vakiintumiseen kuluva aika. Käynnistysajat vaihtelivat GE:n noin kuudestatoista Star Tradingin lähes kahteensataan millisekuntiin. Jokaisen lampun ottaman virran käyrämuoto poikkesi toisistaan, mikä hankaloitti kuvien tulkintaa. Käynnistysajat ovat siis lähinnä suuntaa antavia, eivät tarkkoja arvoja.

Kuvan 5 oskilloskooppikuvista selviää GE:n ja Star Tradingin virtojen vakiintumiseen kuluvat ajat. Kuvassa näkyvät lamppujen käynnistysajat ovat hyvin lähellä kymmenen käynnistyskerran keskiarvoja, jotka olivat 16,4 ja 189,3 millisekuntia. Käynnistysajan, eli kursoreiden välisen ajan voi lukea kuvaajien oikealta puolelta. GE:n kuvaajassa dX on 16,8 ja Star Tradingin kuvaajassa 179,8 millisekuntia.



Kuva 5. Oskilloskoopikuvat GE:n (ylempi) ja Star Tradingin virtojen vakiintumisesta kytkimen sulkemisen jälkeen

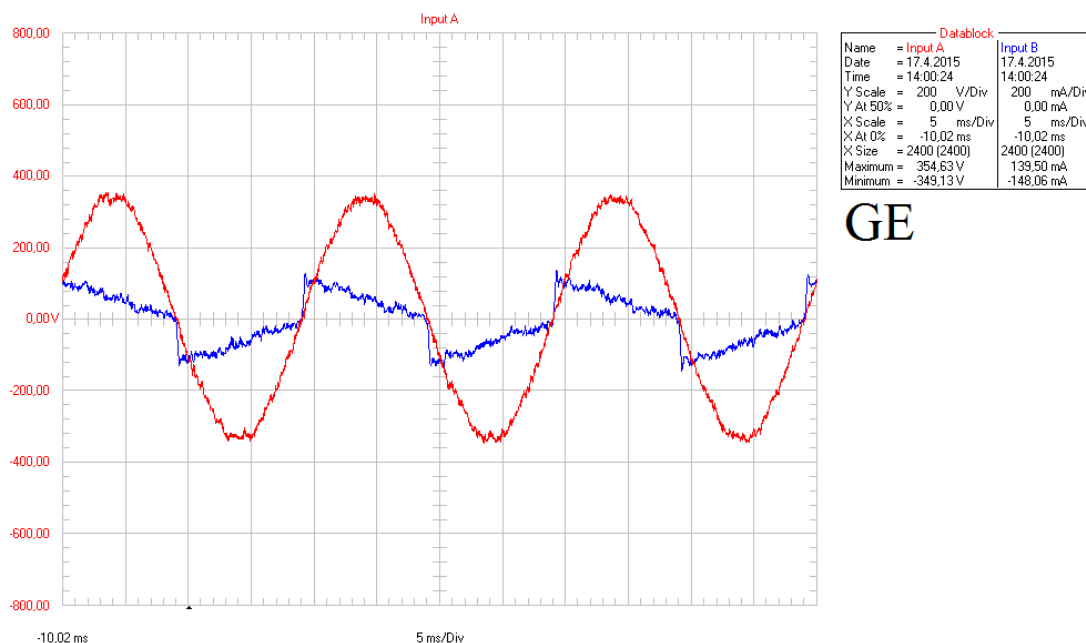
5.2.3 Virran ja jännitteen käyrämuodot

Jokaisen LED-lampun ottaman virran ja jännitteen käyrämuoto mitattiin Fluke 196C -oskilloskoopilla. Mittauksissa havaittiin eroja virran käyrämuodoissa eri lamppujen välillä. *Kuvista 6-9* nähdään, että kaikkien mitattujen LED-lamppujen virrat ovat hieman edellä jännitettä, joten kuormat ovat lievästi kapasitiivisia. Vertailun vuoksi mitattiin myös 60 watin hehkulampun virran ja jännitteen käyrämuodot.

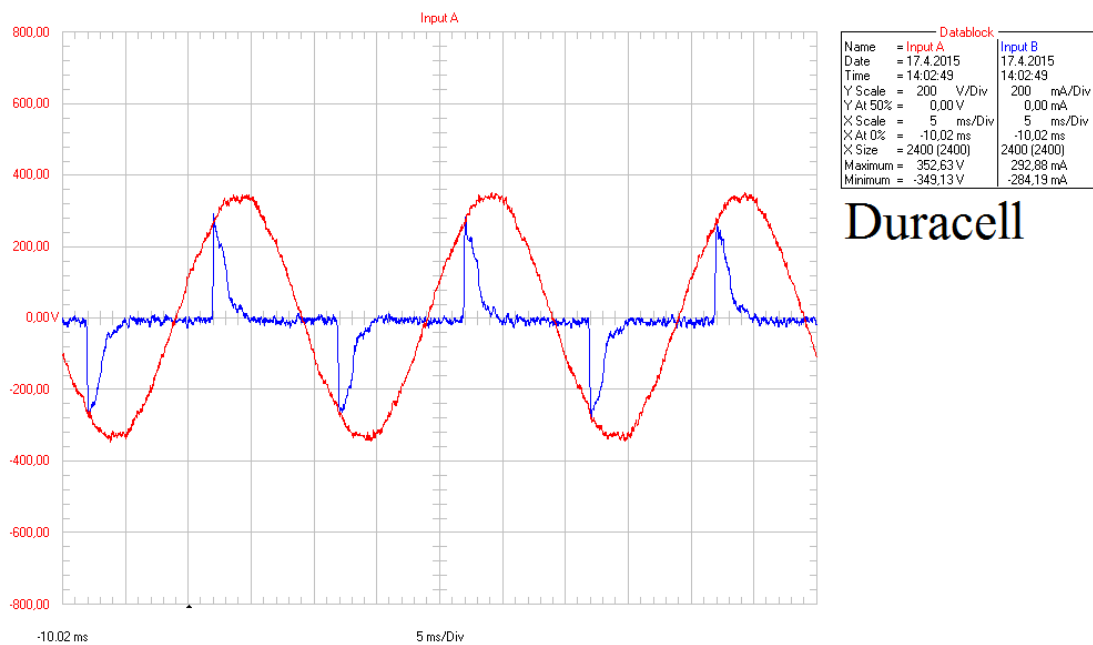
Hehkulamppukuorma on puhtaasti resistiivinen, joten virta on tällöin vaiheessa jännitteen kanssa (Kuva 10).

Seitsemästä LED-lampusta saatiin mittauksissa neljää erityyppistä virran käyrämuotoa. Keskenään samantyyppistä virtaa ottivat Duracell ja Megaman (Kuva 7), Led Energie ja LED X (Kuva8) sekä Osram ja Star Trading (Kuva 9). GE:n ottaman virran käyrämuoto poikkesi muista lampuista (Kuva 6). Osram ja Star Trading taas ottivat muista poiketen hyvinkin siniaaltomaista virtaa, kuten kuvasta 9 voidaan todeta.

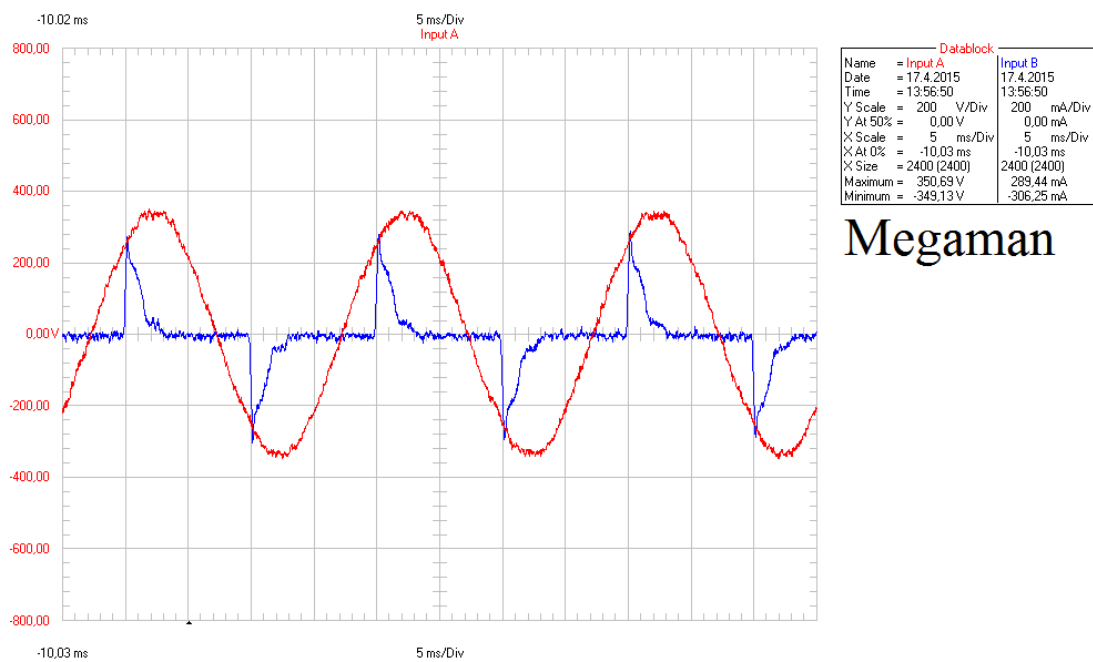
Kuvissa 6-10 on esitetty virran käyrämuodot sinisellä ja jännitteen käyrämuodot punaisella. Oskilloskoopin asetukset olivat samat jokaisen lampun mittauksessa. X-akselilla aikaskaalaus on viisi millisekuntia per ruutu sekä virralle että jännitteelle. Y-akselilla virran skaalaus on 200 milliampeeria ja jännitteen skaalaus 200 voltia per ruutu.



