



Jouko Ylimannila

LED-VALOLÄHTEEN ASENNUSVAIHTOEHDOT

LED-VALOLÄHTEEN ASENNUSVAIHTOEHDOT

Jouko Ylimannila
Opinnäytetyö
Syksy 2011
Tietotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Tietotekniikan koulutusohjelma	Insinöörityö	53	+	11
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Elektroniikan suunnittelu ja testaus	2011			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
Greenled Oy	Jouko Ylimannila			
Työn nimi				
Led-valolähteen asennusvaihtoehdot				
Avainsanat				
Led, valaisin, asennus				

Tämä insinöörityö on tehty Greenled Oy:lle. Työssä perehdyttiin led-valaisimen vaihtoehtoihin asennustapoihin ja niiden sähkö- ja lämpötekniisten ominaisuuksien analysointiin. Saatuja tuloksia verrattiin olemassa olevien loisteputkivalaisimien arvoihin.

Mittaukset suoritettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun sähkövoimatekniikan laboratoriossa. Valaisimien käyttämä teho ja kokonaisharmoninen särö (Total Harmonic Distortion, THD) mitattiin Fluken tehoanalysointilaitteella. Mittausten päätteeksi tutkittavien komponenttien lämpötilat mitattiin FLIR Systemsin lämpökameralla.

Tehtyjen mittausten perusteella saatiin selvitettyä, mikä on paras mahdollinen kytkentä led-putken sähköisten ominaisuuksien kannalta. Työssä saatiin myös selville, miten liitäntälaitteen eri komponentit vaikuttivat kytkennän sähköisiin ominaisuuksiin. Kytkennällä, jossa oli kuristin, mutta ei kondensaattoria, saavutettiin hieman paremmat tulokset verrattuna suoraan kytkentään.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

SISÄLTÖ

LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 TEORIA VAIHTOVIRRAN TEHOISTA	8
2.1 Pätöteho	8
2.2 Loisteho	9
2.3 Näennäisteho	10
2.4 Tehokerroin	10
2.5 Kokonaisharmoninen särö	11
2.6 Kokonaisharmoninen särö kiinteistön sähköverkossa	12
2.7 Loisteho kiinteistön sähköverkossa	13
3 AC-DC-TEHOLÄHDE	14
3.1 Teholähteen tyyppi	14
3.2 Verkkosuodatin	15
3.3 Tasasuuntaus	17
3.4 Hakkuri	17
4 VALAISINKYTKENNÄT	18
4.1 Alkuperäinen loisteputkirunko	18
4.2 Loisteputkirunko josta on poistettu kondensaattori	18
4.3 Loisteputkirunko josta on poistettu kondensaattori ja kuristin	19
5 KURISTIN	21
5.1 Elektroninen kuristin	21
5.2 Magneettinen kuristin	22
6 LED-VALAISIMEN RAKENNE	24
7 LEDIEN LÄMMÖNHALLINTA	26
7.1 Johtuminen	26
7.2 Konvektio	26
7.3 Säteily	27
7.4 Led-valaisimen lämmönhallinta	29
8 VALAISINKYTKENTÖJEN TESTAUS	32
8.1 Verkkooanalysointimittaukset	32
8.1.1 Tulokset loisteputkillalla	33

8.1.2 Tulokset led-putkilla, kytkentä 1	35
8.1.3 Tulokset led-putkilla, kytkentä 2	37
8.1.4 Tulokset led-putkilla, kytkentä 3	39
8.2 Tulojännitteen vaikutukset	41
8.2.1 Tulokset loisteputkilla 220 V	42
8.2.2 Tulokset loisteputkilla 240 V	44
8.2.3 Tulokset led-putkilla.....	46
8.3 Lämpökameramittaukset	46
8.3.1 Tulokset loisteputkivalaisimella	46
8.3.2 Tulokset led-putkivalaisimella.....	48
9 POHDINTA	50
LÄHTEET.....	51
LIITTEET	54

LYHENTEET

AC	Alternating Current, vaihtovirta
AC-DC	Vaihtojännitteestä tasajännitteeksi
C	Kapasitanssi [F]
CM	Common Mode, yhteismuotoinen häiriö
D	Pulssisuhde
DC	Direct Current, tasavirta
DC-DC	Tasajännitteestä tasajännitteeksi
DCM	Discontinuous Conduction Mode, epäjatkuva Johtamismoodi
DCR	DC-resistanssi
DM	Differential Mode, eromuotoinen häiriö
ESR	Equivalent Series Resistance, kondensaattorin sisäinen Sarjaresistanssi
f_s	Kytkeäntaajuus [Hz]
I	Sähkövirta [A]
L	Induktanssi [H]
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, kanavatransistori
P	Teho [W]
PFM	Pulse Frequency Modulation, pulssitaajuusmodulaatio
PWM	Pulse Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio
Q	Sähkövaraus [C]
R	Resistanssi [Ω]
THD	Total Harmonic Distortion, kokonaisharmoninen särö
U	Jännite [V]
ZVS	Zero Voltage Switching, kytkeminen jännitteettömässä tilassa
η	Hyötysuhde

1 JOHDANTO

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2005/32/EY tavoitteena on nopeuttaa ja helpottaa ekologisten ja energiatehokkaiden energiaa käyttävien tuotteiden tuloa markkinoille kieltämällä vaiheittain vanhojen paljon energiaa kuluttavien tuotteiden myynti EU:n alueella. Tämä asettaa suuren haasteen uusien tuotteiden ja ratkaisujen kehittäville yrityksille. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. 2005/32/EY. 2005.)

Työn tilaaja Greenled Oy on oululainen yritys, joka tarjoaa energiatehokkaita valaisinratkaisuja yrityksille avaimet käteen -periaatteella. Energiatehottomat loisteputkivalot, halogeenivalaisimet, hehkulamput sekä pienloistevalot korvataan energiatehokkailla G-Lite-valoilla. (Greenled. 2011.)

Työssä on tavoitteena tutkia led-valoputken sähköistä toimintaa kolmessa erilaisessa tilanteessa. Ensimmäisessä tapauksessa led-valoputki asennetaan suoraan loisteputken tilalle ja sytyttimen tilalle vaihdetaan sulake. Testeissä käytetty loisteputken liitäntälaitte on kuristin. Jos valaisinrungossa on käytetty elektronista liitäntälaitetta, se täytyy ohittaa tai poistaa kokonaan. Toisessa tilanteessa valaisinrungosta poistetaan häiriöpoistokondensaattori. Kolmannessa tilanteessa kuristin ja häiriöpoistokondensaattori poistetaan valaisinrungosta, jolloin led-valoputki on kytketty suoraan verkkojännitteeseen. Tavoitteena on selvittää, mikä edellä mainituista tilanteista on suotuisin tehonkulutuksen ja sähköverkon kannalta.

Tässä työssä keskitytään ainoastaan valaisinkytkennän sähköisiin ominaisuuksiin, eikä oteta kantaa valon laatuun tai voimakkuuteen.

2 TEORIA VAIHTOVIRRAN TEHOISTA

2.1 Pätöteho

Teho muuttuu ajan mukana monimutkaisesti, joten hetkellisen tehon sijasta on kiinnostavampaa tarkastella jakson aikaista keskimääräistä tehoa. Trigonometriä vastaavuuksia käyttäen saadaan keskimääräinen teho P . (Inkinen – Manninen – Tuohi 2006, 211.)

$$P = \frac{1}{2} \hat{u} \hat{i} \cos \phi$$

KAAVA 1

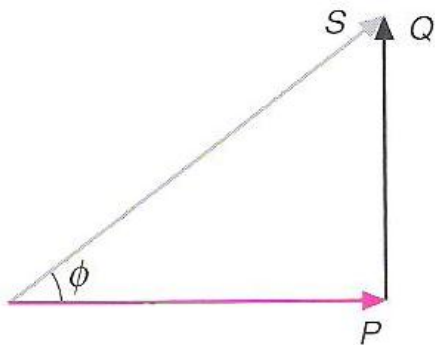
Tämä on tarkoituksenmukaista ilmaista tehollisuuseiden avulla alla esitetyn kaavan 2 mukaisesti (Inkinen ym. 2006, 211).

$$P = UI \cos \phi$$

KAAVA 2

Tätä tehoa kutsutaan pättötehoksi. Pätöteho on todellinen laitteen kuluttama teho, joka vastuksessa muuttuu lämpöenergiaksi tasavirtapiirien tapaan. Pätötehon yksikkö on watti (W). (Inkinen ym. 2006, 211.)

Kuvassa 1 on esitetty eri tehojen suhdetta ja vaihe-eroa kuvaava tehodiagrammi.



KUVA 1. Tehodiagrammi (Inkinen ym. 2006, 212)

2.2 Loisteho

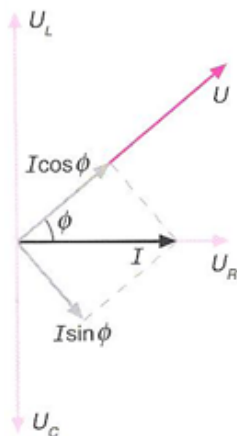
Koska näennäisteho on suurempi kuin pätöteho, on vaihtovirtapiirissä vielä muutakin tehoa. Tämä teho on kondensaattoriin ja käämiin varastoituva osuus, joka purkautuu jaksollisesti takaisin jännitelähteeseen. Tämä edestakaisin jännitelähteen ja kulutuslaitteen välillä heilahteleva osuus on loistehoa. Loistehon yksikkö on vari (var). (Inkinen ym. 2006, 212.)

Kuvassa 2 on jännitettä vastaan kohtisuora komponentti $I \sin \phi$, joka on loisvirta. Kerrointa $\sin \phi$ sanotaan loistehokertoimeksi. Kun loisvirta kerrotaan kaavan 3 mukaisesti jännitteellä, saadaan loisteho eli reaktiivinen teho. (Inkinen ym. 2006, 212.)

$$Q = UI \sin \phi$$

KAAVA 3

Kuvasta 2 on myös hyvin nähtävissä kelan ja kondensaattorin aiheuttama jännitteen ja virran välinen vaihe-ero. Kelan tapauksessa vaihe-ero on $+90^\circ$ ja jännite on sähkövirran edellä, kun taas kondensaattorin tapauksessa vaihe-ero on -90° ja jännite on sähkövirtaa jäljessä. (Inkinen ym. 2006, 206–209.)



KUVA 2. Sähkövirrankomponentit (Inkinen ym. 2006, 212)

Sähköjakeluverkoissa kuormitusten ottama loisvirta on pääosin induktiivista. Sitä tarvitaan magneettikenttien aikaansaamiseen mm. sähkömoottoreiden ja

muuntajien reaktansseissa sekä purkauslamppujen kuristimissa. Jakeluverkot joudutaan mitoittamaan loisivirran mukaan. Häviöiden kannalta on edullista pitää loisvirta mahdollisimman pienenä. Induktiivinen loisvirta pyritäänkin pienentämään tai kumoamaan kuormituspisteiden lähelle sijoitettavilla kondensaattoreilla. Teollisuus maksaa myös loistehosta, kun taas tavallinen kuluttaja maksaa vain pätötehosta. (Inkinen ym. 2006, 212–213.)

2.3 Näennäisteho

Vaihtovirtapiirissä esiintyy koko ajan jännitteen ja sähkövirran tehollisuureiden tulona UI ilmaistavissa oleva teho, jota kutsutaan näennäistehoksi (kaava 4). Näennäistehon yksikkö on voltiampeeri (VA). (Inkinen ym. 2006, 212.)

$$S = UI$$

KAAVA 4

2.4 Tehokerroin

Kulma ϕ on jännitteen ja virran välinen vaihe-ero. Suure $\cos \phi$ on tehokerroin. Se aiheutuu vaihtovirtapiirin reaktanssista, jolloin $0 < \cos \phi < 1$. Jos kuormitus on puhtaasti resistiivinen tai RLC-piiri on resonanssissa, vaihe-ero (ϕ) on nolla ja tehokerroin ($\cos \phi$) on yksi, jolloin $P = UI$. Jos taas kuormitus on puhdas reaktanssi, niin vaihe-ero (ϕ) on $\pm \pi/2$ ja tehokerroin on ($\cos \phi$) nolla. (Inkinen ym. 2006, 211.)

Tehokerroin ilmaisee sen, kuinka hyvin laite käyttää hyväkseen syöttöverkkoa. Suuremmalla tehokertoimella samasta verkosta saadaan suurempi pätöteho. Tehokertoimen maksimoimiseksi virtayliaaltojen on oltava pieniä ja lisäksi perusaallon vaihesiirron mahdollisimman lähellä nollaa. Dioditasasuuntaajan virran perusaalto on aina lähes samanvaiheinen jännitteen kanssa. Siten tehokertoimen korjaamisessa teholähteessä ei ole kyse vaihesiirron korjaamisesta, vaan virran yliaaltojen pienentämisestä. (Kyyrä 1998, 4.)

Tehokerroin määritellään pätötehon ja näennäistehon suhteen kaavan 5 mukaisesti. (Kyyrä 1998, 4.)

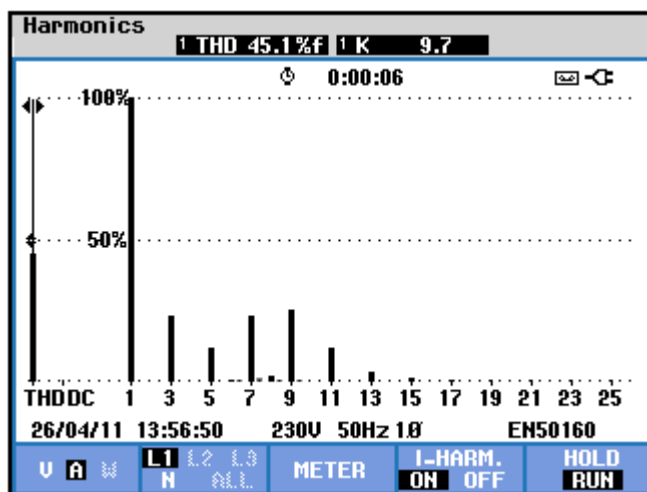
$$PF = \frac{P}{S}$$

KAAVA 5

2.5 Kokonaisharmoninen särö

Kokonaisharmoninen särö (Total Harmonic Distortion, THD) muodostuu niimensä mukaisesti perusaallon (fo) harmonisista kerrannaisista, joita ovat 2fo, 3fo, 4fo, 5fo, 6fo jne. (Honkanen b.)

Kuvassa 3 on esitetty näkymä Fluken 435-tehoanalysaattorin THD-mittauksesta. Kuvassa on numerolla 1 esitetty perustaajuus. Loput kuvassa esiintyvistä palkeista ovat perustaajuuden harmonisia kerrannaisia. Kuvan ylälaudassa on myös ilmoitettu prosentteina mittarin laskema kokonaisharmoninen särö ja K-kerroin. K-kerroin on numero, joka määrittelee potentiaaliset harmonisten aaltojen aiheuttamat häviöt muuntajissa. Korkeamman asteen harmoniset aallot vaikuttavat K-kertoimeen enemmän kuin matalan asteen harmoniset aallot.



KUVA 3. Tehoanalysaattorin THD-mittausnäky

Kokonaisharmoninen särö määritellään särökomponenttien tehon suhteena koko signaalin tehoon alla esitetyn kaavan 6 mukaisesti. THD on suhdeluku, joka ilmaistaan prosentteina. Tästä johtuen laskettavien arvojen ei tarvitse olla absoluuttisia, riittää, että ne ovat suhteessa toisiinsa. (Honkanen b.)

$$THD = \frac{\text{Särökomponenttien teho}}{\text{Kokosignaalin teho}} = \frac{\sqrt{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N}}{\sqrt{P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N}} \quad \text{KAAVA 6}$$

P_0 = perusaallon teho

P_1 = ensimmäisen harmonisen aallon teho

Tässä työssä harmonisia säröjä sähköverkon suuntaan aiheuttaa hakkuri, joka ottaa sähköverkosta virtaa pulssimaisesti. Syntyviä häiriöitä pyritään suodattamaan pois hakkurin sisäisillä verkkosuotimilla. Lisäksi korkeat taajuuskomponentit aiheuttavat radiotaajuisia säteileviä häiriökomponentteja, joiden vuoksi joudutaan yleisesti käyttämään metallisia koteloja. (Honkanen a.)