Kuva 6. GE:n virta ja jännite

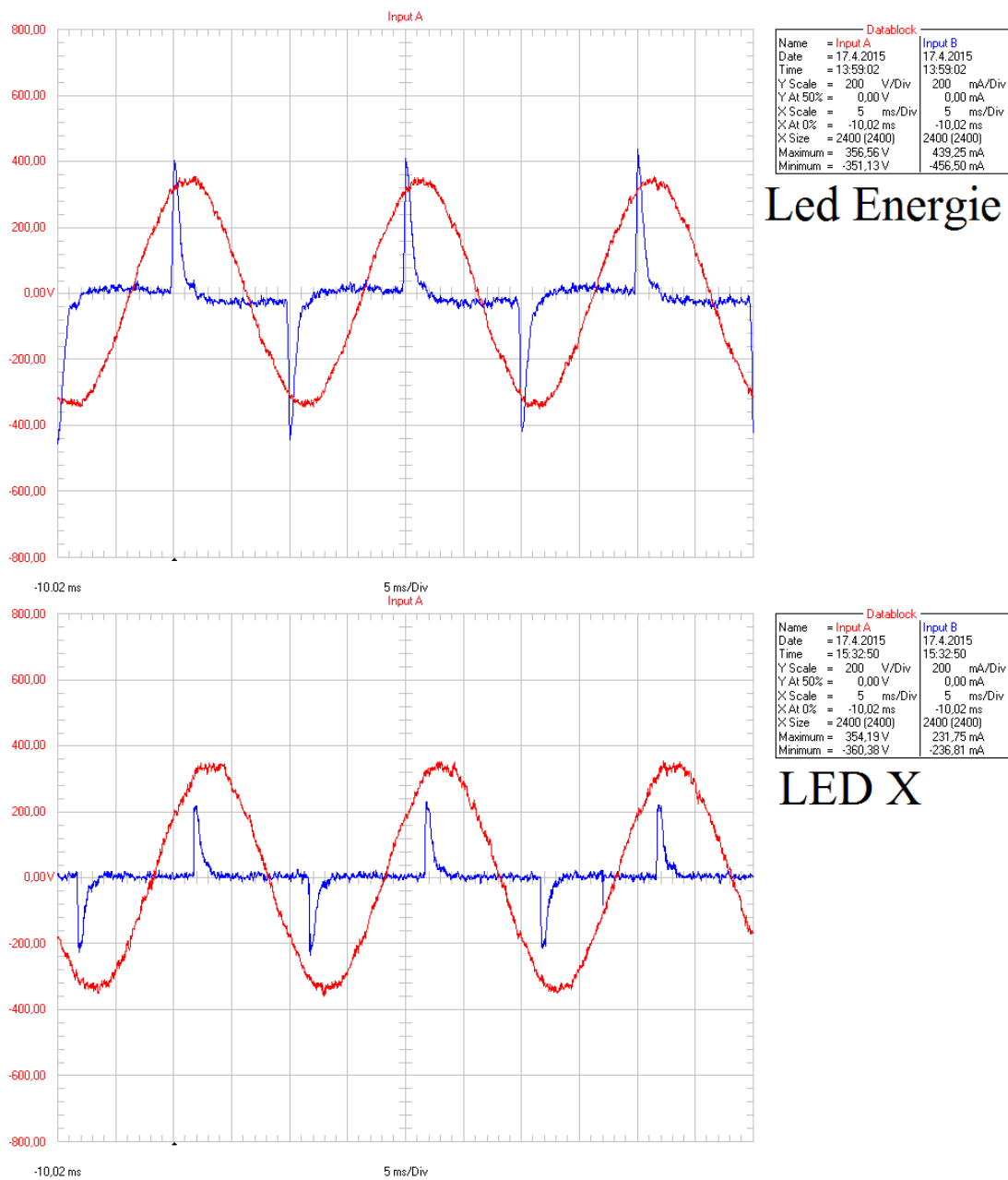


Duracell

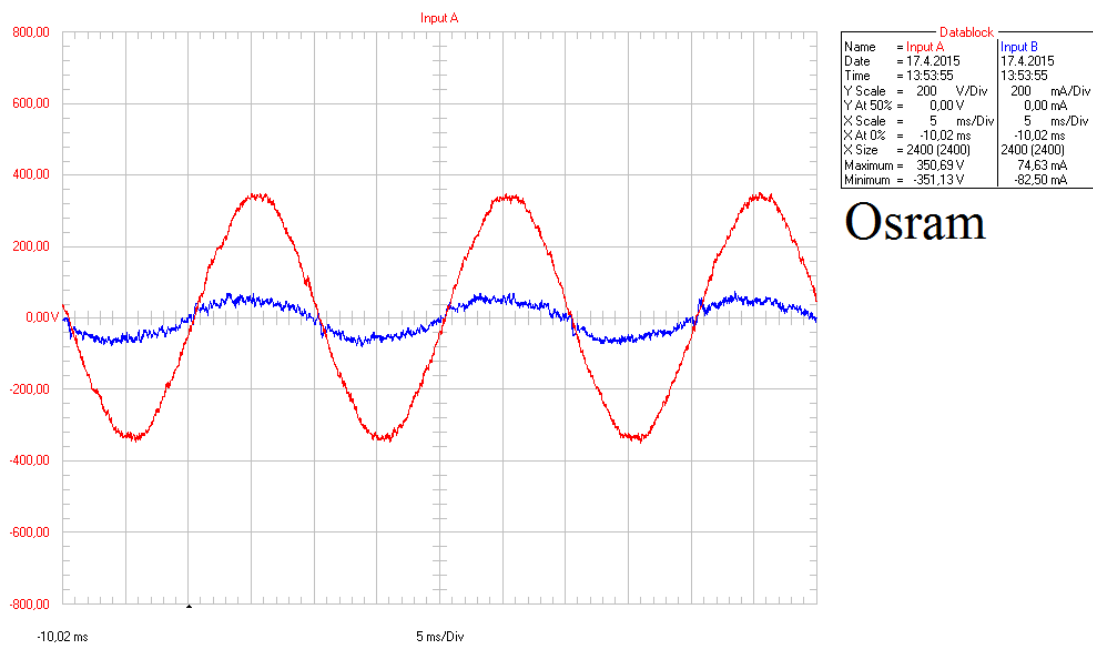


Megaman

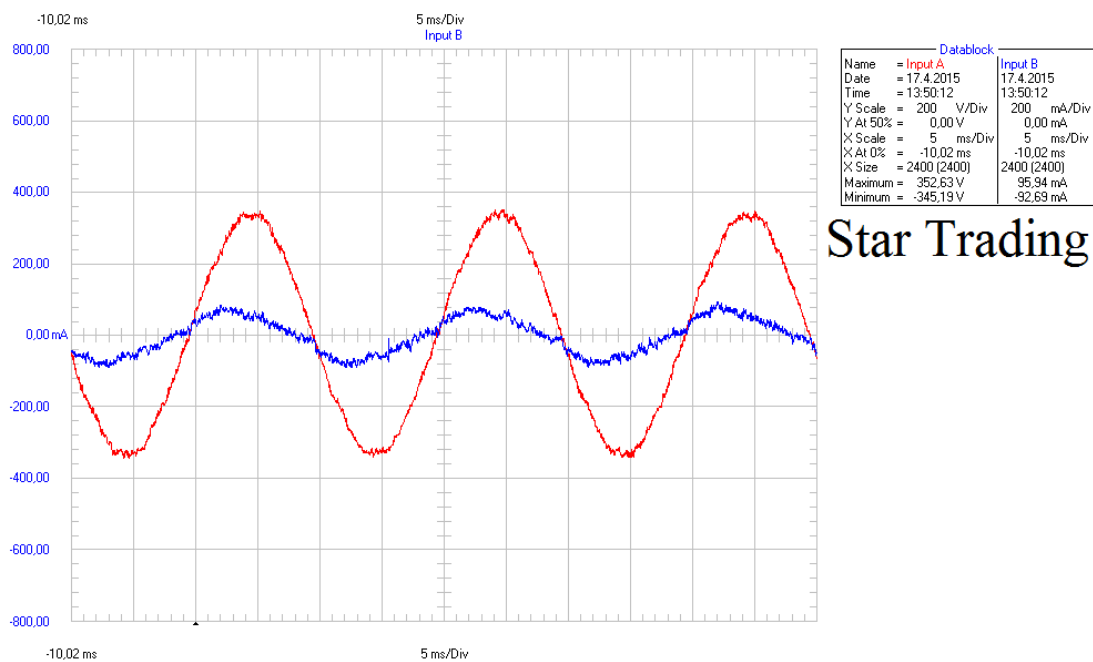
Kuva 7. Duracellin ja Megamanin virta ja jännite