2.6 Kokonaisharmoninen särö kiinteistön sähköverkossa

Epälineaariset kuormitukset, kuten elektronisten laitteiden hakkuriteholähteet ja tasasuuntaajat, ottavat tai syöttävät verkkoon sinimuodosta poikkeavia virtoja, jotka sisältävät ns. yliaaltovirtoja. Yliaaltovirrat ovat sähköverkossa esiintyviä vaihtosähkön 50 Hz:n taajuuden monikertoja. Yliaaltovirrat aiheuttavat johtimien, keskusten ja muuntajien ylikuormittumista sekä lisäävät verkon jännitesärön määrää. Jännitesärö heikentää sähköverkon sähkön laatua. Huono sähkön laatu voi vaikuttaa verkossa olevien laitteiden toimintaan ja aiheuttaa niissä vaikeasti todennettavissa olevia satunnaisia toiminta häiriöitä. Verkkoyhtiö vastaa jakelujännitteen laadusta asiakkaan liittämiskohdassa ja sen on siten pystyttävä kontrolloimaan liittämiskohdassa esiintyvää virtasäröä. Yliaaltovirtojen suodatuksella parannetaan sekä sähkön laatua, että verkon energiatehokkuutta. (Tampereen sähkölaitos. 2011, 1.)

2.7 Loisteho kiinteistön sähköverkossa

Useimmat sähköverkon kulutuslaitteet tarvitsevat toimiakseen pätötehon lisäksi loistehoa. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi moottorit, purkauslamput ja muuntajat. Näiden laitteiden aiheuttama loisteho on induktiivista, kun taas esimerkiksi hakkuri teholähteiden aiheuttama loisteho on usein kapasitiivista. Laitteiden tarvitsema loisteho voidaan joko ottaa sähköverkosta tai tuottaa laitteiden läheisyydessä kompensointilaitteistolla. Sähköverkkoon loistehoa tuottavat pääasiassa voimalaitosten generaattorit. Loistehon siirto sähköverkossa lisää johtojen ja muuntajien jännite-, teho- ja energiahäviöitä sekä vähentää pätötehon siirtokykyä niin normaaleissa käyttötilanteissa kuin varasyöttötilanteissakin. Loistehon siirto johtaa myös verkon vahvistus- tai uusinta investointeihin. (Tampereen sähkölaitos. 2011, 5.)

Sähkökäyttäjän kannalta loistehon kompensointi tarve syntyy lähinnä jakeluverkon haltijan loissähkön hinnoittelusta. Lisäksi sähkökäyttäjän omassa sisäisessä verkossa loistehon siirron aiheuttamat haitat ovat samantyyppisiä kuin jakeluverkossakin eli häviöiden kasvu ja johtojen suuremmat poikkipinta-alat pelkästään pätötehon siirtoon verrattuna. Loistehon otto saattaa myös kasvattaa tarvittavan pääsulakkeen kokoa ja siten liittymismaksua ja pääsulakekoosta riippuvaa perusmaksua. (Tampereen sähkölaitos. 2011, 5.)

3 AC-DC-TEHOLÄHDE

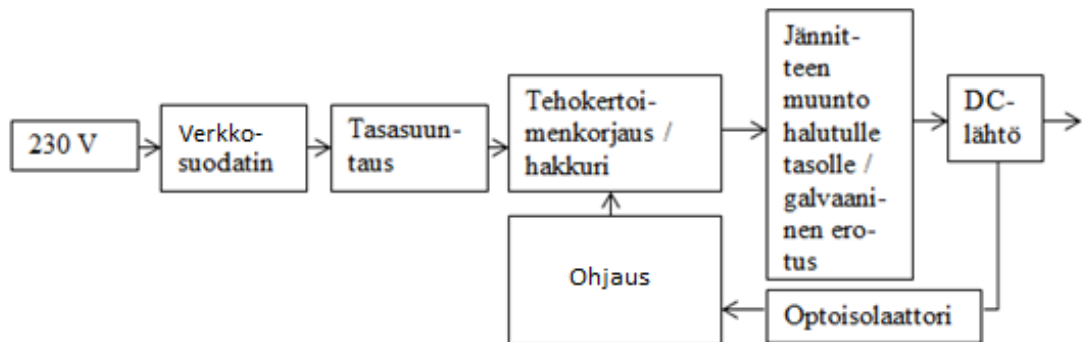
Tehonlähde on yksi elektronisen laitteen tärkeimmistä komponenteista ja sillä on suuri vaikutus laitteen toimintaan ja elinkaareen. Koko ajan kiristyvien energiankulutusvaatimusten takia elektroniikkalaitteissa käytetään hakkuri-tyyppisiä tehonlähteitä niiden energiatehokkaan toiminnan ja kompaktin koon vuoksi. Hakkureita käytettäessä haittapuolena ovat niiden aiheuttamat johtuvat ja säteilevät häiriöt, joita pyritään poistamaan erilaisilla verkkosuotimilla ja koteloimalla hakkuri metallikoteloon.

Hakkuritehnlähteet jakautuvat neljään eri pääryhmään, jotka ovat AC-AC, AC-DC, DC-AC ja DC-DC. Tässä työssä tutkitun laitteen tehonlähde on AC-DC-tyyppinen, eli laite ottaa tarvitsemansa tehon sähköverkosta (AC) ja hakkuri muuntaa sen ledeille sopivaksi tasavirraksi (DC). Tulojännite voi vaihdella hyvinkin paljon, lähtöjännitteen pysyessä sille asetetuissa rajoissa. Tutkittu virtalähde on myös isoitu, eli galvaanista yhteyttä vaihtovirtapuolen ja tasavirtapuolen välillä ei ole. Tämä luo turvallisuutta laitteen käyttäjälle, sillä vika-tilanteessa verkkovirta ei pääse kytkeytymään laitteen tasavirtapuolelle.

3.1 Teholähteen tyyppi

AC-DC-tehnlähteet jakautuvat kahteen päätyyppiin, jotka ovat yksivaiheinen ja kaksivaiheinen kytkentä. Yksivaiheisessa kytkennässä tehokertoimen korjaus ja DC-jännitteen muodostus suoritetaan samalla ohjainpiirillä ja kytkimellä. Kaksivaiheisessa kytkennässä tehokertoimenkorjaus ja DC-jännitteen muodostus suoritetaan erillisillä komponenteilla, erillisissä lohkoissa. Ensimmäisessä lohkoissa suoritetaan tehokertoimenkorjaus, jonka jälkeen lohkon lähdössä on korkea, heikosti reguloitu tasajännite, joka on tyypillisesti 380–400 V. Toisessa lohkoissa edellisestä lohkoista saatu DC-jännite reguloidaan tarkemmin vaatimusten mukaan. Yksivaiheisella tehnlähteellä voidaan toteuttaa kustannustehokkaita alle 200 W:n tehnlähteitä. Kaksivaiheista kytkentää käytetään suurempitehoisissa tehnlähteissä paremman hyötysuhteensa vuoksi. (Zhang – Jovanovic – Lee 1999, 1.)

Työssä tutkittavissa tuotteissa käytetään yksivaiheista kytkentää, koska tuotteiden tehonkulutus on matalaa ja elektroniikalle käytettävissä oleva tila on hyvin rajallinen. Kuvassa 4 on esitetty tutkittavan tuotteen periaatteellinen lohkokaavio.



KUVA 4. AC-DC-teholähteen lohkokaavio

3.2 Verkkosuodatin

Verkkosuodatinlohko on kytketty verkon ja tasasuuntaussillan väliin. Sen tehtävä on pienentää verkosta otetun virran säröä ja suojella laitetta verkosta päin tulevilta häiriöiltä.

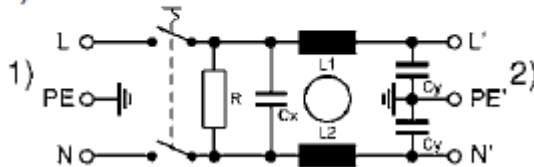
Häiriö voi indusoida joko siten, että se indusoidaan molempiin johtimiin samanvaiheisena eli yhteismuotoisesti (Common Mode) tai vastavaiheisena eli eromuotoisesti (Differential Mode). Edellä kuvatut häiriömallit koskevat kaikkia siirtolinjoja, myös sähköverkon häiriökomponentteja. (Honkanen c.) Yhteismuotoinen häiriö on mitattavissa vaihejohtimen ja suojamaajohtimen välillä, kun taas eromuotoinen häiriö on mitattavissa vaihe- ja nollajohtimen välillä.

Kuvassa 5 on esitetty tyypillinen verkkosuodatinmoduulin kytkentä, jossa on erillinen virtakatkaisin.

Standard filter 2-pole

1) Line

2) Load



KUVA 5. Tyypillinen verkkosuodatin (Schurter 2011)

Taulukossa 1 on esitetty verkkosuodattimen komponenttien arvot kahdelle eri virralle.

TAULUKKO 1. Verkkosuodattimen komponenttien arvot

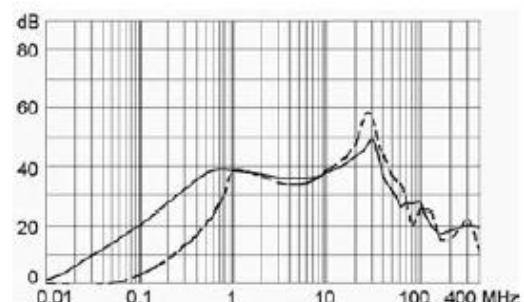
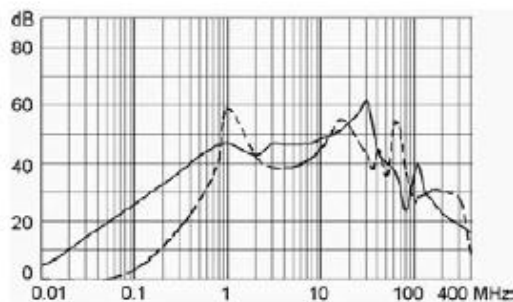
Verkkosuodattimen komponenttien arvot					
Tyyppi	Virta [A]	Induktanssi L [mH]	Kapasitanssi CX [nF]	Kapasitanssi CY [nF]	Resistanssi R [MΩ]
Standard version	2	2 x 4	100	2,2	1
Standard version	4	2 x 1,5	100	2,2	1

Kuvassa 6 on esitetty edellä mainitun verkkosuodattimen häiriön vaimennuskäyrä 2 ja 4 ampeerin virroilla.

- - - differential mode _____ common mode

2 A

4 A



KUVA 6. Häiriön vaimeneminen tietyillä taajuuksilla (Schurter 2011)

3.3 Tasasuuntaus

Verkkosuodattimen jälkeen sähköverkon vaihtojännite tasasuunnataan sykkiväksi tasajännitteeksi. Jännitteen sykkimistä voidaan vähentää lisäämällä kytkentään tasasuuntaussillan jälkeen kondensaattori ja kela. Kokoaalto-tasasuuntaus suoritetaan perinteisellä neljästä diodista muodostuvalla tasasuuntaussillalla. Nykyään käytettävät kokoaaltotasasuuntaussillat on paketoitu yhdeksi komponentiksi.

3.4 Hakkuri

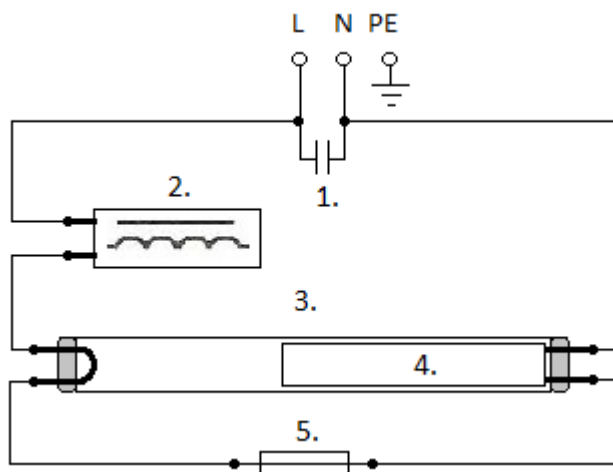
Tehokertoimen korjaus ja hakkurin ohjaus suoritetaan yhdellä ohjainpiirillä. Vakioratkaisuksi tehokertoimen korjauksessa on muodostunut dioditasasuuntaajan jälkeen lisättävä jännitettä nostava boost-tyyppinen katkoja. (Kyyrä 1998, 2.) Ohjainpiiri ohjaa myös MOSFET-tyyppistä kanavatransistoria, jolla säädetään erotusmuuntajan ensiöpuolelle menevää tehoa. Erotusmuuntajan toisiopuolelta saadaan jännite teholähteen DC-osaan, jossa jännite reguloidaan led-moduuleille sopivaksi. Teholähteen lähdestä on takaisinkytkentä ohjainpiirille, jonka avulla tarkkaillaan ja säädetään lähtöjännitettä.

4 VALAISINKYTKENNÄT

4.1 Alkuperäinen loisteputkirunko

Kaikissa testikytkennöissä käytettiin liitälaitteena konventionaalista kuristinta. Elektroninen liitälaitte ei sovellu käytettäväksi led-valoputkien kanssa, vaan se täyttyy ohittaa kokonaan. Jos valaisimen liitälaitteen kytkentää muutetaan rakennuksessa, muutostyö tulee antaa ammattilaisen tehtäväksi.

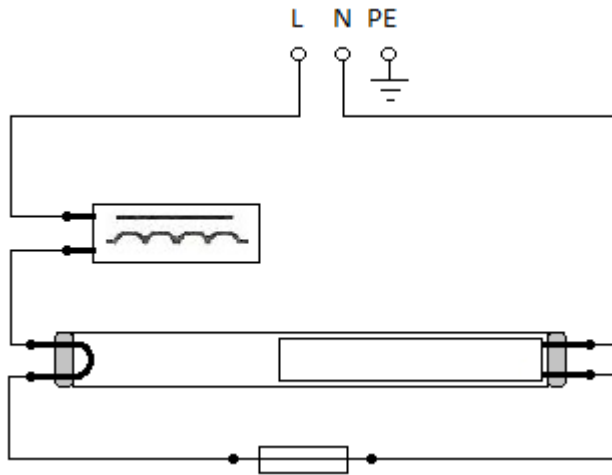
Ensimmäisessä testikytkennässä (kuva 7) valaisinrungossa oleva loisteputken sytytin korvattiin sulakkeella. Valaisinkytkentään ei tässä vaiheessa tehty muita muutoksia.



KUVA 7. Ensimmäinen testikytkentä. 1. häiriönpoistokondensaattori, 2. kuristin, 3. led-valoputki, 4. led-valoputken sisäinen teholähde ja 5. sytyttimen korvaava sulake.