Kuva 8. Led Energien ja LED X:n virta ja jännite

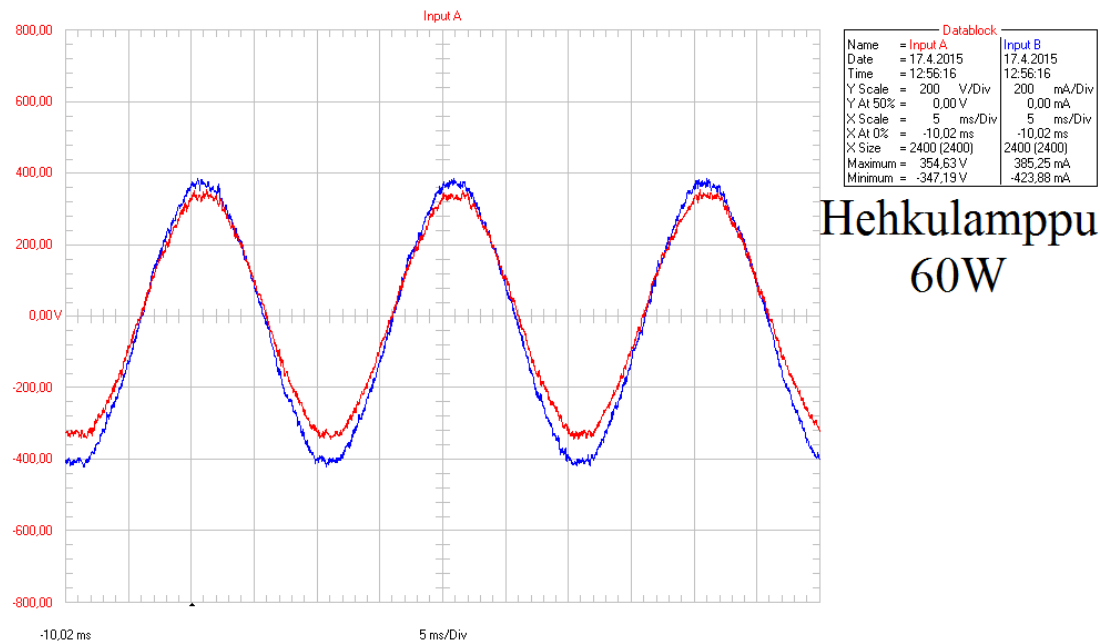


Osram



Star Trading

Kuva 9. Osramin ja Star Tradingin virta ja jännite



Hehkulamppu 60W

Kuva 10. Hehkulamppun virta ja jännite

Mittausten perusteella voidaan päätellä, että mitä sinimäisempää LEDin ottama virta on, sitä pienempi on myös harmonisten yliaaltojen määrä. Yhtäläisyys voidaan todeta vertaamalla lampun ottaman virran käyrämuotoa seuraavassa luvussa esitetyn kaavion 4 tuloksiin. Nähdään, että koska Osramin ottaman virran käyrämuoto on lähimpänä siniaaltoa, sen virran harmoninen kokonaissärö on myös pienin. Seuraavana hyvin lähellä Osramia oli Star Trading, jonka jälkeen GE ja niin edelleen. Suurin virran harmoninen kokonaissärö oli LED X:llä.

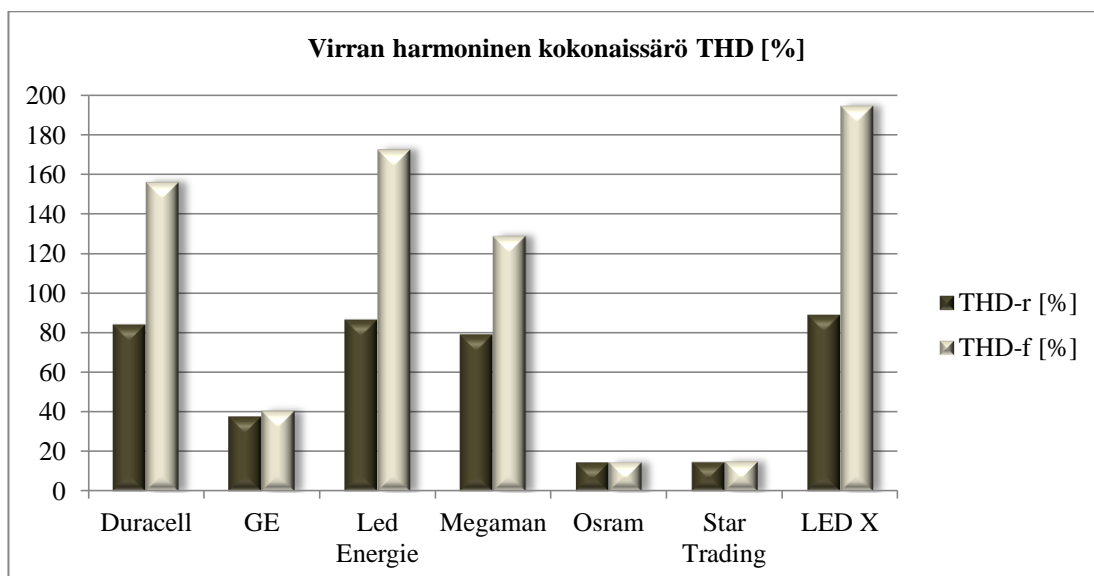
5.2.4 Virran yliaaltosisältö

Yliaaltoisuus on yksi sähkön laatua heikentävä tekijä. Verkkovirta ja -jännite ovat säröytyneitä, kun niiden käyrämuoto poikkeaa siniaallosta. Tällöin esiintyy virran ja jännitteen yliaaltoja, jotka ovat perustajuuden (Suomessa 50 Hz) kerrannaisia. Järjestysluvultaan kolmas yliaalto on taajuudeltaan 150 Hz, viides 250 Hz ja niin edelleen (*Taulukko 2*).

Edellisen luvun virtojen käyrämuodoista voitiin jo päätellä, että joidenkin LED-lamppujen virrat sisältävät runsaasti yliaaltoja. Nämä sinikäyrästä poikkeavat virrat saavat aikaan myös jännitteen säröytymistä aiheuttaen jännitehäviöitä verkon impedansseissa. Verkon impedanssin pienuudesta johtuen virran särö on yleensä

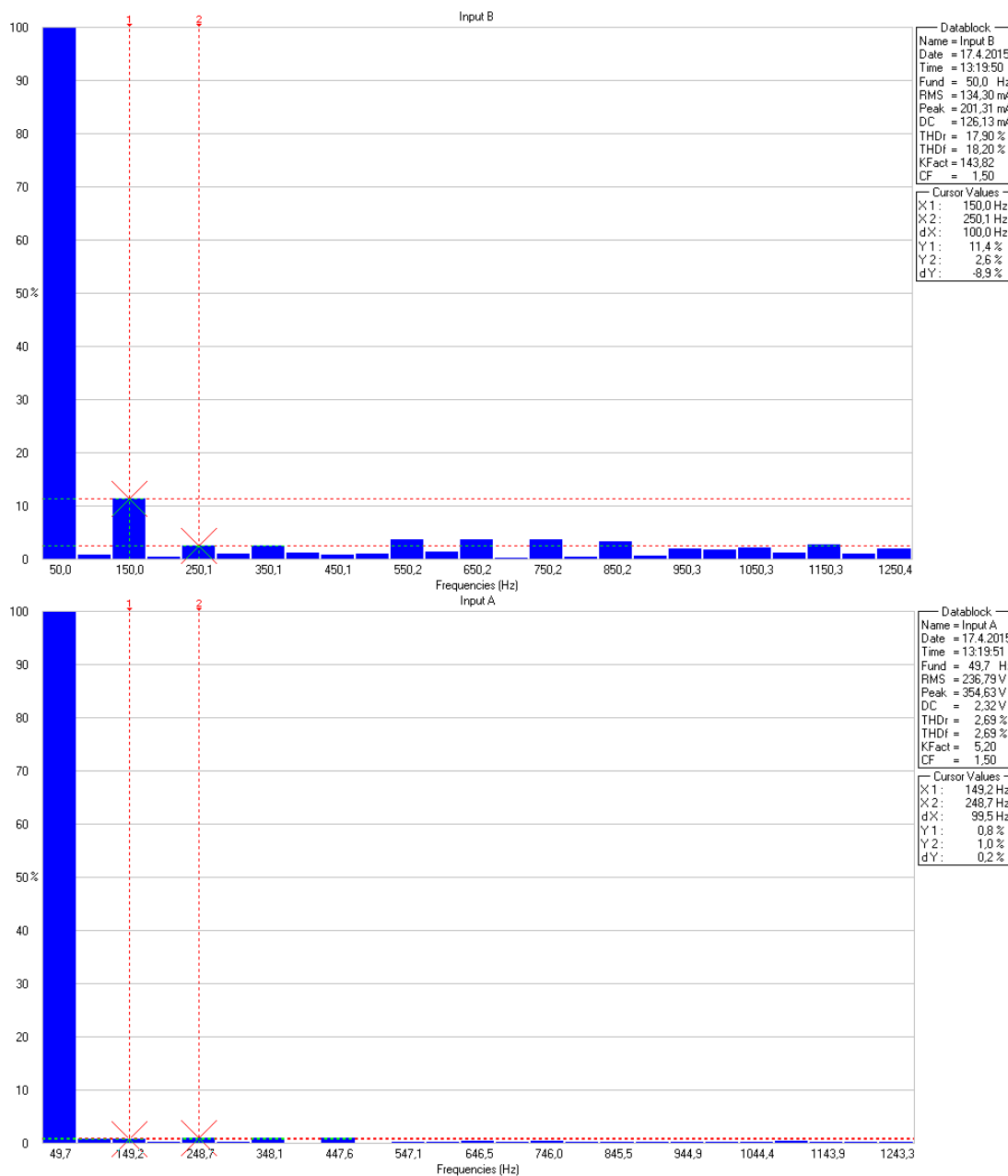
suurempi kuin jännitteen särö. (Männistö, Hietalahti, Seesvuori, Seesvuori & Wilén 2006, 26.)

Kaavioon 4 on kerätty kunkin mitatun LED-lamppun virran harmoninen kokonaissäröprosentti perusaaltoiseen (THD-f) ja tehollisarvoiseen (THD-r) komponenttiin nähden. LED-lamppujen välillä oli tässäkin mittauksessa havaittavissa selviä eroja. Suurin virran harmoninen kokonaissäröprosentti oli odotetusti LED X:llä, Osramin ja Star Tradingin päästessä hyvin maltillisiin lukemiin muihin lampuihin nähden.