4.2 Loisteputkirunko josta on poistettu kondensaattori

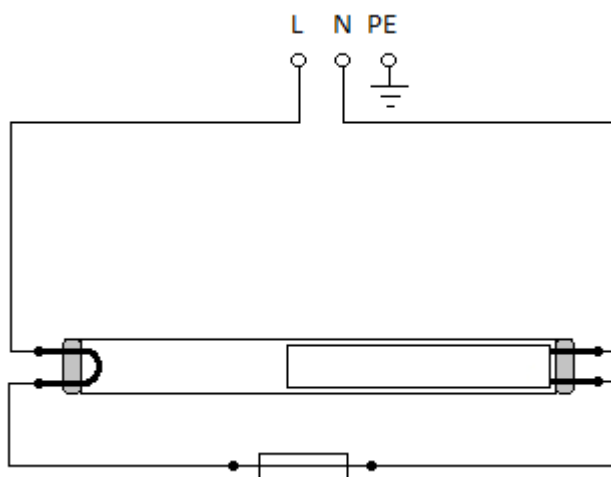
Toisessa testikytkennässä (kuva 8) valaisinrungosta poistetaan kompensointiin ja radiohäiriöiden poistoon tarkoitettu kondensaattori. Tällä toimenpiteellä pyritään pienentämään huomattavasti sen aiheuttamaa suurta kapasitiivista loistehoa, joka kuormittaa sähkönjakeluverkkoa.



KUVA 8. Toinen testikytkentä

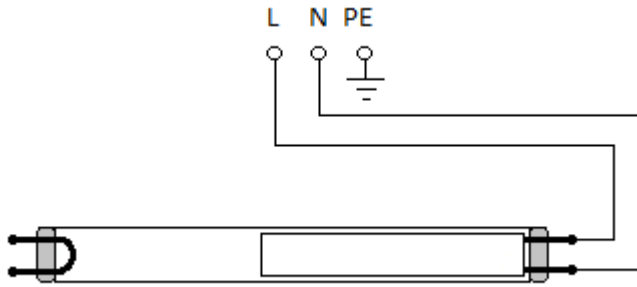
4.3 Loisteputkirunko josta on poistettu kondensaattori ja kurlistin

Viimeisessä testikytkennässä liitännälaitteet poistetaan kokonaan ja led-valoputki kytketään suoraan sähköverkkoon. Tällä pyritään minimoimaan niissä syntyvät pienet tehohäviöt. Samalla valaisimen luotettavuus paranee, koska mahdollisesti ajan kuluessa hajoavien komponenttien määrä pienee. Yhtenä mielenkiinnonkohteena olivat myös liitännälaitteen vaikutukset valaisimen häiriötasoon.



KUVA 9. Kolmas testikytkentä

Kytkentä voidaan suorittaa kahdella tapaa. Jännite voidaan kierrättää molempien led-valoputkienkantojen ja sytyttimen tilalle asennetun sulakkeen kautta led-valoputken hakkurille (kuva 9). Toinen vaihtoehto on viedä jännite suoraan led-valoputken hakkurille, sillä led-valoputken hakkurikortti sisältää sisäisen sulakkeen, joka palaa vikatilanteessa (kuva 10). Näin ollen ylimääräistä sulaketta sytyttimen paikalla ei tarvitse käyttää.



KUVA 10. Suora testikytkentä

5 KURISTIN

5.1 Elektroninen kuristin

Loistelamppujen elektroniset liitännälaitteet voidaan jakaa kahteen ryhmään. Eräät liitännälaitteet on tarkoitettu käytettäväksi vain erityisesti niitä varten kehitettyjen suurtaajuuslamppujen kanssa. Toinen ryhmä liitännälaitteita on tarkoitettu standardilampuille. Yhdellä liitännälaitteella voidaan ohjata 1–4 lampua. (Halonen – Lehtovaara 1992, 301.)

Loistelampun elektroninen liitännälaitte korvaa kuristimen, sytyttimen sekä kompensointi- ja radiohäiriökondensaattorin. Elektronisilla liitännälaitteilla on mahdollista käyttää hyväksi loistelampulle ominaista valotehokkuuden kasvua suurilla syöttöjännitteen taajuuksilla. Liitännälaitteen komponentit mitoiteetaan usein siten, että lampun valovirta pysyy samana kuin konventionaalista kuristinta käytettäessä, jolloin lampun ottamaa tehoa voidaan pienentää. (Halonen – Lehtovaara 1992, 299.)

Käytettävä taajuus on 20–50 kHz, mikä on ihmiskorvan kuuloalueen yläpuolella. Valossa ei esiinny välkyntää suuritaajuisella lamppuvirralla eivätkä loppuun palaneet lamput jää häiritsevästi välkkymään. Lisäksi liitännälaitteella voidaan kompensoida verkkojännitteen vaihteluita ilman, että ne näkyvät valotasossa. (Halonen – Lehtovaara 1992, 299.)

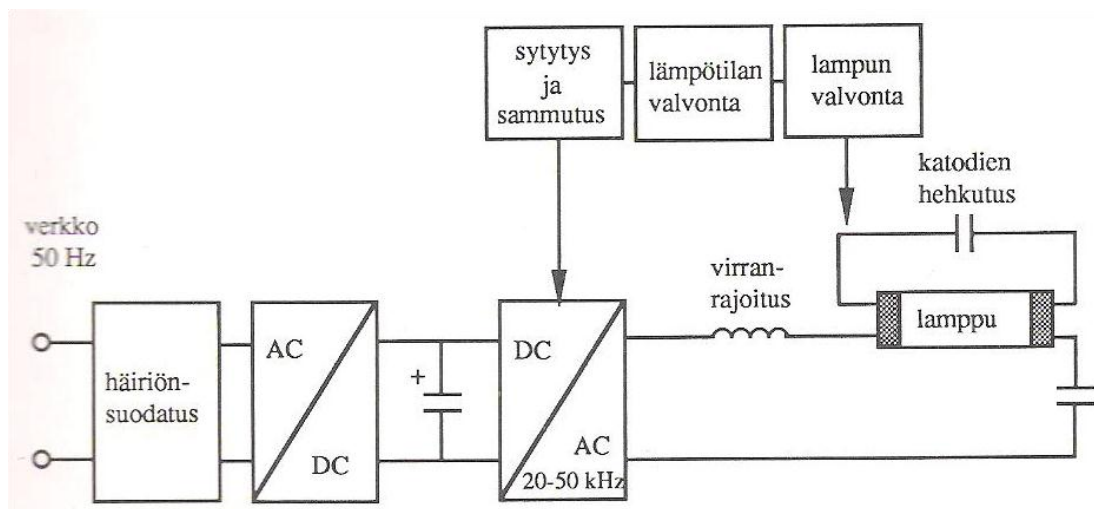
Elektroninen liitännälaitte nopeuttaa myös lampun syttymistä, eikä laite toista sytytysyrityksiä, mikäli lamppu on viallinen. Niin ikään laite sammuttaa elinkaarensa loppua lähestyvän lampun (deaktivoitunut lamppu). Lämpötilan valvontapiiri katkaisee laitteen toiminnan lämpötilan noustessa liian suureksi. (Halonen – Lehtovaara 1992, 300.)

Elektroninen liitännälaitte (kuva 11) sisältää taajuusmuuntajan, joka muuttaa verkkotaajuisen jännitteen suurtaajuiseksi jännitteeksi. Lamppupiirissä on virranrajoitin ja resonanssikomponentteja, jotka yhdessä lampun kanssa muo-

dostavat värähtelypiiriin. Virranrajoitus voidaan suurtaajuudella toteuttaa pienellä komponentilla, sillä taajuuden nostaminen kasvattaa kelan impedanssia kaavan 6 mukaisesti. Liitântälaite sisältää valvontapiiriin, jolla säädetään lampun tehoa, jännitettä ja virtaa. Valvontapiiri katkaisee laitteen toiminnan vikatilanteissa. Laite sisältää myös häiriönvaimennuskomponentteja, jotta radiohäiriöt ja verkkovirran harmoniset säröt pysyisivät määräysten mukaisissa rajoissa. (Halonen – Lehtovaara 1992, 301.)

$$Z = 2\pi fL$$

KAAVA 6



KUVA 11. Elektronisen liitântälaitteen lohkokaavio (Halonen – Lehtovaara 1992, 301.)

5.2 Magneettinen kuristin

Kuristin on virtaa rajoittava induktiivinen komponentti. Lakkaeristeinen kuparilanka on kääritty kelarungolle. Runkoon on asennettu rautasydän, joka on koottu ohuista metallilevyistä. Sydämessä oleva ilmaväli parantaa sähköisiä ominaisuuksia ja vähentää magneettista kyllästymistä. Kuristin päällystetään lakalla, hartsilla tai massalla, jolla parannetaan eristystä, sähköistä kestävyttä ja lämmönjohtavuutta ja vähennetään ääntä. (Halonen – Lehtovaara 1992, 291.)

Kuristimella varustetun lamppupiirin jännitteen ja virran välinen vaihesiirto on induktiivinen, toisin sanoen virta on jännitettä jäljessä. Lampun virta on vain lyhyen ajan lähellä nollaa, joten valossa näkyvä välkyntä on vähäistä. (Halonen – Lehtovaara 1992, 292.)

Kuristimen tehohäviöt ovat kuparilangan resistanssissa tapahtuvia lämpöhäviöitä, hystereesi- ja pyörrevirtahäviöitä rautasydämessä sekä ilmaraossa tapahtuvia häviöitä. Suuritehoisilla lampuilla kuristinhäviöiden osuus kokonaistehosta on noin 10–20 %. Pienitehoisilla lampuilla (esimerkiksi 7–11 W:n yksikantaloistelamput) kuristinhäviöiden osuus on huomattavasti suurempi. Piirin tehokerroin ilman kompensointia on huono suuren loistehon osuuden vuoksi. Loisteho aiheutuu edellä mainitusta virran ja jännitteen vaihe-erosta. (Halonen – Lehtovaara 1992, 292.)

Sydämen vuontiheys ja kuparin virrantiheys yhdessä kuristimen pinta-alan ja lämmönjohtavuuden kanssa määräävät kuristimen lämpötilan. Käämin ja eristysaineiden vanheneminen nopeutuu, kun lämpötila kasvaa. Sallittu lämpötila (t_w) on lämpötila, jolla kuristimen elinikä on normaaliolosuhteissa vähintään 10 vuotta. Orgaanisten eristysaineiden vanheneminen riippuu lämpötilasta kaavan seitsemän mukaisesti. Kaavassa L on eristeen elinikä, K on mittayksiköistä riippuva vakio, D on materiaali vakio, T on lämpötila kelvineinä ja e on matemaattinen vakio. (Halonen – Lehtovaara 1992, 292.)

$$L = Ke^{D/T}$$

KAAVA 7

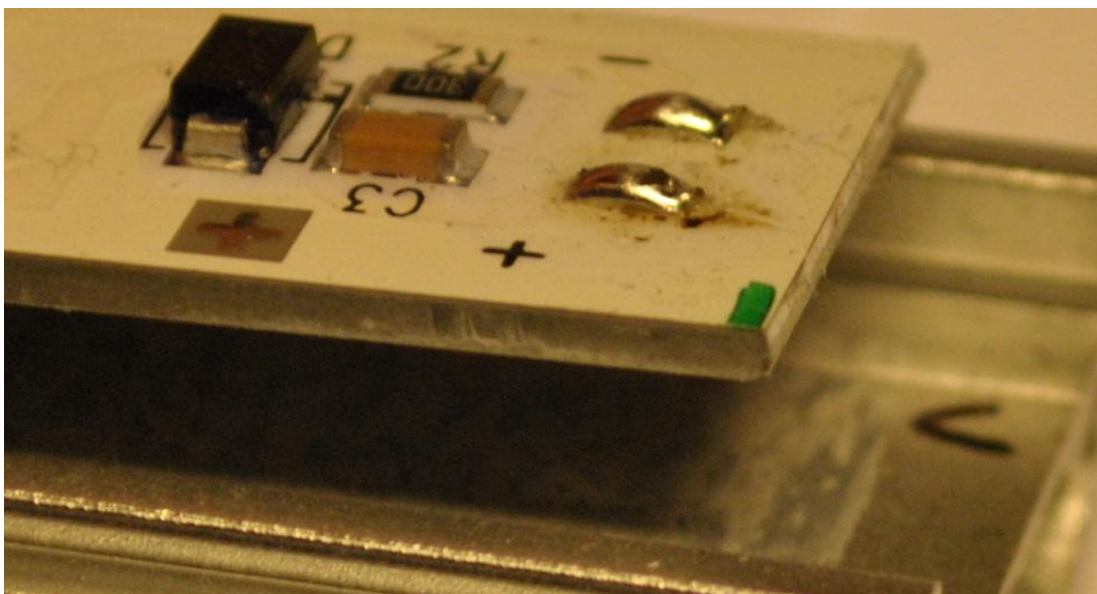
Kuristimesta kuuluva ääni syntyy ilmaraossa. Magneettiipiiri vetää ilmaraon eri puolilla olevia sydämen osia toisiinsa. Ilmaraosta lähtevä magneettinen hajavuo voi saada kuristimen ympäristössä olevia metalliosia värähtelemään. Vaikka itse kuristin olisi hyvin suunniteltu ja valmistettu, voi esimerkiksi valaisimessa oleva osa värähdellä hyvinkin pienellä energialla. (Halonen – Lehtovaara 1992, 292.)

6 LED-VALAISIMEN RAKENNE

Led-valoputkien runkomateriaalina käytetään useimmiten alumiinia, joka toimii jäähdytyslementtinä led-valoputken led-moduuleille ja myös mahdollisesti teholähteelle. Tehokkaita ledejä käytettäessä led-moduulit on rakennettu ohuesta hyvin lämpöä johtavasta piirilevymateriaalista, joka on kiinnitetty ohueen alumiinilevyyn rakenteen vahvistamiseksi. Led-moduulin pohjaan on levitetty ohut kerros lämpöä hyvin johtavaa tahnaa, jonka jälkeen led-moduuli kiinnitetään led-valoputken runkoon pienillä ruuveilla. Led-moduulin kiinnittäminen led-valoputken runkoon voidaan myös hoitaa lämpöä hyvin johtavalla liimalla.

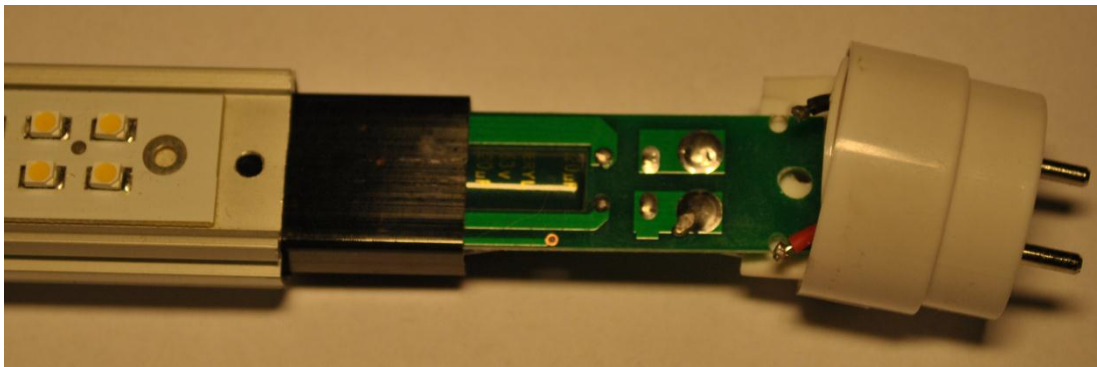
Led-moduulien rakenteessa on kaksi pääsuuntaa, jotka ovat pienitehoisilla ledeillä toteutettu led-moduuli, joka sisältää noin 20–300 lediä moduulin koon mukaan, ja suuritehoisilla ledeillä toteutettu led-moduuli, joka sisältää noin 4–20 lediä moduulin koon mukaan.

Kuvassa 12 on nähtävissä suuritehoisilla ledeillä toteutetun led-moduulin rakenne. Päälimmäisenä on hyvin ohut piirilevy, jolle ledit ja muutamia oheiskomponentteja on ladottu. Piirilevyn alapuolella on noin millimetrin vahvuinen alumiinilevy, joka vahvistaa piirilevyä ja johtaa lämpöä pois.



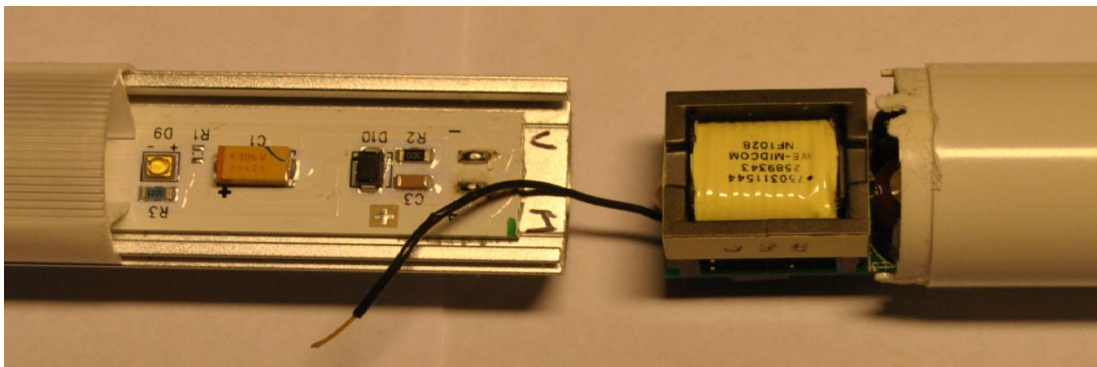
KUVA 12. Suuritehoisilla ledeillä toteutetun led-moduulin rakenne

Tutkituissa led-valoputkissa tehonlähteen sijoittelu jakautui kahteen pääryhmään. Kuvassa 13 on esitetty led-valoputki, jossa tehonlähde on sijoitettu led-valoputken rungon sisään. Etuina tässä on kompakti rakenne, jonka vuoksi led-moduulit voidaan asentaa koko valaisimen pituudelle. Ratkaisu on hyvä myös mahdollisesti tehonlähteessä syntyvien säteilevien häiriöiden torjunnan kannalta, sillä ne eivät pääse ulos metallisten seinien läpi. Säteilevien häiriöiden on mahdollista päästä ainoastaan valaisimen muovisien päätykappaleiden läpi.



KUVA 13. Valaisinrungon sisään sijoitettu tehonlähde

Kuvassa 14 on esitetty led-valoputki, jossa tehonlähde on jaettu kahdelle eri piirilevyille. Piirilevyt on sijoitettu valaisinputken päihin rakennettuihin muovikoteloihin. Kumpainenkin tehonlähde syöttää tehoa kahdelle led-moduulille. Tehonlähteen sijoittelun vuoksi menetetään valaisimen pituudesta noin 15 cm tehonlähteiden kotelointiin.



KUVA 14. Valaisinrungon päihin muovikoteloon sijoitettu tehonlähde

Tarkemmat tiedot löytyvät piirikaaviosta, joka on liitteessä 6.

7 LEDIEN LÄMMÖNHALLINTA

Edellisessä luvussa käsiteltiin jo hieman led-valaisimien lämmönhallintaa, mutta tässä luvussa tutkitaan eri vaihtoehtoja ja hieman teoriaa niiden taustalla.

7.1 Johtuminen

Johtuminen on ehkäpä helpoiten ymmärrettävissä ja mallinnettavissa oleva lämmön siirtymismuoto. Lämmön johtumiseen vaikuttavat suuresti kappaleen materiaalin lämmönjohtavuus ja eri kappaleiden rajapintojen ominaisuudet (kaava 8).

$$\Phi = \lambda A \frac{\theta}{d} = \frac{A\theta}{R}$$

KAAVA 8

Φ = lämpöviran johtuminen ainekerroksessa

$$\lambda = \text{kappaleen lämmönjohtavuus } [\lambda] = \frac{W}{m \cdot K}$$

θ = pintalämpötilojen erotus

d = ainekerroksen paksuus

A = kappaleen pinta-ala

$$R = \frac{d}{\lambda} = \text{ainekerroksen lämmönvastus} \quad [R] = \frac{m^2 K}{W}$$

7.2 Konvektio

Nesteet ja kaasut eivät yleisesti ottaen ole kovinkaan hyviä lämmön johteita. Ne voivat kuitenkin siirtää lämpöenergiaa varsin nopeasti kuljetuksen avulla. Konvektio on prosessi, jossa lämpöenergiaa siirretään virtaamaan pääsevän aineen mukana paikasta toiseen. Tämä tarkoittaa, että ainemolekyylit liikkuvat pitkiä matkoja. (Inkinen – Tuohi 1999, 407.)

Konvektiossa on kysymys lämmön kulkeutumisesta liikkeessä olevan väliaineen mukana, joka voi olla neste tai kaasu. Led-valaisimissa väliaine on ilma. Vapaa konvektio perustuu siihen, että ilma pyrkii laajenemaan lämmetessään eli sen tiheys pienenee. Kevenevä lämmin ilma pyrkii nousemaan ylöspäin luoden samalla pienen ilmavirtauksen, joka siirtää lämpöä pois jäähtyselementiltä. Pakotetussa konvektiossa ilmavirtaus luodaan puhaltimella. (Karjalainen 2010, 45.)

Konvektion aiheuttama lämmönsiirto on varsin mutkikas tapahtuma, jonka kuvaamiseen ei ole yksinkertaista yhtälöä. Lämpövirta Φ on lämpömäärä Q jaettuna ajalla t (kaava 9). (Inkinen – Tuohi 1999, 408.)

$$\Phi = \frac{Q}{t}$$

KAAVA 9

Massavirtaa q_m käyttäen voidaan yhtälön $Q = mc\Delta T$ avulla ilmaista lämpövirta muodossa $\Phi = Q/t = mc\Delta T/t$ eli kaavan 10 mukaisesti.

$$\Phi = q_m c \Delta T$$

KAAVA 10

Φ = lämpövirta

q_m = massavirta

c = ominaislämpökapasiteetti

ΔT = lämpötilaero

7.3 Säteily

Kaikki kappaleet lähettävät pinnaltaan eli emittoivat jatkuvasti energiaa sähkömagneettisena säteilynä. Energia on peräisin atomien ja molekyylien lämpöliikkeestä. Auringon maapallolle avaruuden tyhjiön läpi tuottamasta lämpöenergiasta huomataan, että säteily ei tarvitse mitään väliainetta siirtyäkseen paikasta toiseen. (Inkinen – Tuohi 1999, 419.)

Kaikki kappaleet säteilevät sekä absorboivat lämpösäteilyä, mikäli lämpötila ei ole absoluuttinen nolla. Säteilyn ja absorptio määrää riippuu tarkkailtavan kappaleen lämpötilan suhteesta ympäristön lämpötilaan. (Karjalainen 2010, 46.) Myös kappaleen ja sen lähellä olevien pintojen emissiivisyyskertoimella on huomattava vaikutus säteilemällä tapahtuvaan lämmönsiirtymiseen.

Säteilevän pinnan keskimääräinen emissiivisyys ε on suhdeluku, joka on todellisen pinnan säteilytehon ja pinta-alaltaan yhtä suuren ja myös samassa lämpötilassa olevan ideaalisen säteilijän ns. mustan pinnan säteilytehon suhde. Mustalle pinnalle emissiivisyys on 1, muille tätä pienempi. (Inkinen – Tuohi 1999, 419.)

Samalla kun kappale emittoi ympäristöönsä tietyn määrän säteilytehoa, se myös absorboi ympäristöstä tulevaa sähkömagneettista säteilyä. Jos näin ei olisi, kappale säteilisi ennen pitkää pois kaiken energiansa ja kappaleen lämpötila laskisi absoluuttiseen nollapisteeseen. (Inkinen – Tuohi 1999, 420.)

Jos esimerkiksi tarkkailtavan kappaleen lämpötila on suurempi kuin ympäristön lämpötila, se säteilee lämpöä ympäristöönsä. Kaavasta 11 on huomattavissa, että säteilevän kappaleen ja ympäristön lämpötilojen erotuksella on suuri merkitys lämpösäteilyn voimakkuuteen. (Mäkelä – Soinin – Tuomola – Öistämö 2005, 111.)

$$\Phi = \varepsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

KAAVA 11

Φ = pinnasta ympäristöön säteilynä siirtyvä lämpövirta

ε = pinnan keskimääräinen emissiivisyys

$$\sigma = 5,6705 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} = \text{Stefan Boltzmannin vakio}$$

A = säteilevän kappaleen pinta-ala

T_1 = säteilevän kappaleen lämpötila

T_2 = ympäristön lämpötila

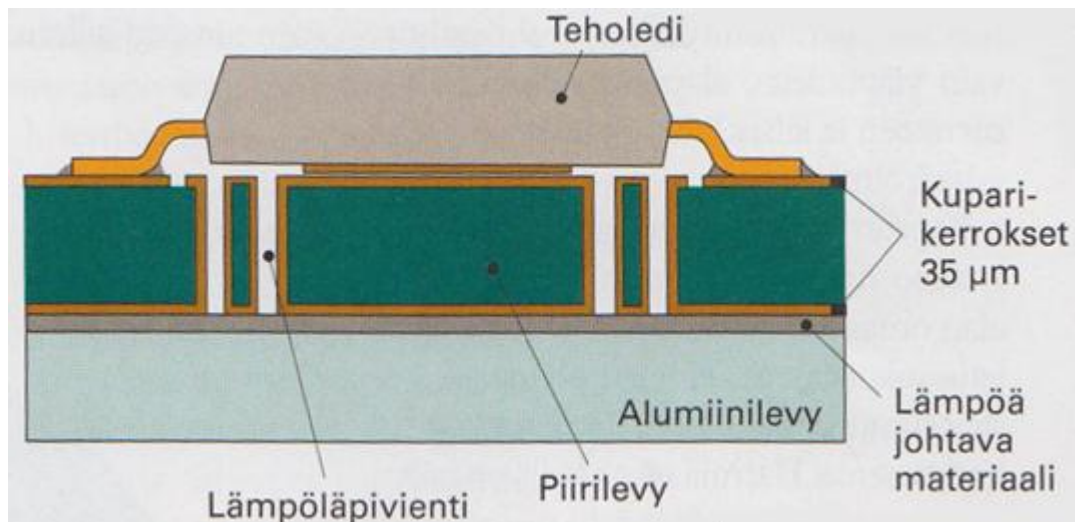
7.4 Led-valaisimen lämmönhallinta

Teholedi ei pienen kokonsa ja vaaditun alhaisen toimintalämpötilansa vuoksi jäähdy juuri säteilemällä, mutta sen lämmöntuotto on kuitenkin pieneen kokoon nähden huomattavan suuri. Tästä johtuen ledin tuottama lämpö täytyy poistaa johtamalla se jäähdytyselementtiin, josta lämpö haihtuu konvektion ja säteilyn avulla. (Karjalainen 2010, 44.)

On kuitenkin otettava huomioon, että säteilyn osuus lämmön poistumisessa on hyvin vähäistä, mikä johtuu suhteellisen pienestä lämpötilaerosta teholeidin ja sen ympäristön välillä. Esimerkiksi jos ympäristön lämpötila on 23 °C ja ledin pintalämpötila on 50 °C, lämpötila ero on ainoastaan 27 °C.

Piirilevyjen tavanomaisilla eristemateriaaleilla on melko heikko lämmönjohtavuus, joten lämmön leviäminen levyn pinnan suuntaisesti jääkin pitkälti piirilevyllä olevan kuparin varaan. Tämän vuoksi onkin suotavaa käyttää 75 mikronin paksuista kuparifoliota levyn molemmilla puolilla. Myös leveiden johtimien ja laajojen kuparitäyttöalueiden käyttö auttaa tehokkaasti lämmön siirtymistä. Paljon lämpöä tuottavan komponentin tuntumaan kannattaa lisäksi tehdä läpikuparoituja läpivientejä (kuva 15), joiden tehtävänä on johtaa lämpö piirilevyn läpi alapinnalle ja jäähdytyselementille. Lämmön leviämiseksi on piirilevyyn kiinnitetyllä jäähdytyselementillä myös oltava riittävästi paksuutta eli riittävän alhainen lämpövastus levyn pinnan suunnassa. (Karjalainen 2010, 44–45.)

Kuvassa 15 on esitetty poikkileikkaus lämmönjohtumistiestä jäähdytys elementille. Toinen hyvä tapa lämmönhallintaan on käyttää useita pienempitehoisia ledejä ja levittää ne hieman isommalle pinta-alalle, mikäli tuotteen koko sen sallii.



KUVA 15. Lämmön johtaminen ledistä jäähdytyslementtiin. (Karjalainen 2010, 45.)

Teholedin pohjassa olevan, usein pienelle alalle tehdyn lämpöliitännän ja jäähdytettävän asennusalustan välinen lämpöresistanssi on usein rakenteen hankalin kohta. Sen juottaminen kiinni piirilevyyn onkin useimmiten paras tapa. Joillakin valmistajilla on kuitenkin teholedettä, jotka eivät siedä reflow-juotostekniikan lämpötiloja. Tästä johtuen lämmönsiirtäminen teholedin ja piirilevyn välillä joudutaan suorittamaan erilaisilla lämpöä johtavilla tuotteilla (lämpötahna, lämpöliima, lämpöteippi), koska pienikin ilmaväli komponentin ja piirilevyn välillä on erittäin hyvä eriste lämmönjohtumisen kannalta. Jokaisen lämpöä siirtävän rajapinnan pitäisi toimia kunnolla kaikissa mahdollisissa oloissa koko ledin eliniän. Etenkään lämmönjohtoteippejä käytettäessä ei pelkästään niiden kiinnipitokykyyn voi luottaa ainakaan silloin, jos kiinnityspinta-ala on pieni. Ledettä kantavan piirilevyn ja valaisinrungon välissä voidaan käyttää lämpötahnaa tai vaikkapa lämmönjohtomattoa. (Karjalainen 2010, 45.)

Monet lämpöä johtavat liimat ovat kaksikomponenttisiä ja kuivuuksaan kovettuvia, mutta on myös olemassa sellaisia lämpöliimoja, jotka ovat joustavia vielä kuivuttuaankin. Jotkut kaksikomponenttiliimat saattavat kuitenkin sisältää kemikaaleja, jotka voivat vahingoittaa lediä. Lämmönjohtomateriaalin valmistajan testausraportteja kannattaa tutkia ja ohjeisiin paneutua kunnolla.

Liimaa ei saa olla liikaa ja asentamiseen on käytettävä riittävästi voimaa. (Karjalainen 2010, 45.)

Ledituotteelle luvattu pitkä käyttöikä ja tavanomainen usean vuoden takuu saattavat vaarantua jo tuotteen elinkaaren alussa lämmönjohtumisen heikentyessä kriittisillä rajapinnoilla. Liimauksen pettäminen lämpöliikkeen tai tärinän takia, teippiliiman huono pito ja asennusalustan eläminen ovat seikkoja, jotka näkyvät yleensä vasta viiveellä. Lämmönjohtotahnoissakin on eroja. Jos tahna kuivuu ja kovettuu, lämmönjohtumistie saattaa vaarantua mitä pienimmästäkin mekaanisesta muutoksesta. Laadukas lämpötahna ei kuivu, vaan pysyy joustavan mukailten pieniä mekaanisia muutoksia. (Karjalainen 2010, 45.)

8 VALAISINKYTKENTÖJEN TESTAUS

8.1 Verkkoanalysaattorimittaukset

Opinnäytetyön tilaajan pyynnöstä Fluken 435-verkkoanalysaattori käytettiin kalibroitavana ennen tässä opinnäytetyössä suoritettuja mittauksia. Kalibrointipäivä oli 31. tammikuuta 2011.