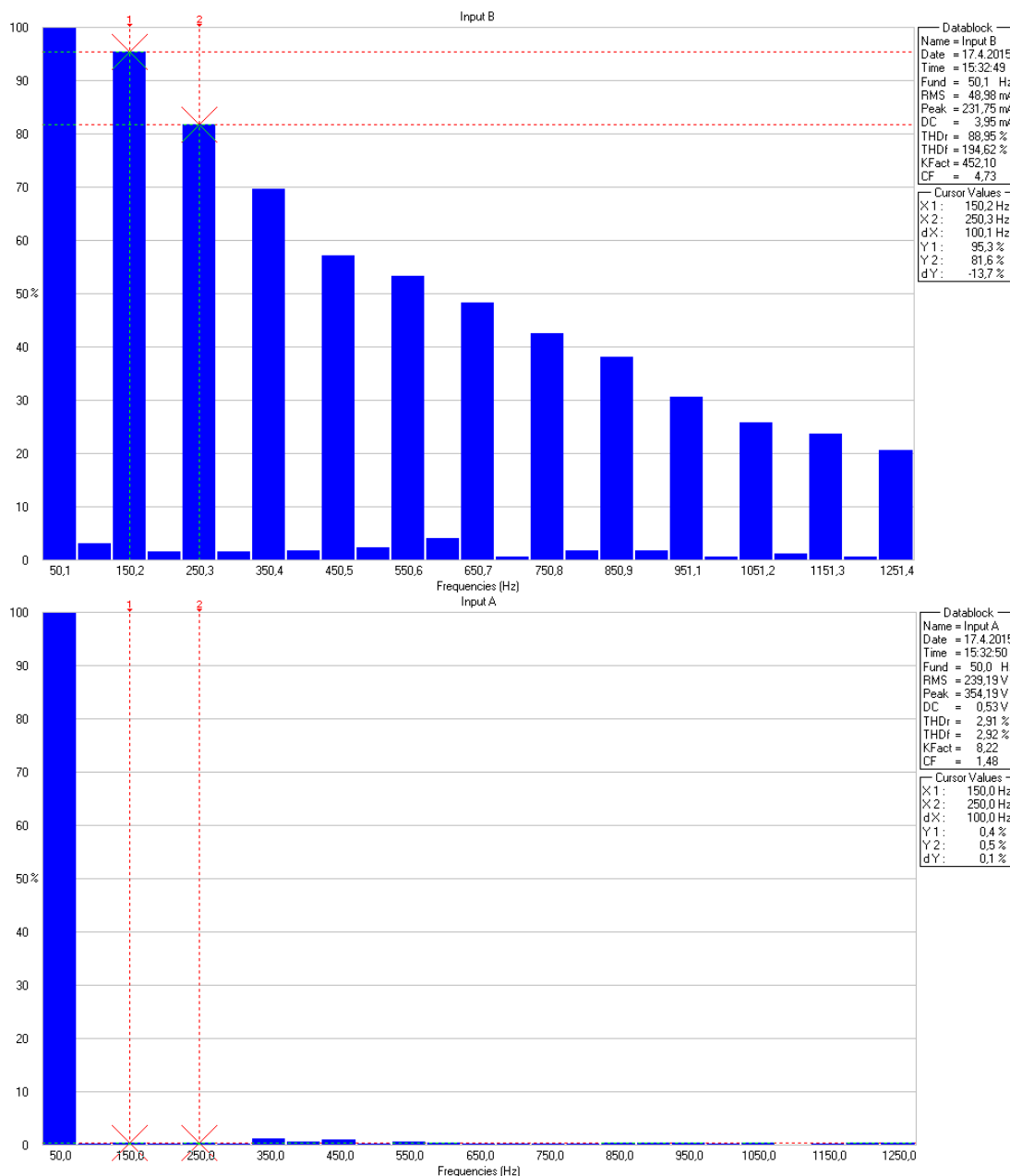
Kaavio 4. LED-lamppujen ottamien virtojen harmoniset kokonaissäröt

Kuvissa 11 ja 12 on esitetty virran ja jännitteen 25 ensimmäistä yliaaltoa ja niiden suuruudet perusaaltoon nähden. Esimerkkilampuiksi valittiin THD-arvoiltaan pienin (Osram) ja suurin (LED X) lamppu.



Kuva 11. Osramin virran (ylempi) ja jännitteen yliaaltospektrit

Kuvasta 11 voidaan lukea Osramin ottaman virran kolmannen yliaallon suuruudeksi 11,4 ja viidennen yliaallon suuruudeksi 2,6 prosenttia perusaaltoon nähden. Yliaaltosisältö on siis varsin pieni muihin LED-lamppuihin verrattuna.



Kuva 12. LED X:n virran (ylempi) ja jännitteen yliaaltospektrit

Kuvasta 12 selviää LED X:n ottaman virran suuri yliaaltopitoisuus. LED X:n ottaman virran kolmannen ja viidennen yliaallon arvot olivat jopa 95,3 ja 81,6 prosenttia perusaaltoon nähden. Led Energien ottaman virran yliaaltospektri näytti lähes yhtä huonolta, mutta kolmannen ja viidennen yliaallon arvot olivat hieman pienemmät, 79,3 ja 69,6 prosenttia. *Kuvista 11 ja 12* selviää myös, ettei yksittäinen LED-lamppu aiheuta käytännössä ollenkaan jännitteen säröytymistä, vaikka sen ottama virta olisi hyvinkin säröytynyttä. Suuremmilla valaistuskuormilla jännitteen säröytyminen olisi kuitenkin todennäköistä.

5.3 Himmentimien vaikutukset mittaustuloksiin

Koska himmentimiä on jo pitkään ollut laajalti käytössä kotitalouksissa, päätettiin selvittää soveltuvatko vanhat hehkulampuille tarkoitetut himmentimet LED-lamppujen ohjaukseen. Samalla selvitettiin, mitä tulisi ottaa huomioon hankittaessa uutta himmennintä LED-lampuille, ja millaisia vaikutuksia himmentimillä on aiempiin mittaustuloksiin. Mittaukset tehtiin GE:n ja Osramin lampuille, jotka olivat ainoat työhön hankitut himmennettävät LED-lamput.

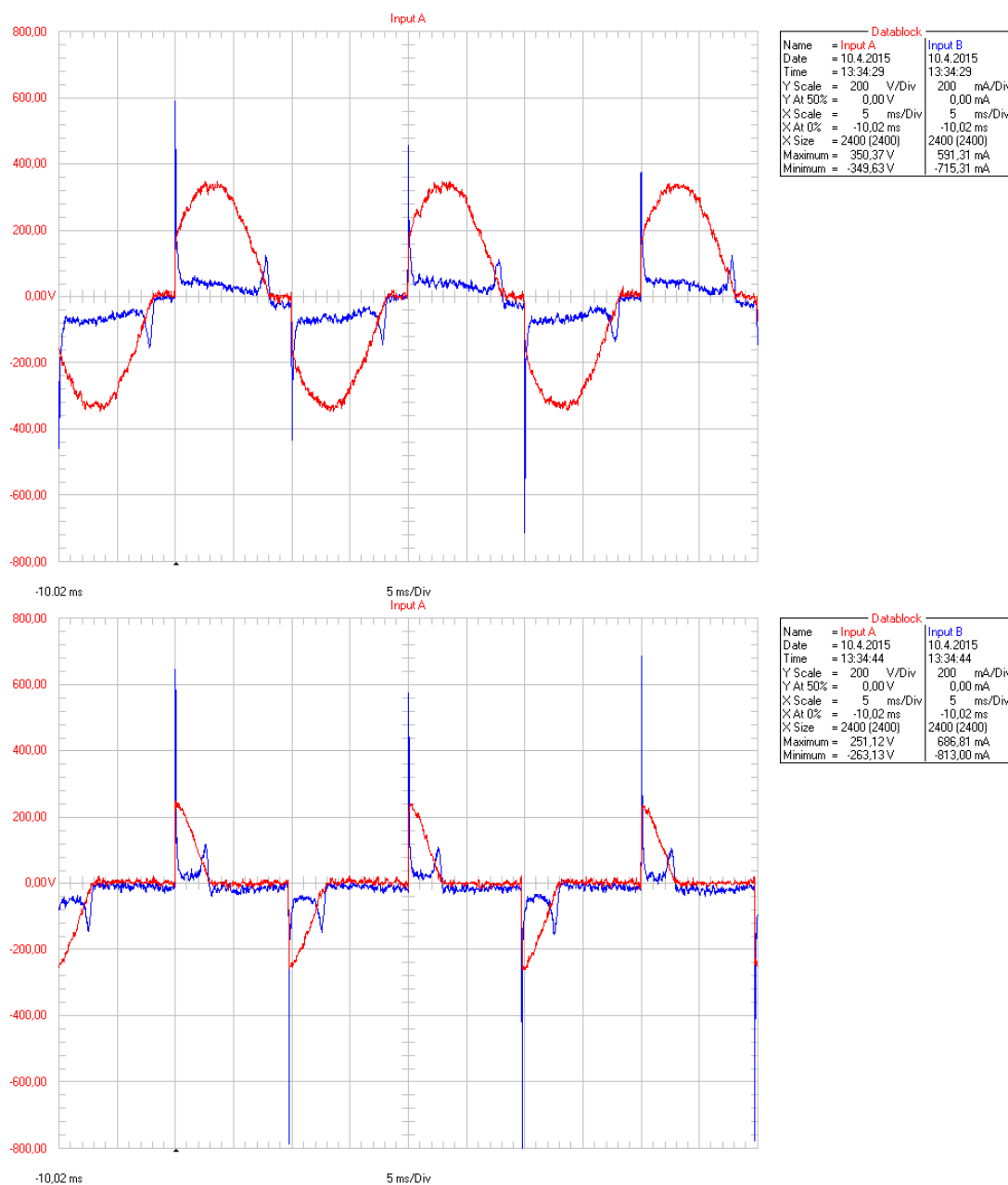
5.3.1 Himmentimen valinta

Himmentimiä on tarjolla monenlaisia ja eri tekniikoilla toteutettuja. Perinteiset seinäkatkaisijan tilalle asennetut himmentimet on tarkoitettu yleensä resistiivisille kuormille eli lähinnä hehkulampuille ja halogeeneille. Kun vanhan hehku- tai halogeenilampun tilalle vaihdetaankin LED-lamppu, ei säädin välttämättä enää toimikaan odotetulla tavalla. Tämä johtuu siitä, että LEDien ottama virta on lievästi kapasitiivista, joten ne tarvitsevat kapasitiivisille kuormille soveltuvan himmentimen. Lisäksi vain osa LED-lampuista on himmennettäviä, joten himmennettävyys kannattaakin tarkistaa pakkauksesta ostovaiheessa.