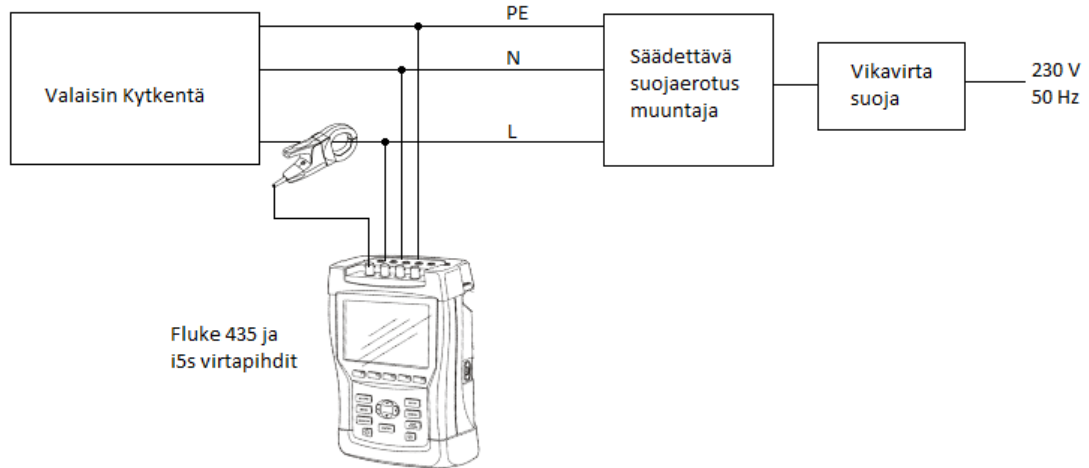
Mittaukset suoritettiin alla esitetyn tavan mukaisesti. Aluksi valaisinrunkoon koottiin tutkittava valaisinkytkentä, jonka jälkeen valaisinputket asennettiin runkoon. Valaisinrunko oli tyypiltään avoin ja siinä oli paikat kahdelle valaisinputkelle. Kaikki mittaukset suoritettiin kahdella valaisinputkella, ellei toisin mainita. Ennen mittausten aloitusta säädettiin käyttöjännite suojaerotusmuuntajalla oikeaksi ja valmisteltiin Fluken mittari sekä FlukeView-ohjelmisto mittauksia varten.

FlukeView-ohjelmistoa käytettiin kuvankaappauksien ottamiseen mittarinnäytöltä tietokoneelle myöhempää tarkastelua varten. Kuvankaappaukset otettiin Power & Energy- ja Harmonics-mittausnäkymistä. Mittauksien kokonaiskesto oli 15 minuuttia, josta ensimmäisen viiden minuutin aikana mittaustulokset tallennettiin minuutin välein, jonka jälkeen loput mittaustulokset tallennettiin kahden minuutin välein. Mittausten jälkeen kuvattiin tutkittava tuote Flir systemsin lämpökameralla.

Mittauksissa tutkittiin yhteensä seitsemän erityyppisen kuristimen vaikutusta valaisinkytkennän toimintaan ja sen sähköisiin ominaisuuksiin. Ensimmäiset viisi kuristinta oli tarkoitettu käytettäväksi 150 cm:n ja 58 W:n loisteputkien kanssa. Kuristimet 6 ja 7 olivat lyhyemmille 36 W:n tai kahdelle 18 W:n loisteputkille. Kuristimien tekniset tiedot on listattu liitteessä 1.

Ensimmäisenä verkosta päin lähdettynä oli vikavirtasuojaja, jonka jälkeen tuli säädettävä suojaerotusmuuntaja. Suojaerotusmuuntajalta käyttöjännite vietiin suoraan valaisinrungolle. Fluken verkkoanalysaattori kytkettiin rinnan suojaerotusmuuntajan ja valaisinrungon välissä olevaan kaapeliin. Kuvassa

16 on esitetty yksinkertaistettu lohkokaavio mittauskytkennästä. Jännitteen säätämiseen käytettiin tavanomaista säädettävää suojaerotusmuuntajaa. Liitteessä 2 on listattu Fluken verkkoanalysaattorin tekniset tiedot.

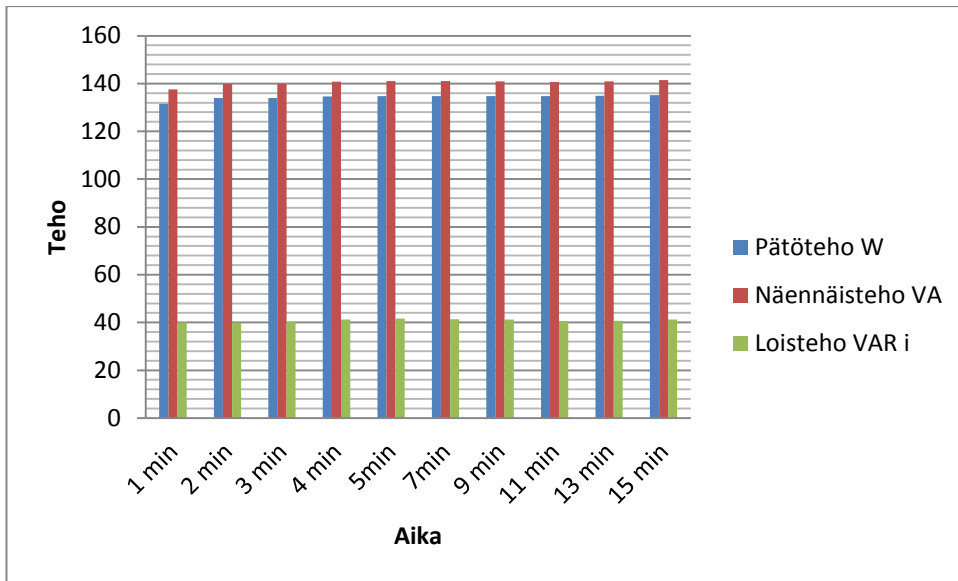


KUVA 16. Mittausjärjestelyn lohkokaavio

8.1.1 Tulokset loisteputkilla

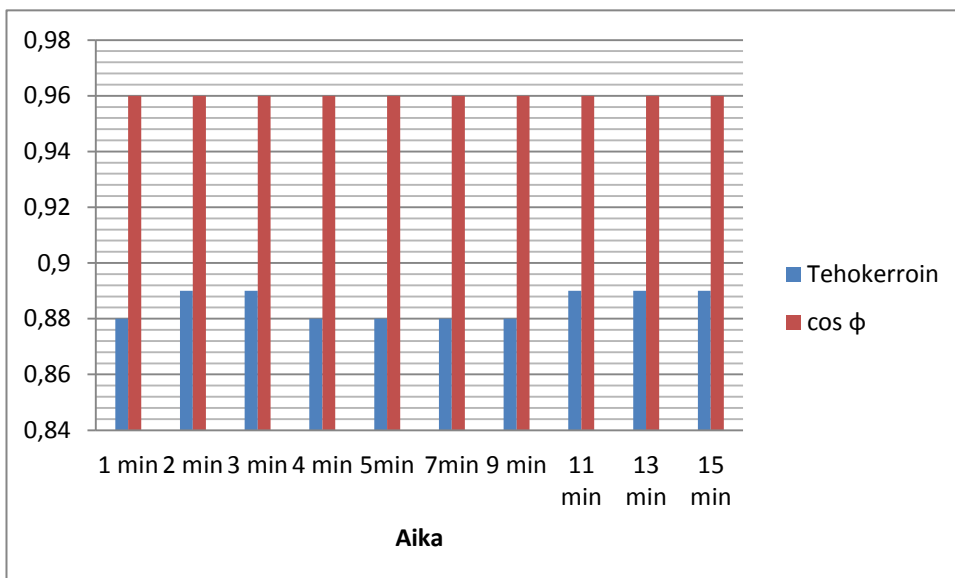
Mittaustuloksien kuvaajia lukiessa on huomioitava, että kokonaisharmonisen särön ja tehokertoimen kuvaajissa pystyakseli ei ala nollostakaan eikä asteikko ole sama kaikissa mittauksissa, johtuen suurista eroista eri mittauksien välillä.

Kuvassa 17 on esitetty loisteputkivalaisimen eri tehot mitattuna 230 V:n jännitteellä. Valaisinrungossa oli kaksi 150 cm:n ja 58 W:n loisteputkea, molemmilla oli oma kuristin numero 1 ja kondensaattori. Kuristimen 1 tekniset tiedot on listattu liitteessä 1. Loisteputkivalaisimen ottama teho kasvoi mittauksen kuluessa hieman loisteputken lämpenemisen vuoksi. Pätötehon osalta tehokulutuksen kasvu oli noin 5 wattia mittauksen aikana, jolloin tehokulutus mittauksen lopussa oli 135,2 W. Kuvassa loistehon yksikön perässä oleva kirjain (i tai k) ilmaisee, että onko kyseinen kuorma induktiivinen (i) vai kapasitiivinen (k). Induktiivinen loisteho oli mittauksen lopussa 41,3 var.



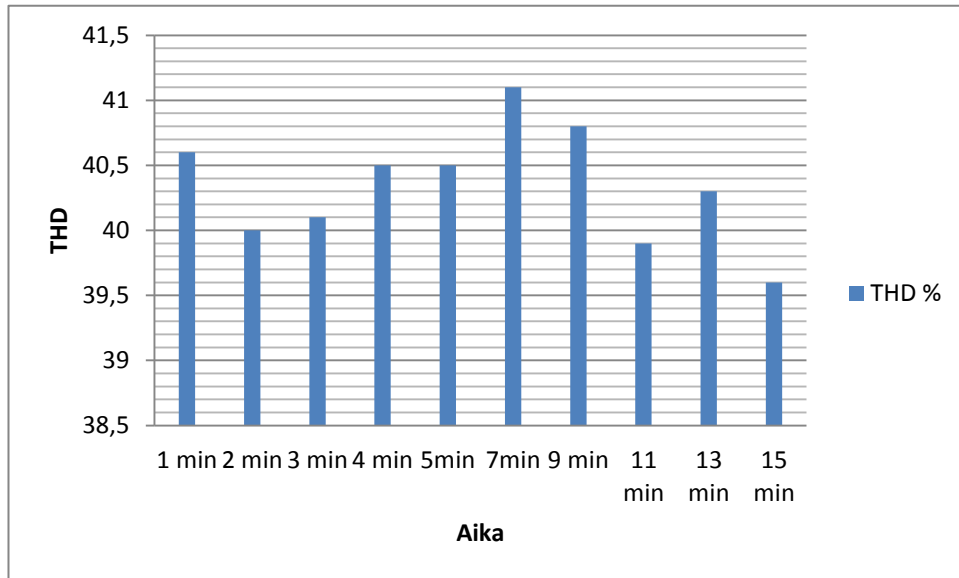
KUVA 17. Loisteputkivalaisimen tehot kuristimella 1 ja kondensaattorilla (230 V)

Kuvasta 18 nähdään, että tehokerroin pysytteli koko mittauksen 0,89:n paikkeilla ja $\cos \phi$ oli 0,96.



KUVA 18. Loisteputkivalaisimen tehokerroin kuristimella 1 ja kondensaattorilla (230 V)

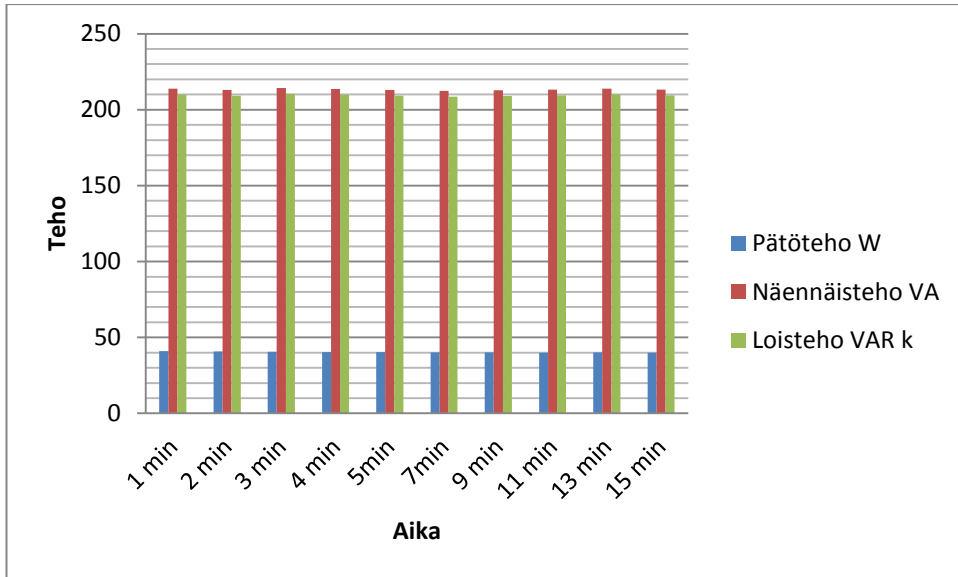
Mittauksen aikana kokonaisharmoninen särö vaihteli välillä 39,6–41,1 % (kuva 19). Lukema todennäköisesti tasaantuisi pitempikestoisen mittauksen aikana.



KUVA 19. Loisteputkivalaisimen kokonaisharmoninen särö kuristimella 1 ja kondensaattorilla (230 V)

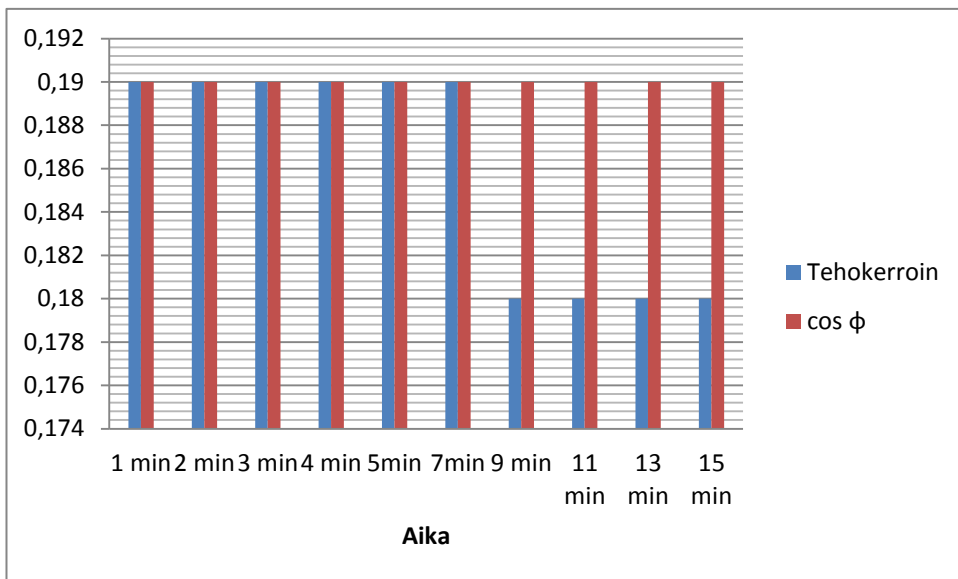
8.1.2 Tulokset led-putkilla, kytkentä 1

Eri testikytkennät on esitelty luvussa 4. Kuvissa 20, 21 ja 22 on esitetty mitaustulokset ensimmäiselle led-valaisimen testikytkennälle. Mittauksessa käytettiin kahta 150 cm:n ja 22 W:n led-valaisinputkea. Kuristimena oli kuristin numero 1. Valaisimen ottama, korkeimmillaan 210 var:n kapasitiivinen loisteho johtui valaisinrungossa olevasta loisteputken häiriöpoisto- ja kompensointikondensaattorista. Valaisimen ottama pätöteho vaihteli mittauksen aikana 40,0 ja 40,9 W:n välillä.