Kaikki tätä työtä varten tilatut himmentimet olivat transistorihimmentimiä. Malleiksi valittiin valmistajien yhteensopivuustaulukoiden perusteella Elko RS16 315GLE, Schneider Electric Artic SBD630RC sekä Schneider Electric Exxact LTD1000RC. Himmentimillä ohjattiin Osramin ja GE:n himmennettäviä lamppeja, ja saatuja tuloksia verrattiin aiempiin mittaustuloksiin.

Transistorihimmentimien toiminta perustuu kuormalle syötettävän jännitteen katkomiseen. Jännitettä katkotaan puolijakson laskevan reunan puolelta, toisin kuin TRIAC-himmentimillä, jotka katkovat jännitteen puolijakson nousevaa reunaa. Transistorihimmentimet sopivat usein niin resistiivisille, kapasitiivisille kuin sekakuormille, kun taas TRIAC-himmentimet on tarkoitettu lähinnä resistiivisille ja induktiivisille kuormille.

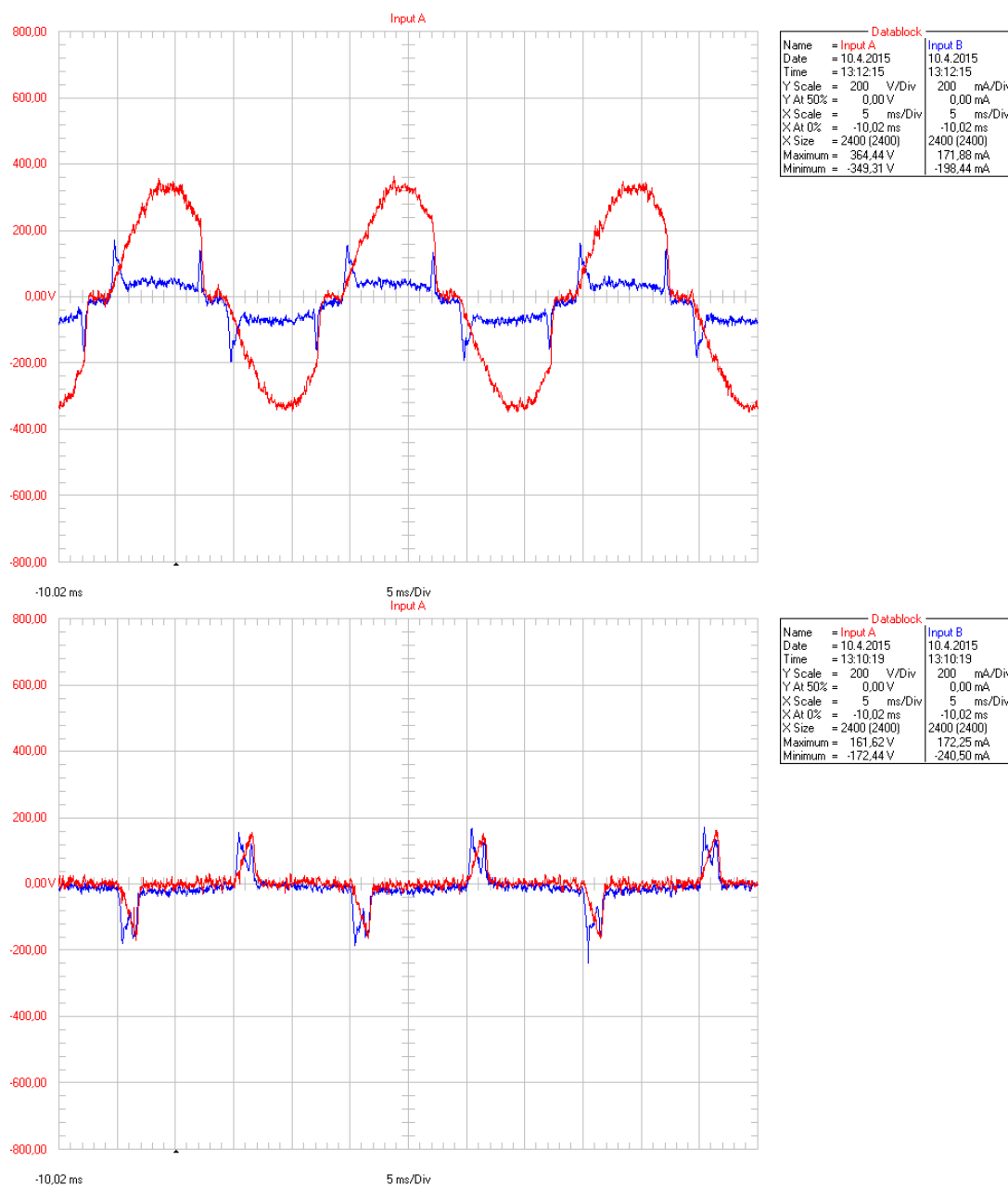
Kuvassa 13 hehkulamputille tarkoitetulla TRIAC-himmentimellä on ohjattu Osramin himmennettävää LED-lamppua. Himmentimenä toimi Elari AD300V. Ylempässä kuvaajassa säädin on maksimi- ja alemmassa minimiasennossaan. Kuvaajissa virta on esitetty sinisellä ja jännite punaisella.



Kuva 13. TRIAC-himmentin katkoo kuorman jännitettä puolijakson nousevan reunan puolelta

Kuvassa 14 on samaa Osramin lamppua ohjattu LED-lampuille tarkoitetulla transistorihimmentimellä. Himmentimenä toimi Elko 315GLE. Samoin kuin

edellisessä kuvassa, ylemmässä kuvaajassa säädin on maksimi- ja alemmassa minimiasennossaan.



Kuva 14. Transistorihimmennin katkoo kuorman jännitettä puolijakson laskevan reunan puolelta

Kuvasta 14 nähdään, että LEDeille soveltuvan transistorihimmennimen toiminta on päinvastainen TRIAC-himmennintimeen verrattuna. Tämä himmennintyyppi katkoo siis jännitettä aina puolijakson laskevan reunan puolelta.

Himmennintä valittaessa onkin hyvä varmistaa sen soveltuvuus LEDeille. Vääränlainen himmennin voi aiheuttaa silmin havaittavaa valon välkyntää, säätöalue saattaa olla kapea, himmennin tai lamppu pitää ääntä, tai lamppu ei välttämättä toimi ollenkaan. Himentimien vaikutuksia tutkittaessa havaittiinkin, että ohjattaessa himmennettäviä LED-lamppuja vain hehkulamputille tarkoitetulla Elari AD300V -himentimellä, lamput surisivat melko äänekkäästi, mistä oli heti pääteltävissä, ettei himmennin sovellu kyseisille lamputille. Lisäksi GE:n kohdalla virran THD-f -arvo kohosi lähes neljänsataan prosenttiin, mikä oli yli kolminkertainen arvo transistorihimentimiin verrattuna.

LEDeille soveltuvia transistorihimentimiä testattaessa taas havaittiin, että jotkin ei-himmennettävät LED-lamput saattavatkin olla himmennettävissä sopivan himmentimen osuessa kohdalle. Esimerkkinä Star Trading, jonka kirkkaus säätyi Schneider Electricin molemmilla malleilla ilman silmin havaittavaa välkyntää. Muut ei-himmennettävät lamput välkkyivät kuitenkin testeissä voimakkaasti. Joidenkin ei-himmennettävien lamppujen kirkkautta pystyi myös yllättäen säätämään kytkettäessä ne himmennettävän lampun rinnalle. On siis mahdollista, että valaisimessa, jossa on useampi lamppu, voidaan käyttää himmennettäviä ja ei-himmennettäviä lamppuja sekaisin ilman välkyntäongelmaa. Tässä tapauksessa on kuitenkin osuttava kohdalle oikea säädin, ja paljon on myös kiinni siitä, miten juuri kyseiset lamput toimivat keskenään.

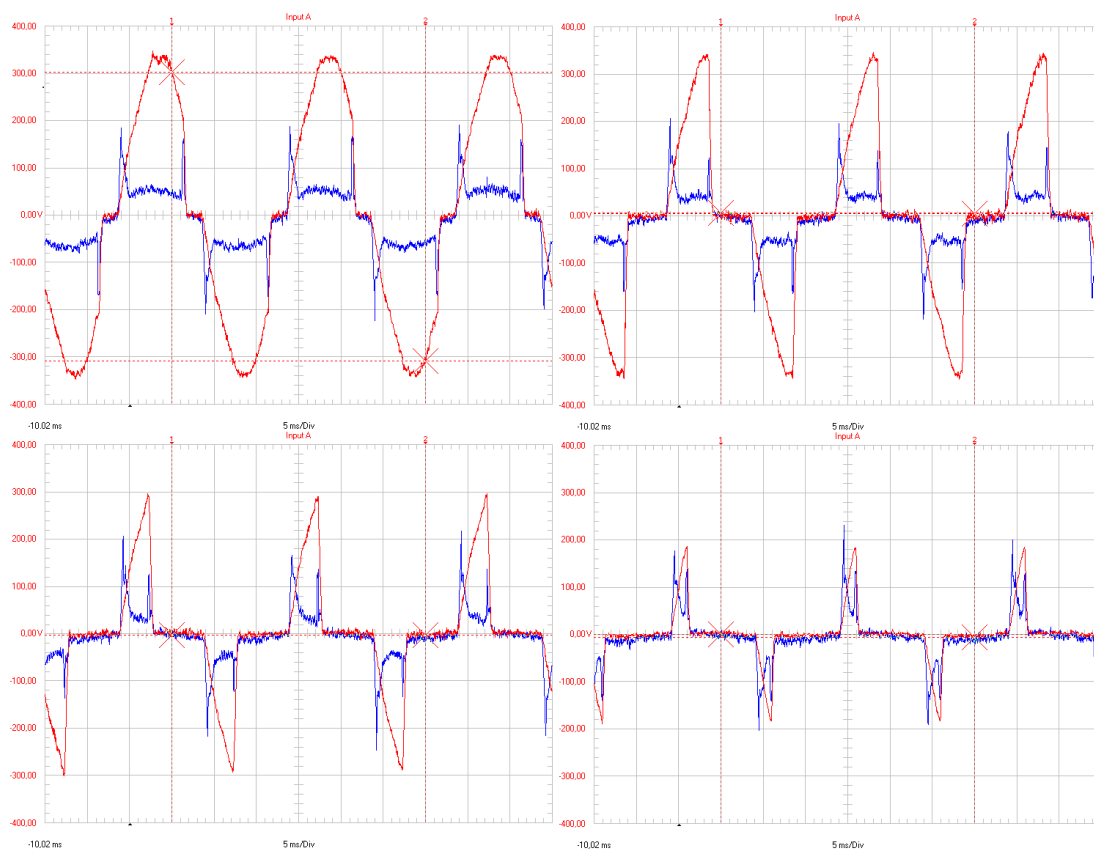
Himmennyskäyttöön tulevia LEDejä hankittaessa on kuitenkin järkevintä varmistaa himmennettävyys pakkauksesta. Joidenkin valmistajien Internet-sivuilta löytyy myös LEDien ja himmentimien yhteensopivuustaulukoita, joiden perusteella päästään varmin haluttuun lopputulokseen. *Taulukossa 6* on tietoa mittauksissa käytetyistä himmentimistä.

Taulukko 6. Mittauksissa käytetyt himmentimet

Himmennin	Tyyppi	Tehoalue [W]	Kuorma
Elko 315GLE	Transistori	20-315	R,C
Schneider Artic SBD630RC	Transistori	20-630	R,C
Schneider Exxact LTD1000RC	Transistori	40-1000	R,C
Elari AD300V	TRIAC	60-300	R

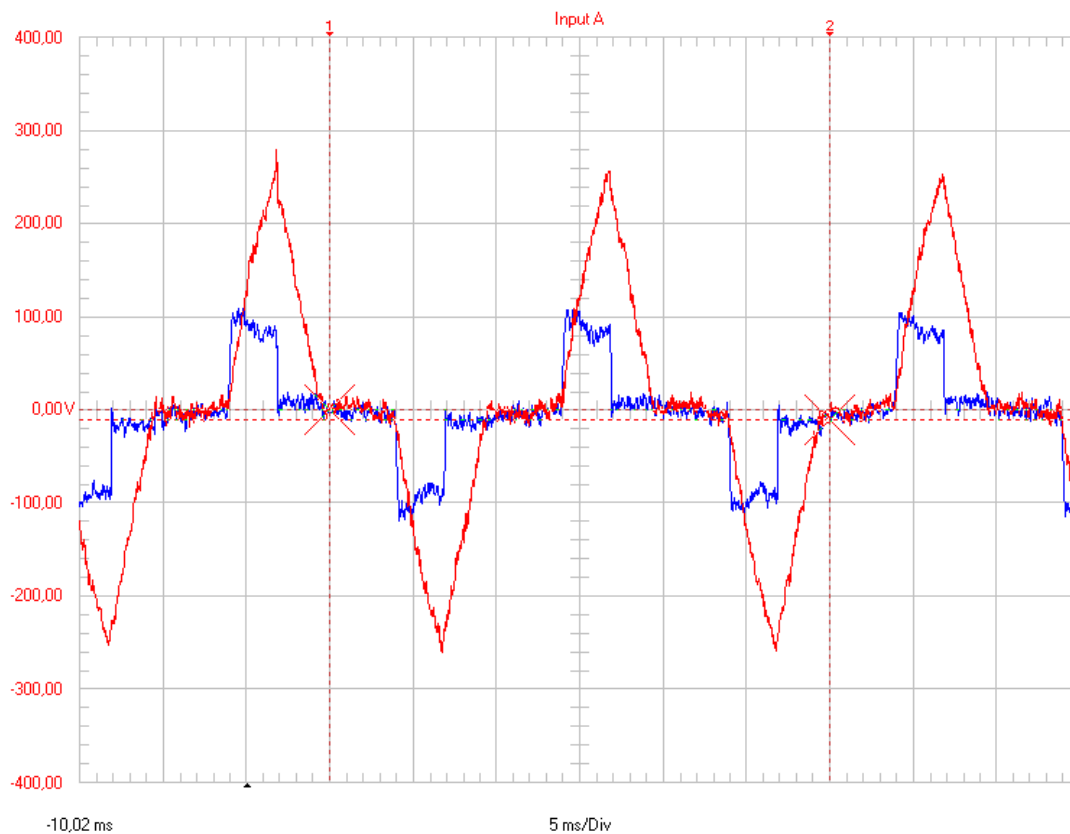
5.3.2 Muutokset virran ja jännitteen käyrämuodoissa

Himentimien vaikutuksia tutkittaessa selvitettiin myös kunkin himmentimen vaikutukset virran ja jännitteen käyrämuotoihin. *Kuvissa 15 ja 16* on esitetty punaisella kuorman yli vaikuttava jännite, joka havainnollistaa jännitteen leikkautumista himmentimen eri asennoilla. Syöttävän verkon jännitteen käyrämuodossa ei kuitenkaan havaittu säröytymistä minkään himmentimen vaikutuksesta, vaan jännite vastasi sinikäyrää aivan kuten aiemmissa mittauksissa. *Kuvissa 15 ja 16* on käytetty Elkon himmennintä.



Kuva 15. Osramin LED-lampun ottaman virran sekä kuorman yli vaikuttavan jännitteen käyrämuodoissa tapahtuvat muutokset himmentimen kirkkaimman (vas. ylä) ja himmeimmän (oik. ala) säätöasennon välillä

Kuvasta 15 nähdään, että virran muoto ei enää vastaa *kuvassa 9* nähtyä siniaaltomaista käyrää kirkkaimmallakaan säätöasennolla, vaan himmennin on lisännyt virran säröä. Virta on myös sitä säröytyneempää mitä himmeämmäksi lampua ohjataan.



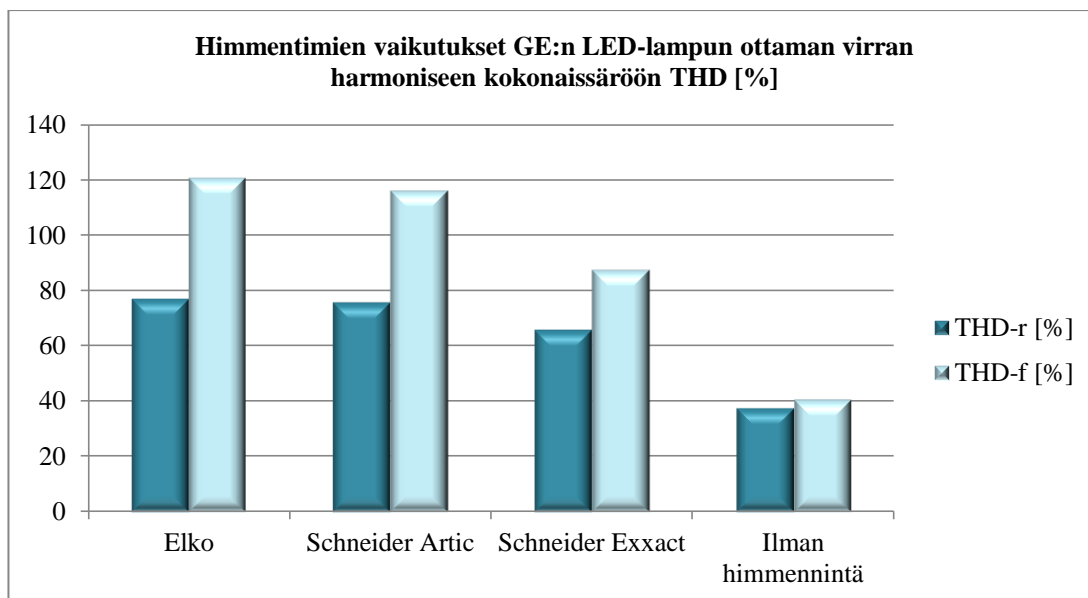
Kuva 16. GE:n LED-lampun ottaman virran sekä kuorman yli vaikuttavan jännitteen käyrämuoto noin 50 prosentin himmennysteholla

Kuten kuvista nähdään, kuorman yli vaikuttavan jännitteen käyrämuodot olivat lampuilla keskenään hieman erilaiset. Tämä ei kuitenkaan johtunut käytetystä himmentimestä, sillä sama toistui kunkin transistorihimmentimen kohdalla.

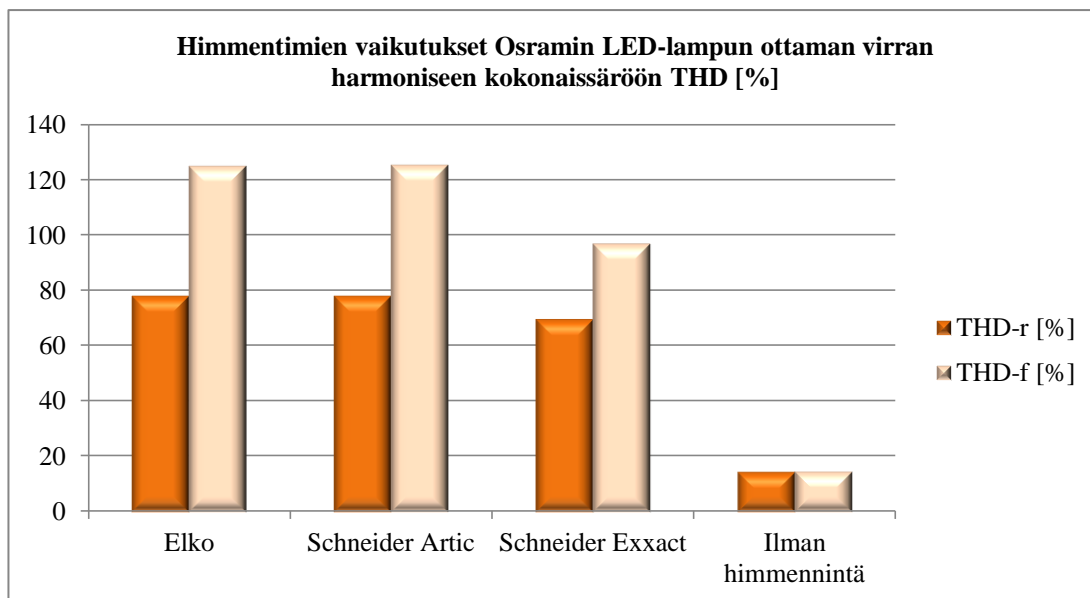
Himmentimien havaittiin siis lisäävän kummankin lamppun ottaman virran säröä. Osramin kohdalla särön lisääntyminen näkyi kuitenkin virran käyrämuodosta selvemmin.