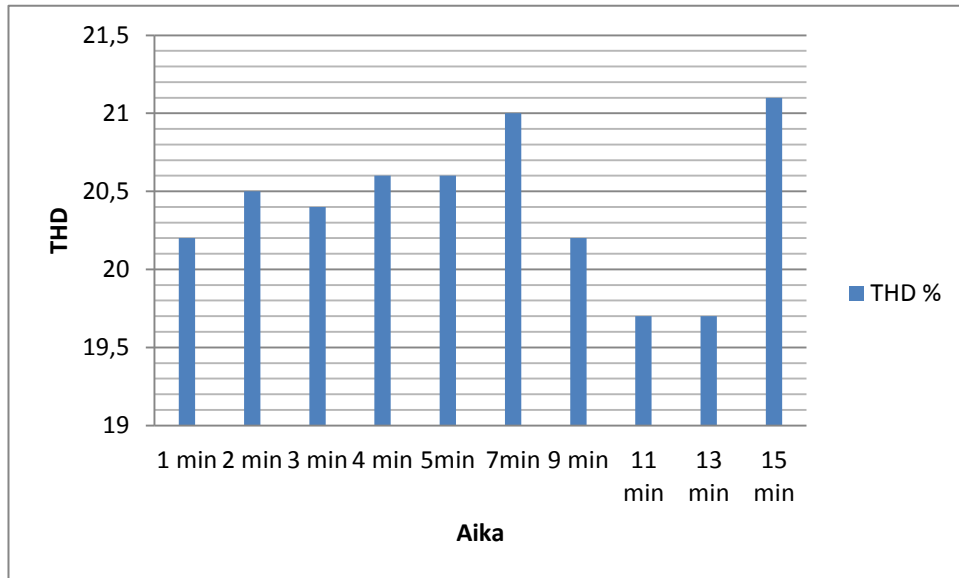
KUVA 20. Led-valaisimen tehot kuristimella 1 ja kondensaattorilla (230 V)

Tehokertoimen ja $\cos \phi$:n arvot olivat todella heikot, mikä johtui häiriönpoistokondensaattorin aiheuttamasta suuresta kapasitiivisesta loistehosta.



KUVA 21. Led-valaisimen tehokerroin kuristimella 1 ja kondensaattorilla (230 V)

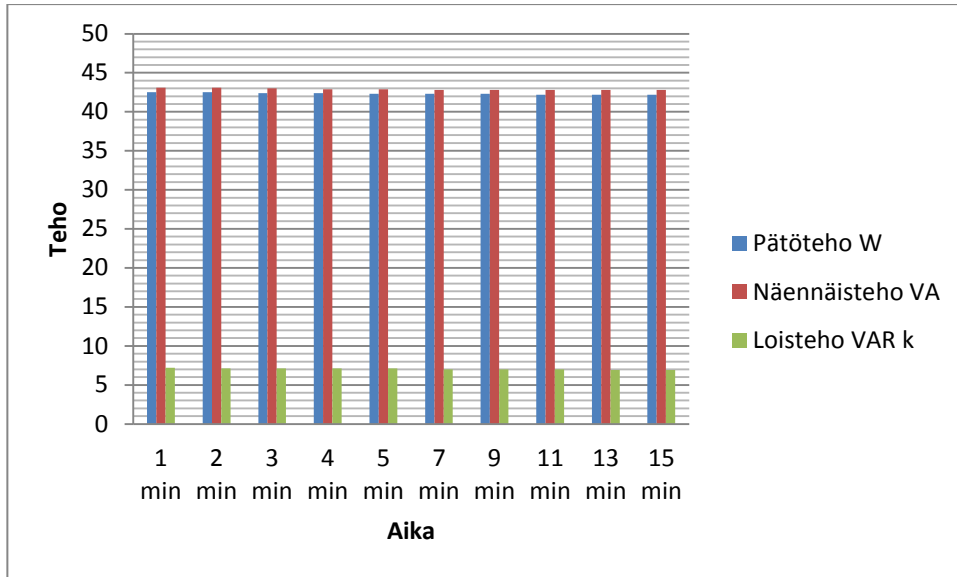
Mittauksen aikana kokonaisharmoninen särö vaihteli välillä 19,7–21,1 %. Led-valaisimesta aiheutuva kokonaisharmoninen särö oli noin puolet pienempi kuin loisteputken särö.



KUVA 22. Led-valaisimen kokonaisharmoninen särö kuristimella 1 ja kondensaattorilla (230 V)

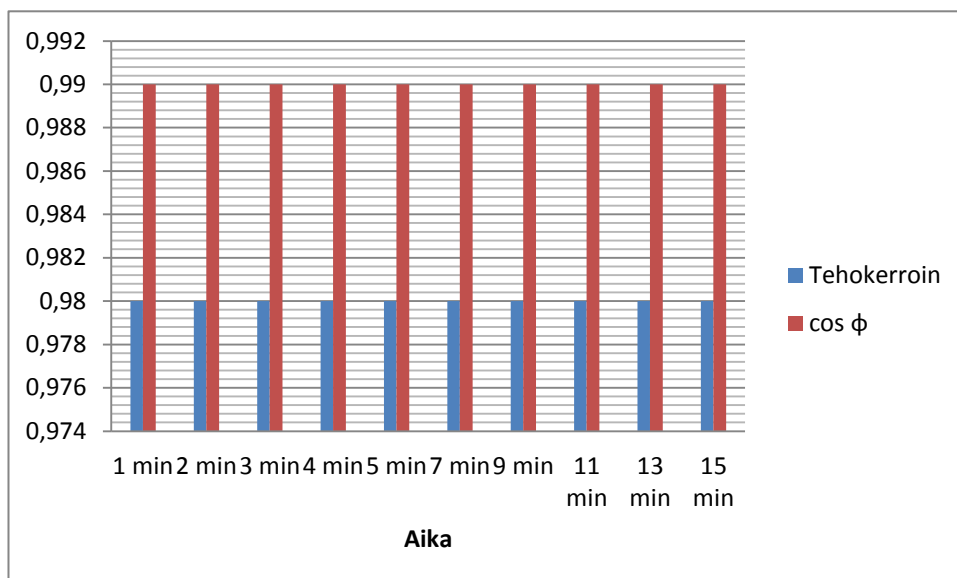
8.1.3 Tulokset led-putkilla, kytkentä 2

Kuvissa 23, 24 ja 25 on esitetty mittaustulokset toiselle led-valaisimen testikytkennälle. Kytkennässä käytettiin samoja komponentteja kuin edellisessä led-valaisin kytkennässä, pois lukien kondensaattori. Tässä kytkennässä kapasitiivinen loisteho putosi valtavasti, kun häiriönpoistokondensaattori poistettiin. Loisteho vaihteli mittauksen aikana 6,9–7,2 var:n välillä ja pätöteho oli 42,2–42,5 W.



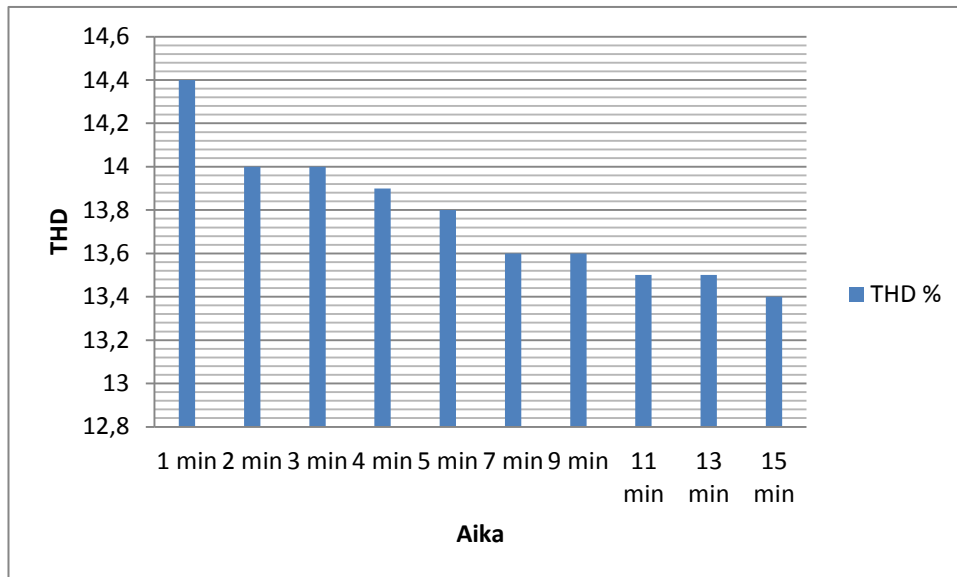
KUVA 23. Led-valaisimen tehot kuristimella 1, ilman kondensaattoria (230 V)

Häiriönpoistokondensaattorin poistamisen jälkeen tehokertoimen ja $\cos \phi$:n arvot parantuivat huomasti. Tehokertoimen ollessa hyvin lähellä ykköstä jännite ja virta ovat lähes samassa vaiheessa, jolloin sähköverkkoa kuormittavaa loistehoa ei synny juuri lainkaan.



KUVA 24. Led-valaisimen tehokerroin kuristimella 1, ilman kondensaattoria (230 V)

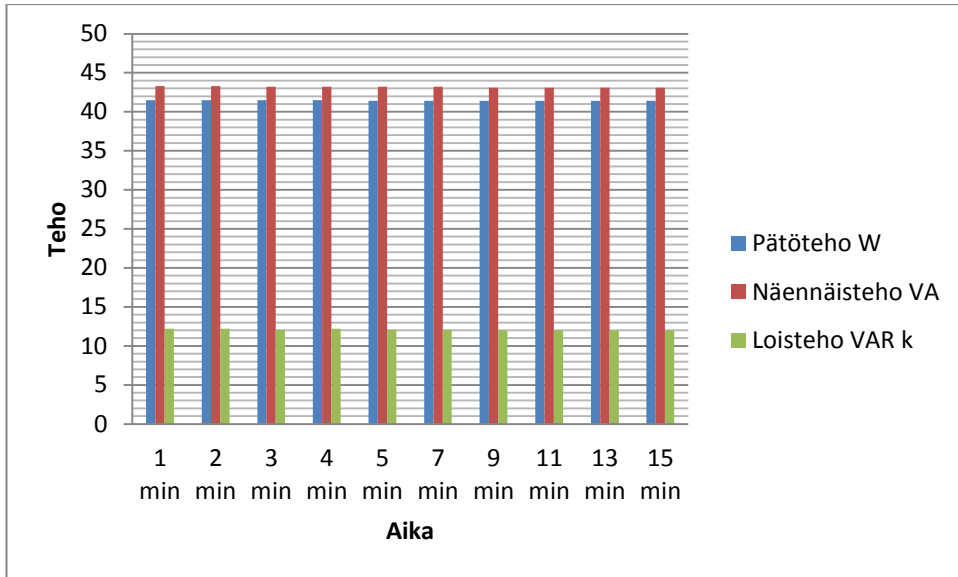
Kokonaisharmoninen särö pieneni koko mittauksen ajan, mutta särön pientyminen alkoi tasoittua mittauksen loppuvaiheessa. Särö vaihteli mittauksen aikana välillä 14,4–13,4 %. Häiriönpoistokondensaattorin poistamisella saavutettiin noin 6 prosentin parannus edelliseen kytkentään verrattuna.



KUVA 25. Led-valaisimen kokonaisharmoninen särö kuristimella 1, ilman kondensaattoria (230 V)

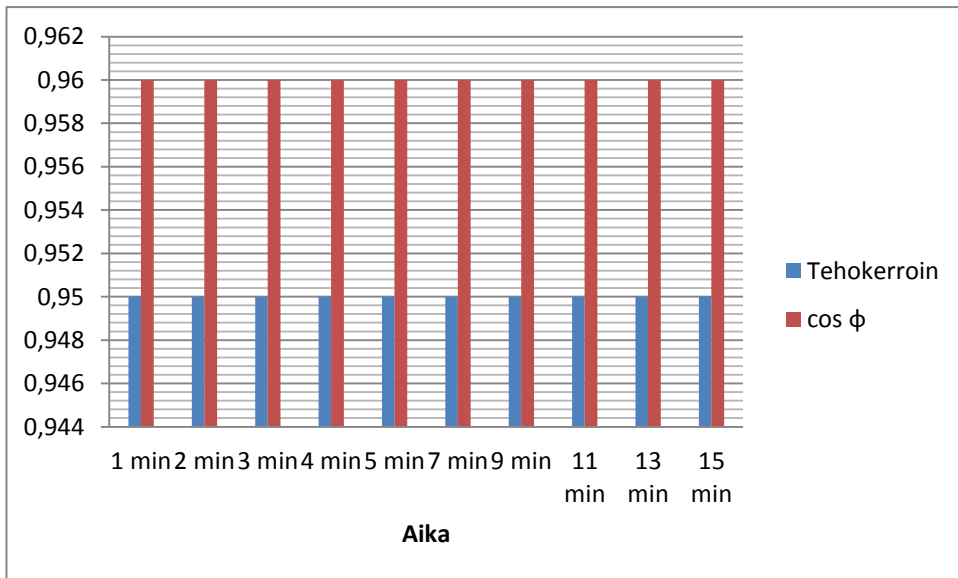
8.1.4 Tulokset led-putkilla, kytkentä 3

Kuvissa 26, 27 ja 28 on esitetty mittaustulokset kolmannelle ja viimeiselle led-valaisimen testikytkennälle. Kytkennässä käytettiin samoja komponentteja kuin aiemmissa kytkennöissä. Tosin tässä kytkennässä led-valaisin kytkettiin suoraan sähköverkkoon ilman minkäänlaisia liitäntälaitteita. Pätöteho vaihteli mittauksen aikana välillä 41,4–41,5 W. Tehon kulutus laski edelliseen kytkentään verrattuna noin watilla, mistä voidaan päätellä, että kuristimessa ei tapahdu suuria tehohäviöitä led-putkea käytettäessä. Kapasitiivinen loisteho vaihteli mittauksen aikana välillä 12,0–12,2 var. Edelliseen mittaukseen verrattuna loisteho kasvoi noin 5 var, koska kuristimen kela ei ollut enää kompensoimassa led-putken teholähteen kapasitiivista kuormaa.



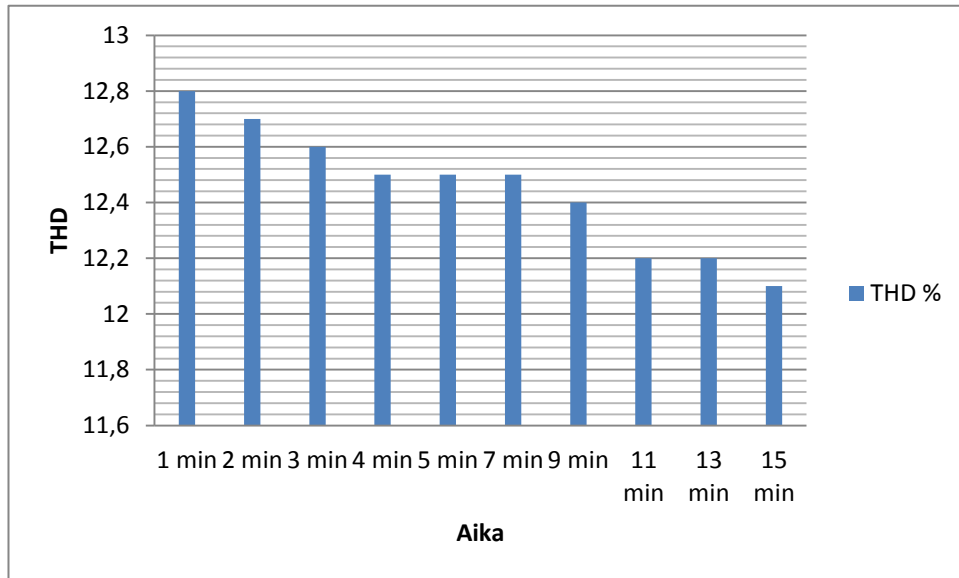
KUVA 26. Led-valaisimen tehot ilman kuristinta ja kondensaattoria (230 V)

Tehokerroin ja $\cos \phi$:n arvot putosivat kolme sadasosaa, kun kytkennästä poistettiin kuristin. Tämä vaikutti osaltaan myös kasvaneeseen loistehon määrään. Tästä huolimatta tehokerroin pysyi hyvällä tasolla.