5.3.3 Muutokset yliaaltosisällössä

Himmennyksen aiheuttama virran käyrämuodon säröytyminen viittasi suoraan yliaaltoisuuden kasvuun. Kunkin himmentimen aiheuttamat muutokset virran harmoniseen kokonaissäröön on esitetty *kaavioissa 5 ja 6*. Arvot on otettu täydellä himmennyksellä, jolloin kokonaissärö on suurimmillaan.



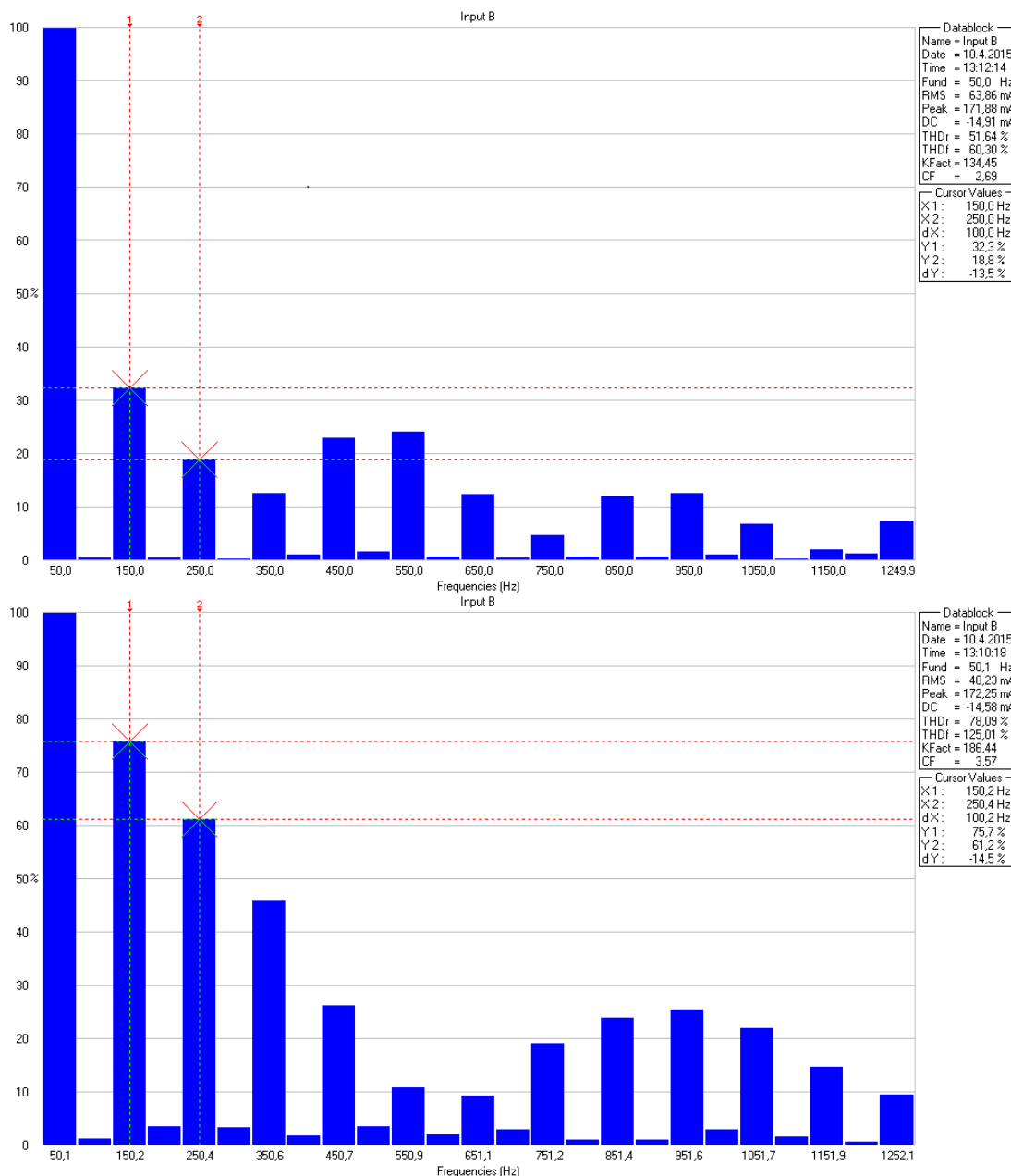
Kaavio 5. GE:n ottaman virran harmonisen kokonaissärön muutokset täydellä himmennyksellä



Kaavio 6. Osramin ottaman virran harmonisen kokonaissärön muutokset täydellä himmennyksellä

Molemmilla lampuilla virran harmoninen kokonaissärö kasvoi selvästi himmentimien vaikutuksesta, mutta Osramilla muutokset olivat suuremmat matalampien lähtöarvojenkin johdosta. Kokonaissärö oli kullakin himmentimellä selvästi pienempi säätimen kirkkaimmassa asennossa, mutta silloinkin suurempi kuin lampulla ilman himmennintä.

Kuvan 17 yliaaltospektristä nähdään muutokset Osramin ottaman virran yliaaltoisuudessa himmentimen kirkkaimman ja himmeimmän asennon välillä. Himmentimenä kuvan mittauksissa toimi jälleen Elkon himmennin.



Kuva 17. Osramin virran yliaaltospektrit ohjattaessa himmentimen kirkkaimmalla (ylempi) ja himmeimmällä säätöasennolla

Kun verrataan kuvan 17 virran yliaaltosisältöä kuvaan 11 huomataan, kuinka Osramin ottaman virran yliaaltoisuus on lisääntynyt himmentimen vaikutuksesta. Yliaaltoisuus oli sitä huomattavampaa mitä himmeämmäksi lampua ohjattiin, mutta kirkkaimmallakin säätöasennolla yliaaltojen määrä oli huomattavasti suurempi kuin lampulla ilman himmennintä. Sama ilmiö toistui kaikilla himmentimillä myös GE:n lampua ohjattaessa, minkä perusteella voidaan siis todeta himmentimien lisäävän LED-lamppujen aiheuttamia yliaaltoja entisestään.

5.4 Havaitut verkkovaikutukset ja suodatuksen tarve

Tässä työssä havaittiin, että osa LED-lampuista ottaa käynnistyshetkellä hyvin paljon virtaa. Käynnistysvirran arvot vaihtelivat alle yhdestä lähes kolmeenkymmeneen ampeeriin, joten lamppujen välillä oli suuriakin eroja. Koska käynnistysvirrat olivat kuitenkin hyvin lyhytkestoisia, ei yksittäinen LED-lamppu saanut työpisteen johdonsuojakatkaisijaa laukeamaan. Mikäli lamppuja käynnistettäisiin selvästi suurempi määrä yhtäaikaisesti, olisi johdonsuojakatkaisijan laukeaminen kuitenkin todennäköistä, kun sen nimellinen toimintavirta ylittyisi moninkertaisesti.

Havaittiin, että joidenkin LED-lamppujen ottama virta on hyvin säröytynyttä. Säröytyneen virran yhteydessä esiintyy virran yliaaltoja, jotka suurilla LED-lamppukuormilla voivat aiheuttaa säröä myös syöttävän verkon jännitteeseen. Yliaaltojen aiheuttamia haittoja ovat muun muassa sähköverkon häviöiden kasvu, suojarleiden virhetoiminnat ja sähkömittareiden virhenäyttämät. Lisäksi LED-lamput tuottavat myös loistehoa, joka muun muassa alentaa verkon pätehon siirtokapasiteettia.

LED-lamput eivät kuitenkaan ole ainoita yliaaltojen aiheuttajia, vaan niiden lisäksi kotoa löytyvistä laitteista yliaaltoja tuottavat esimerkiksi televisiot, tietokoneet ja energiansäästölamput. Tässä työssä havaittiin myös himmentimien lisäävän LED-lamppujen yliaaltojen tuottoa. Muita yliaaltojen aiheuttajia ovat esimerkiksi vaihtoja tasasuuntaajakäytöt, puolijohdekytkimet ja tyristorisäätimet, vikaantuneiden moottoreiden magneettiipiirit sekä hitsauslaitteet. (Männistö ym. 2006, 30.)

Kolmella jaolliset virran yliaallot, joita osa LED-lampuista tuottaa runsaastikin, ovat erityisen haitallisia, koska ne summautuvat nollajohtimeen ja voivat aiheuttaa sen ylikuormittumista. Koska nollajohtimen poikkipinta-ala saa määräysten mukaan olla puolet vaihejohtimen poikkipinnasta yli 16 mm^2 Cu ja 25 mm^2 Al johdinpoikkipinnoilla, voivat kolmella jaolliset yliaallot nostaa nollajohtimen virran tehollisarvoltaan vaihejohtimien virtoja suuremmaksi. Tällaisissa tapauksissa syntyy palovaara, koska nollajohdinta ei suojata sulakkeilla. (Männistö ym. 2006, 32.)

LED-lamppujen aiheuttamat verkkovaikutukset eivät kuitenkaan tällä hetkellä aiheuta sähkön pienkuluttajille lisäkustannuksia. Sen sijaan esimerkiksi suurissa liiketiloissa ja muissa kohteissa, joissa valaistuskuormat ovat suuria, saattaa LED-lamppujen käyttöön siirtyminen aiheuttaa yliaaltojen suodatuksen tarvetta. Koska LED-lamppujen sekä muiden yliaaltoja tuottavien laitteiden käyttö lisääntyy, joutuvat sähköverkkoyhtiöt investoimaan kompensointilaitteisiin ja yliaaltojen suodatuksen pitääkseen sähkön laadun vaaditulla tasolla. Nämä investoinnit tulevat luultavasti näkymään tulevaisuudessa myös kuluttajan sähkölaskussa.