KUVA 27. Led-valaisimen tehokerroin ilman kuristinta ja kondensaattoria (230 V)

Mittauksen aikana kokonaisharmoninen särö laski koko ajan mittauksen loppuun saakka. Särö vaihteli välillä 12,1–12,8 % ja oli näin pari prosenttia alhaisempi kuin edellisessä mittauksessa.



KUVA 28. Led-valaisimen kokonaisharmoninen särö ilman kuristinta ja kondensaattoria (230 V)

8.2 Tulojännitteen vaikutukset

Suomen sähköverkossa käyttöjännitteen tulisi olla 230 V, mutta aina näin ei kuitenkaan ole. Vaihtelu voi johtua sähköverkon kunnosta ja kuormituksesta. Tilanteeseen voi myös vaikuttaa vaikkapa vanhojen teollisuuskiinteistöjen oma muuntamokeskus, jolloin kiinteistön sisäisestä sähköverkosta on mitattavissa poikkeavia lukemia.

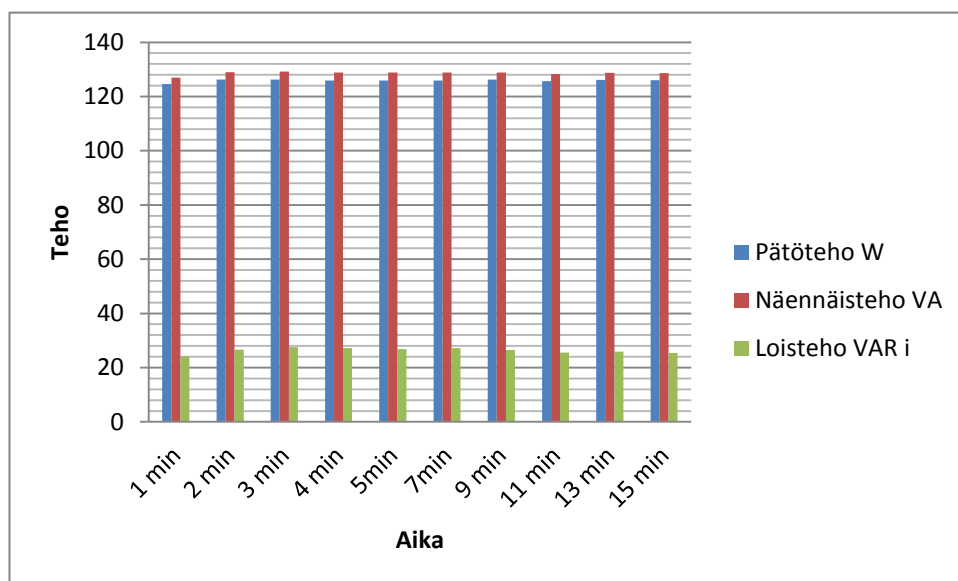
Ensimmäisessä testissä tutkittiin käyttöjännitteen vaihtelun vaikutusta valaisimen ja sen liitäntälaitteen tehonkulutukseen ja lämpötilaan. Mittaukset suoritettiin kolmella eri jännitteellä, jotka olivat 220 V, 230 V ja 240 V. Tässä testissä keskityttiin tutkimaan lähinnä normaalin, loisteputkella varustetun valaisimen tehonkulutusta, koska led-valaisimen hakkurin käyttöjännitealue on hyvin laaja, noin 110–260 V. Tästä johtuen tehonkulutuksen vaihtelut edellä mainituilla jännitteillä jäävät led-valaisimella hyvin pieniksi. Samalla saatiin

myös hyvää vertailukelpoista mittaustietoa, jota voitiin käyttää led- ja loisteputkivalaisimien vertailuun.

8.2.1 Tulokset loisteputkilla 220 V

Tässä ja seuraavassa luvussa esitetyt mittaustulokset verrataan normaaliin 230 V:n jännitteellä toimivaan loisteputkivalaisimeen. Kyseisen valaisimen mittaustulokset esiteltiin jo luvussa 8.1.1.

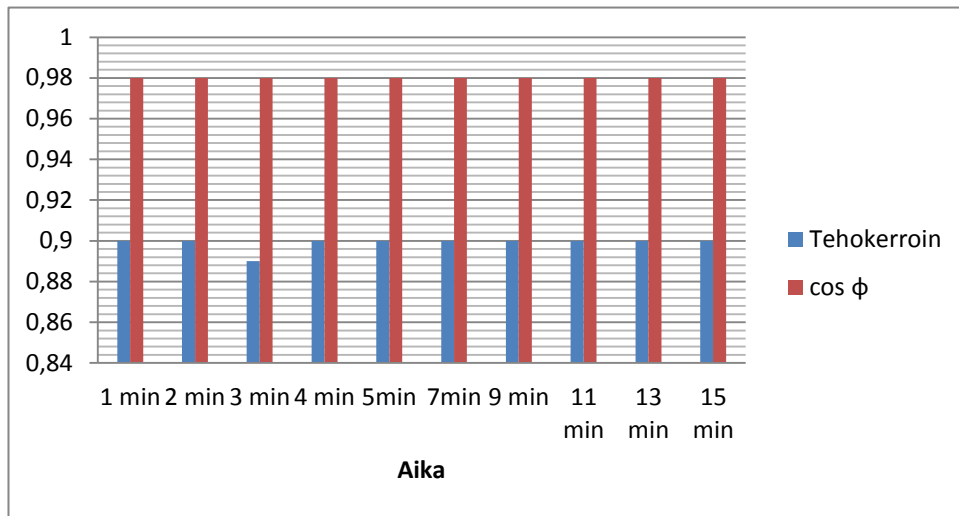
Kuvassa 29 on esitetty loisteputkivalaisimen eri tehot mitattuna 220 V:n jännitteellä. Valaisinrungossa oli kaksi 150 cm:n ja 58 W:n loisteputkea, joilla molemmilla oli oma kuristin numero 1 ja kondensaattori. Mittauksen aikana pätöteho vaihteli välillä 124,6–126,2 W. Tehon kulutus oli noin 9 wattia pienempi verrattuna 230 V:n jännitteellä toimivaan valaisimeen. Valaisimesta aiheutuva induktiivinen loisteho vaihteli mittauksen aikana 24,1–27,6 var:n välillä, kun taas 230 V:n jännitteellä loisteho oli noin 14 var suurempi.



KUVA 29. Loisteputkivalaisimen tehot kuristimella 1 ja kondensaattorilla (220 V)

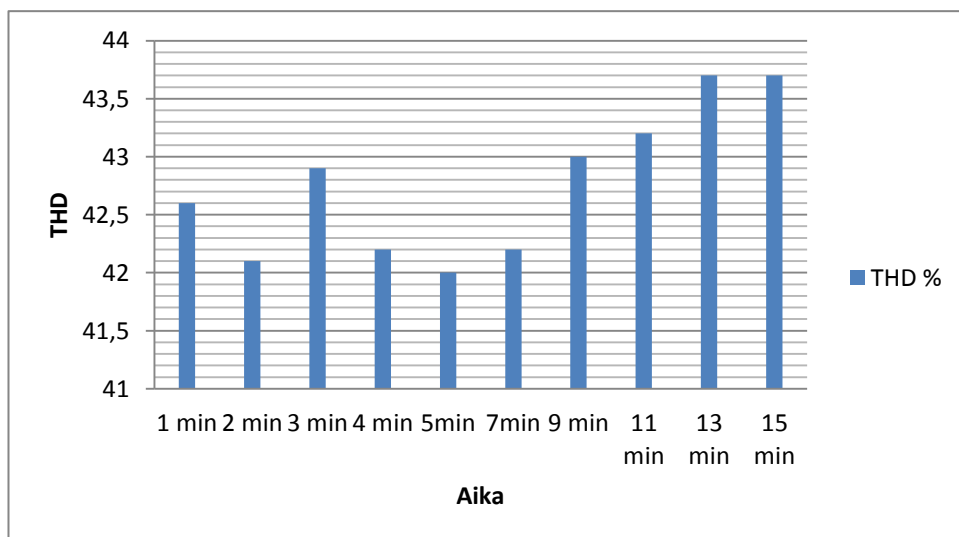
Tehokerroin pysytteli lähes koko mittauksen ajan 0,90:ssä, mikä on hyvä saavutus perinteiselle kuristimelle (kuva 30). Myös $\cos \phi$:n arvot pysyivät

korkealla läpi mittauksen. 230 V:n jännitteellä edellä mainitut lukemat olivat pari sadasosaa huonommat.



KUVA 30. Loisteputkivalaisimen tehokerroin kuristimella 1 ja kondensaattorilla (220 V)

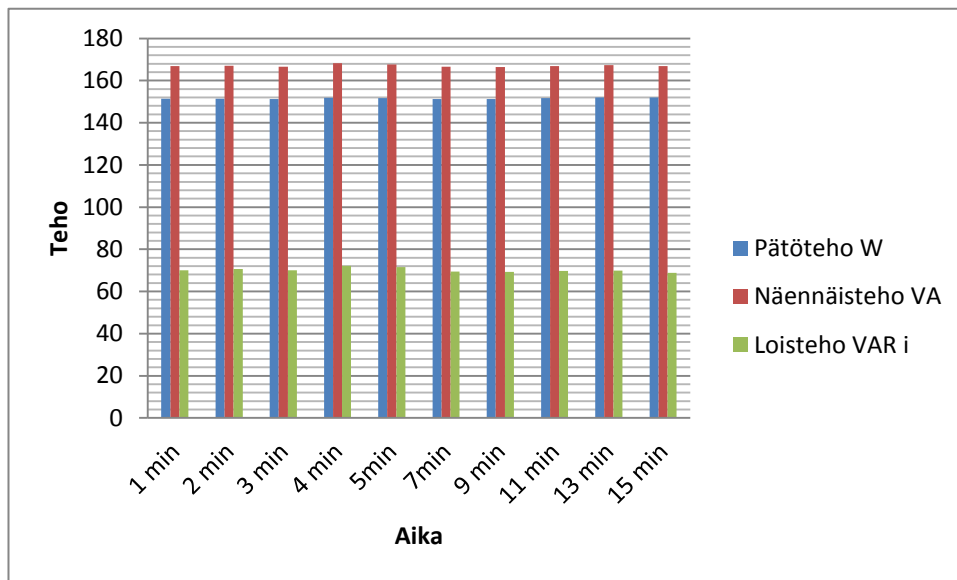
Mittauksen aikana valaisimen kokonaisharmoninen särö kasvoi mittauksen loppua kohti mentäessä ja vaihteli välillä 42,0–43,7 %. 230 V:n jännitteellä särö oli noin pari prosenttia pienempi.



KUVA 31. Loisteputkivalaisimen kokonaisharmoninen särö kuristimella 1 ja kondensaattorilla (220 V)

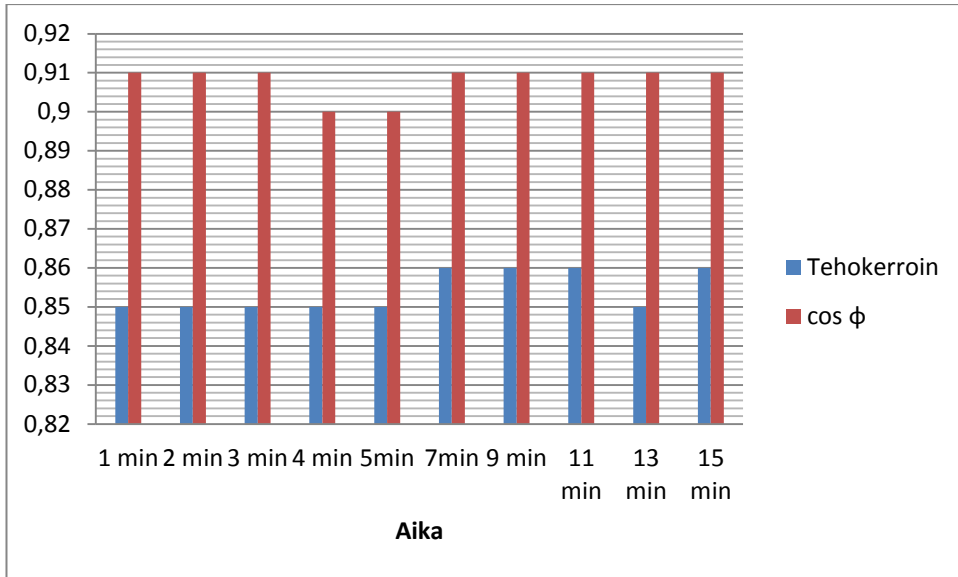
8.2.2 Tulokset loisteputkilla 240 V

Kuvassa 32 on esitetty loisteputkivalaisimen eri tehot mitattuna 240 V:n jännitteellä. Valaisinrungossa oli kaksi 150 cm:n ja 58 W:n loisteputkea, joilla molemmilla oli oma kuristin (1) ja kondensaattori. Mittauksen aikana pätöteho vaihteli välillä 151,2–152,0 W ja näennäisteho nousi korkeimmillaan 166,9 VA:iin. Tehon kulutus oli noin 17 W suurempi verrattuna 230 V:n jännitteellä toimivaan valaisimeen. Valaisimesta aiheutuva induktiivinen loisteho vaihteli mittauksen aikana 69,3–72,2 var:n välillä, kun taas 230 V:n jännitteellä loisteho oli noin 30 var pienempi.



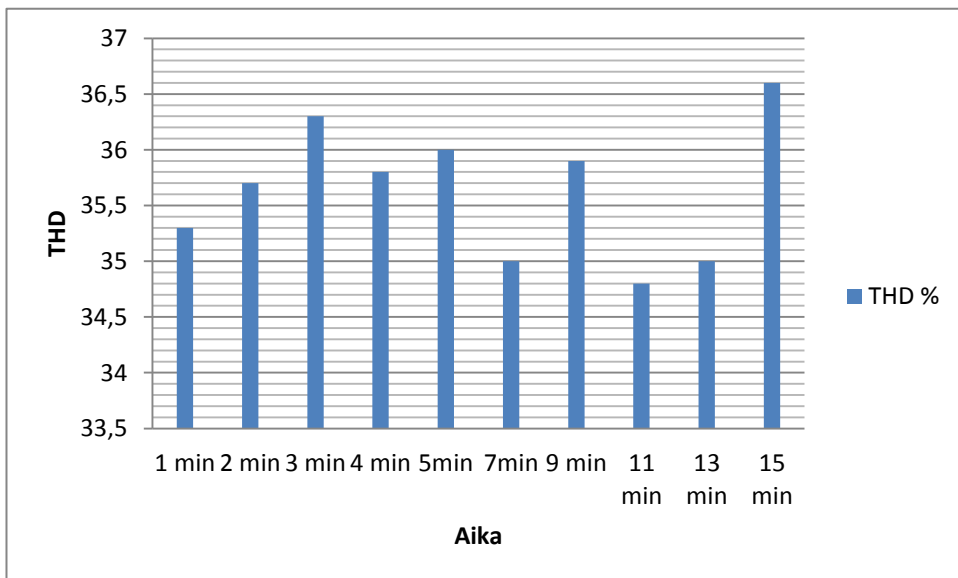
KUVA 32. Loisteputkivalaisimen tehot kuristimella 1 ja kondensaattorilla (240 V)

Tehokerroin vaihteli mittauksen aikana välillä 0,85–0,86 (kuva 33). Mittauksen aikana $\cos \phi$:n arvot pysyttelivät lähes koko mittauksen ajan 0,91:ssä. Verrattuna 230 V:n jännitteellä toimivaan valaisimeen tehokertoimen ja $\cos \phi$:n arvot putosivat kolme ja viisi sadasosaa.