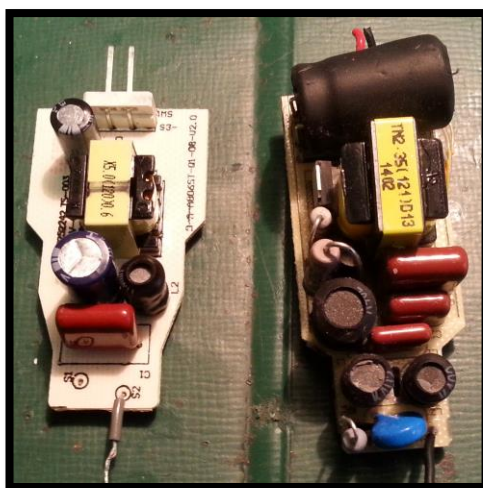
6 E27-KANTAISEN LED-LAMPUN PURKAMINEN

LED-lamppujen rakenteen ja lamppujen sisältämän elektroniikan selvittämiseksi päätettiin purkaa osa lampuista. Jokaisella valmistajalla näyttikin olevan hieman eri ratkaisuja niin elektroniikan kuin lampun rakenteenkin osalta. Tarkoituksena ei ollut perehtyä elektroniikkaan syvällisemmin, vaan lähinnä karkeasti vertailla eroja eri lamppujen välillä.

Purkaminen aloitettiin poistamalla ensin lampun kupu. Useimmissa lampuissa kupu oli muovia, mutta materiaalina oli käytetty myös lasia. *Liitteessä 3* näkyy lamppujen kupujen alta paljastuneet LEDit. Kuvasta nähdään myös, että Osramin ja GE:n lampuissa on käytetty muista lampuista poiketen erilaisia tekniikoita valon muokkaamiseksi. LEDien määrä lampuissa vaihteli Osramin neljästä Led Energien 29:ään. Osramin lampussa LEDejä oli vähiten, mutta ne olivat kooltaan suurempia kuin muiden lamppujen LEDit.

Jokaisessa lampussa teholähdettä ympäröi metallikuori, johon LED-ryhmä oli myös kiinnitetty. Tällä menetelmällä on tarkoitus johtaa LEDien tuottama lämpö pois siruista LEDien käyttöään pidentämiseksi. Metallikuorella on myös tehtävä sähkömagneettisten häiriöiden suodatuksessa, mutta LED-lamppujen aiheuttamiin sähkömagneettisiin häiriöihin keskitytään toisessa opinnäytetyössä, jonka tutkimuksen kohteena olivat tässä työssä käydyt lamput (Leino 2015).

Metallikuoren sisällä sijaitsevan teholähteen ympärille jäänyt tyhjä tila oli täytetty silikonimaisella massalla. Duracell oli lampuista ainoa, jossa kyseistä massaa ei ollut ollenkaan. Silikoni pyrittiin kaivertamaan pois, jotta piirilevyn komponentit saataisiin näkyviin. *Liitteessä 2* on kuvat puhdistetuista teholähteistä. Osramin lampussa käytetty teholähteen ympäröivä massa oli muista lampuista poiketen niin kovaa, ettei sitä saanut poistettua rikkomatta komponentteja. Osramin sisältämä tekniikka jäikin näin siis arvoitukseksi. *Kuvasta 18* nähdään erot elektroniikassa himmennettävän sekä ei-himmennettävän lampun välillä.



Kuva 18. Vasemmalla ei-himmennettävän Duracellin ja oikealla himmennettävän GE:n sisältämä elektroniikka

LED-lampuissa käytetyn silikonin tarkoituksena on johtaa pois ei-toivottu lämpö sekä suojata elektroniikkakomponentteja muun muassa kosteuden aiheuttamilta haitoilta. Mitä kovempaa silikoni on, niin sitä parempi on sen lämmönjohtavuus. Tämän perusteella Osramin lampussa käytetty silikoni johtaa siis paremmin lämpöä kuin muissa puretuissa lampuissa käytetyt silikonit. Silikonin tarkoituksena on myös suojata elektroniikkaa tärinältä ja korroosiolta. (Amitronicin www-sivut 2015.)

Kaikki puretut LED-lamput olivat siis hieman erilaisia keskenään. Himmennettävien lamppujen havaittiin esimerkiksi sisältävän hieman ei-himmennettäviä lamppuja enemmän elektroniikkaa. Lisäksi LEDien määrä vaihteli lamppujen välillä. Perusrakenne oli kuitenkin sama kaikilla lampuilla.

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kun puhutaan LED-lampuista, usein keskitytään vain niiden tuomaan energiansäästöön ja muihin LED-tekniikan tuomiin etuihin. LED-lamppujen sisältämä elektroniikka aiheuttaa kuitenkin sähköverkkoon häiriöitä, joista monilla ei ole mitään aavistusta.

Sähköteknisissä mittauksissa todettiin, että LED-lamput voivat ottaa hyvinkin yliaaltoista virtaa. Yliaallot aiheuttavat häviöitä sähköverkossa ja verkkoon liitetyissä laitteissa, mikä johtaa laitteiden kuormitettavuuden alentumiseen. Yliaaltopitoisen virran yhteydessä esiintyy myös loistehoa, joka muun muassa kuormittaa siirtojohtoja ja muuntajia.

LED-lamppujen käytön lisääntyminen aiheuttaa siis sähkön laadun heikkenemistä. Tämä aiheuttaa sähköverkkoyhtiöille lisäkustannuksia, kun laskutettavan pätötehon kulutus laskee ja yliaaltojen suodatuksen tarve lisääntyy. Koska laitestandardi ei tällä hetkellä edellytä LED-lamppujen sisäistä yliaallosuodatusta, eivät laitevalmistajat tätä usein myöskään tee. Mikäli standardeihin ei tule muutoksia, niin yliaaltoja aiheuttavien laitteiden määrän yhä lisääntyessä, joutuvat sähköverkkoyhtiöt investoimaan suodatukseen, mikä tulee todennäköisesti nostamaan sähkön siirtohintoja.

Kaikki tähän työhön hankitut LED-lamput ottivat mittauksissa enemmän tai vähemmän yliaaltoista virtaa ja tuottivat myös loistehoa syöttävään sähköverkkoon. Lisäksi himmentimien todettiin lisäävän LED-lamppujen ottaman virran yliaaltoisuutta entisestään. Himmennettävät lamput aiheuttivat kuitenkin muita lamppuja vähemmän yliaaltoja, kun ne eivät olleet himmennyskäytössä. Havaittiin myös, että vanhat hehkulamputille suunnitellut himmentimet eivät välttämättä sovellu LED-lamppujen ohjaukseen, vaan LED-lamput tarvitsevat juuri niille suunnitellut himmentimet toimiakseen oikein.

Mittaustulosten perusteella voitiin myös todeta, että halvat, ja varsinkin halpatuotantona valmistetut LED-lamput tuottavat yliaaltoja selvästi kalliimpia

enemmän. Osa LED-lampuista otti lisäksi käynnistyessään hyvin korkean virtapiikin, mutta tämä käynnistysvirta oli varsin lyhytkestoinen. Näiden mittauksissa havaittujen häiriöiden ei kuitenkaan pitäisi aiheuttaa ongelmia pienillä LED-lamppukuormilla, mutta ongelmia saattaa syntyä LED-lamppujen laajamittaisessa käytössä.

Vaikka LED-lamppujen tekniikka onkin kehittynyt, ja kehittyy edelleen, aiheuttavat ne siis vielä varsin paljon häiriöitä syöttävään sähköverkkoon. Tässä työssä saatujen tulosten perusteella kalliimmissa lampuissa häiriöiden suodatukseen on usein panostettu halvempia enemmän, joten laatu maksaa näin myös LED-lamppujen kohdalla. Mikäli häiriöitä ei suodateta itse laitteessa, tulee se mitä ilmeisimmin näkymään tulevaisuudessa sähkön siirtohintojen nousuna, kun häiriöitä aiheuttavien laitteiden määrä sähköverkossa lisääntyy. Kuluttaja tekee kuitenkin ostopäätöksensä usein hinnan perusteella, joten valmistajien ei kannata häiriöiden suodatukseen tämän vuoksi liikaa panostaa. Jää siis nähtäväksi, mitä vaikutuksia LED-lamppujen käytön lisääntyminen ja tekniikan kehittyminen tuovat tullessaan.

LÄHTEET

Amitronicin www-sivut. 2015. Viitattu 20.3.2015.
<http://www.amitronic.fi/uutiset/led-valoille-soveltuvat-silikonit/?year=2010>

Fluke 43B Applications Guide. [2001]. Netherlands: Fluke Corporation. Viitattu 22.3.2015. http://assets.fluke.com/manuals/43b_____apeng0000.pdf

Fluken www-sivut. 2015. Viitattu 17.3.2015.
<http://www.fluke.com/fluke/fifi/sovellukset/sahko/sahkosanasto.htm>

Leino, J. 2015. LED-lamppujen aiheuttamat sähkömagneettiset häiriöt. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

Männistö, M., Hietalahti, L., Seesvuori, R., Seesvuori, V. & Wilén, T. 2006. Yliaallot ja kompensointi. Espoo: Sähköinfo Oy.

Osramin www-sivut. 2015. Viitattu 7.5.2015. http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tiedot/led/ammattitietoa/led-perusteet/valon-vaerit/index.jsp

Pasanen, A. 2015. Tarkista LED-lampusta myös värinsoistokyky ennen ostoa. Satakunnan Kansa 18.2.2015, Enemmän, 10.

Philipsin www-sivut. 2015. Viitattu 29.4.2015.
http://www.lighting.philips.com/main/connect/Lighting_University/Rexel_2014/FI/Tietoa_LED_teknologiasta/story_html5.html

LIITE 1