KUVA 33. Loisteputkivalaisimen tehokerroin kuristimella 1 ja kondensaattorilla (240 V)

Kokonaisharmoninen särö vaihteli mittauksen aikana 35,0 ja 36,6 %:n välillä (kuva 34). Mitattu särö oli tällä jännitteellä pienimmillään. Eroa 230 V:n jännitteellä mitattuun arvoon syntyi noin 5 prosenttia.



KUVA 34. Loisteputkivalaisimen kokonaisharmoninen särö kuristimella 1 ja kondensaattorilla (240 V)

8.2.3 Tulokset led-putkilla

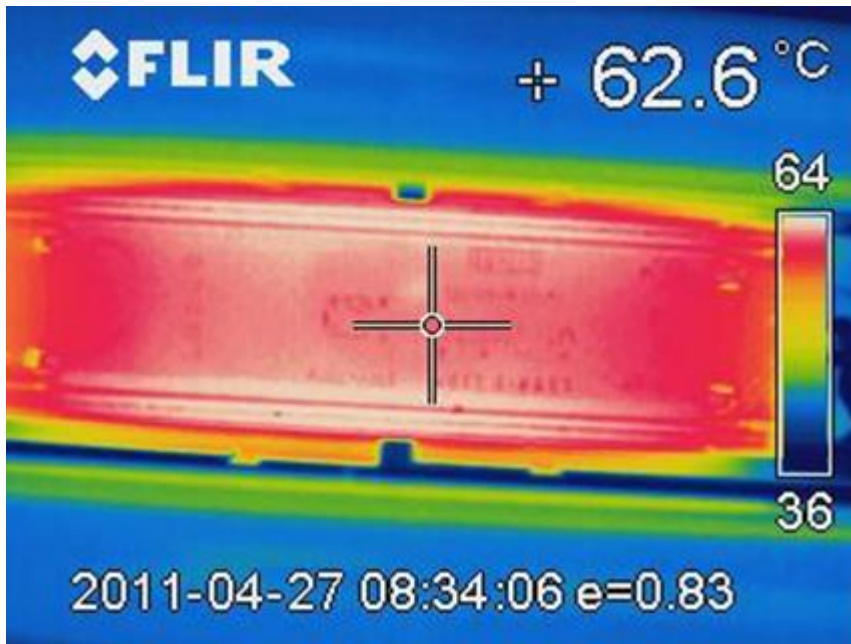
Käyttöjännitteen vaikutuksia testattiin nopeasti led-valaisimella siten, että jännitettä muutettiin hitaasti säädettävällä suojaerotusmuuntajalla 220–240 V:n välillä ja samalla katsottiin Fluken verkkoanalysaattorilla, tapahtuuko tehonkulutuksessa merkittäviä muutoksia. Merkittäviä muutoksia tehonkulutuksessa ei havaittu, joten perusteellisempaan testaukseen ei ollut perusteita.

8.3 Lämpökameramittaukset

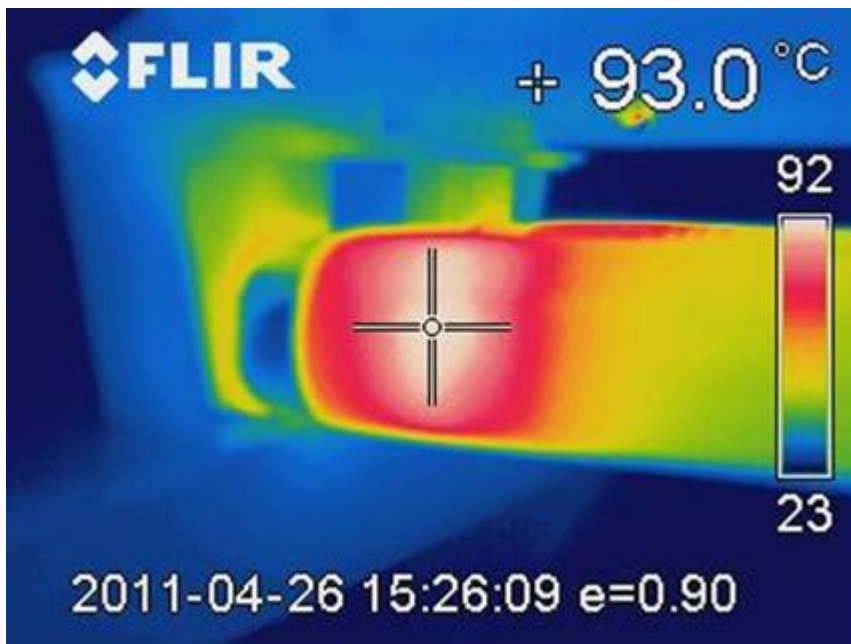
Mittauksissa käytettiin Flir systemsin TM B4 -lämpökameraa. Aina 15 minuutin testin jälkeen tutkittavien komponenttien lämpötilat kuvattiin lämpökameralla myöhempää tarkastelua varten. Led-valaisimissa erityistä huomiota kiinnitettiin ledien ja teholähteen komponenttien lämpötilaan. Valaisimille suoritettiin myös yksi pitempiaikainen mittaus (noin 18 tuntia), jossa valaisimet olivat päällä läpi yön ja aamulla niiden lämpötilat mitattiin lämpökameralla.

8.3.1 Tulokset loisteputkivalaisimella

Valaisin oli päällä yön yli (noin 18 tuntia), jonka jälkeen loisteputkien ja kuristimien pintalämpötilat mitattiin lämpökameralla. Mittauksissa käytetty kytkentä oli normaali valaisinkytkentä, eli valaisin sisälsi kondensaattorin ja kuristimen numero 3. Kuvassa 35 keskeltä kuristinta lämpötilaksi mitattiin noin 62,6 celsiusastetta. Kuvassa 36 loisteputken pään lämpötilaksi mitattiin 93,0 celsiusastetta. Ympäristön lämpötila oli mittaushetkellä noin 20 celsiusastetta.



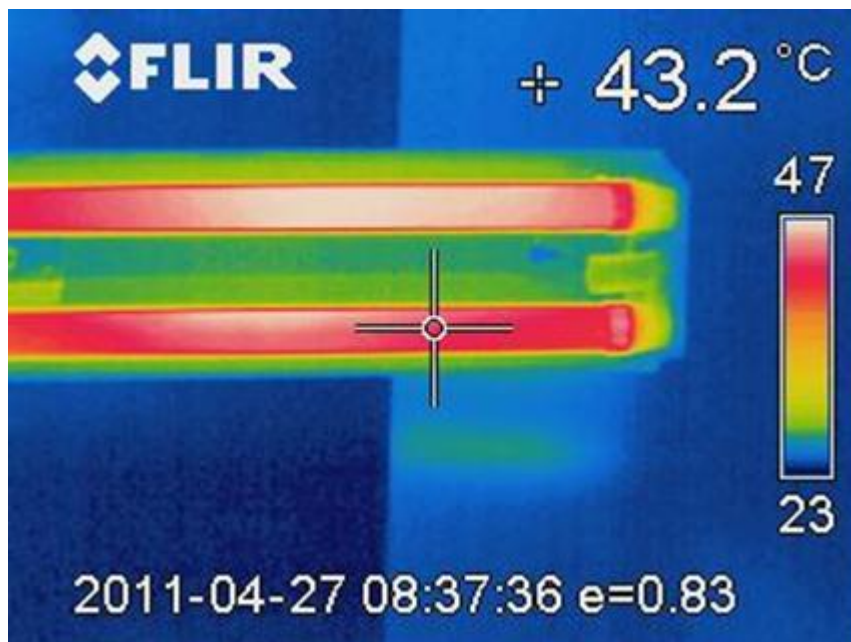
KUVA 35. Loisteputkivalaisimen kuristimen (3) pintalämpötila



KUVA 36. Loisteputkenpään pintalämpötila

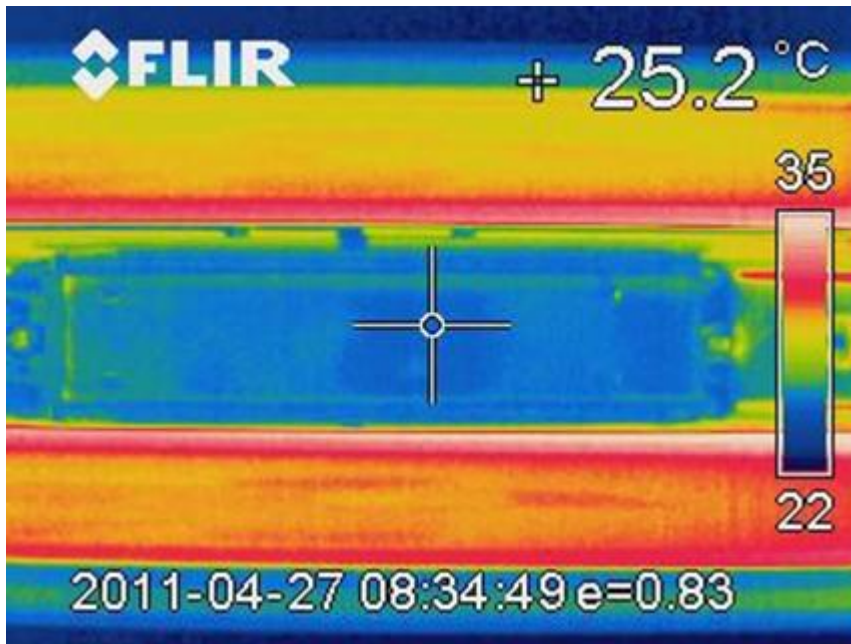
8.3.2 Tulokset led-putkivalaisimella

Valaisin oli päällä yön yli (noin 18 tuntia), jonka jälkeen led-valaisinputkien ja kuristimien pintalämpötilat mitattiin lämpökameralla. Mittauksissa käytetty kytkentä oli normaali valaisinkytkentä, eli valaisin sisälsi kondensaattorin ja kuristimen numero 3. Ympäristön lämpötila oli mittaushetkellä noin 20 celsiusastetta. Kuvassa 37 mitattiin led-valaisimen alumiinirungon pintalämpötilaksi 43,2 celsiusastetta. Kuvasta on myös huomattavissa, että ylemmän led-putken pää on noin 4 celsiusastetta kuumempi. Tämä johtuu siitä, että led-valaisimen teholähde on valaisimen runkoputken sisällä kyseisessä päädysässä.



KUVA 37. Led-valaisinputken pintalämpötila

Kuvassa 38 on mitattu kuristimen 3 pintalämpötila. Kuvasta on huomattavissa, että led-valaisinputkea käytettäessä kuristin ei lämpene juuri lainkaan.



KUVA 38. Led-valaisinkytkennn kuristimen (3) pintalämpötila

9 POHDINTA

Työssä tehtyjen mittausten tuloksista huomattiin, että käyttöjännitteen suuruudella on huomattava vaikutus perinteisen loisteputken tehon kulutukseen. Tämä johtuu siitä, että perinteinen kuristimella toteutettu liitäntälaitte on suunniteltu vain tietylle käyttöjännitteelle, taajuudelle ja teholle, eikä se pysty mukautumaan käyttöjännitteen muutoksiin passiivisen rakenteensa vuoksi. Nykyaikainen elektronisella liitäntälaitteella varustettu loisteputkivalaisin suoriutuu edellä mainitusta tilanteesta jo paremmin aktiivisen rakenteensa vuoksi.

Ensimmäisen ja kahden viimeisen kytkennän välillä oli suuria eroja tuloksissa. Nämä erot aiheutti pääasiassa häiriönpoisto- ja kompensointikondensaattori. Poistamalla kondensaattori loistehon määrä romahti ja tehokerroin nousi ylös. Tästä voidaankin todeta, että loisteputkia led-valoputkilla korvattaessa on erittäin tärkeää poistaa kondensaattori valaisinrungosta. Toisen ja kolmannen kytkennän välillä ei ollut enää suuria eroja. Kytkennässä numero 2 oli jonkin verran parempi tehokerroin ja pienempi loisteho, mutta kokonaisharmoninen särö oli pari prosenttia korkeampi. Näiden seikkojen vuoksi voidaan kuristin jättää valaisinrunkoon eikä sitä tarvitse poistaa.

Led-valoputkien suunnittelussa lämmönhallinta on erittäin tärkeässä roolissa, sillä liian korkeat lämpötilat voivat lyhentää led-valoputken elinkaarta huomattavasti. Oman haasteensa lämpösuunnitteluun tuovat myös valaisimien erilaiset sijoituspaikat ja ympäristöt, joissa jäähdytyksen on toimittava.

LÄHTEET

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. 2005/32/EY. 2005. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2005/32/EY, annettu 6 päivänä heinäkuuta 2005, energiaa käyttävien tuotteiden ekologiselle suunnittelulle asetettavien vaatimusten puitteista sekä neuvoston direktiivin 92/42/ETY ja Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivien 96/57/EY ja 2000/55/EY muuttamisesta

Fluke 430 Series Three-phase Power Quality Analyzers. 2011. Saatavissa: <http://www.fluke.com/fluke/usen/Power-Quality-Tools/Logging-Power-Meters/Fluke-430-Series.htm?PID=56078>. Hakupäivä 14.11.2011.

Fluke i5S AC Current Clamp. 2011. Saatavissa: <http://www.fluke.com/fluke/usen/accessories/current-clamps/i5s.htm?PID=56309>. Hakupäivä 15.11.2011.

Greenled. 2011. Saatavissa: <http://www.greenled.fi/index.php>. Hakupäivä 18.10.2011.

Halonen, Liisa – Lehtovaara, Jorma 1992. Valaistustekniikka. Jyväskylä: Otatieto.

Honkanen, Harri a. Hakkurireguloinnin periaatteet. Saatavissa: http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honhar/ma/REG_HAKKURIREGULOINNIN%20PERIAATTEET.pdf. Hakupäivä 2.11.2011.

Honkanen, Harri b. Harmoninen särö. Saatavissa: <http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/S%C3%84R%C3%96.pdf>. Hakupäivä 2.11.2011.

Honkanen, Harri c. Yhteis- ja eromuotoinen häiriö. Saatavissa: http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/EMCs_Yhteis_eromuotoinen_h%C3%B6yri%C3%B6.pdf. Hakupäivä 8.11.2011.

IEC Appliance Inlet C14 with Filter, Line Switch 1- or 2-pole, Front or Rear Side Mounting. Saatavissa: http://www.schurter.com/var/schurter/storage/ilcatalogue/files/document/data-sheet/en/pdf/typ_DC12.pdf. Hakupäivä 8.11.2011.

Inkinen, Pentti – Manninen, Reino – Tuohi, Reijo 2006. Momentti 2. Insinöörifysiikka. 2. painos. Helsinki: Otava.

Inkinen, Pentti – Tuohi, Jukka 1999. Momentti 1. Insinöörifysiikka. 4. painos. Helsinki: Otava.

Karjalainen, Veikko 2010. Ledien lämmönhallinta. Proessori nro 5. S.44–47.

Kyyrä, Jorma – Tuomainen, Vesa 2001. Häviöt kuriin tehollähteessä. Proessori nro 11. S. 51.

Kyyrä, Jorma. 1998. Tehokertoimen korjaus. Saatavissa: <http://www.proessori.fi/es98/PDF/POWER.PDF>. Hakupäivä 3.11.2011.

Mäkelä, Mikko – Soininen, Lauri – Tuomola, Seppo – Öistämö, Juhani 2005. Tekniikan kaavasto. 5. painos. Tampere: AMK-kustannus.

Perkkiö, Tuomas 2011. AC-DC-tehollähteen tehokerroinkorjausosan suunnittelu. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Saatavissa: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/25288/Perkkio_Tuomas.pdf?sequence=1. Hakupäivä. 22.11.2011.

Tampereen sähkölaitos. 2011. Loistetehon hinnoittelu ja kompensointi. Saatavissa: <http://www.tampereensahkolaitos.fi/internet/Yritysassiakas/S%C3%A4hk%C3%B6n+siirto/Lomakkeet+ja+tekniset+ohjeet.htm>. Hakupäivä 30.11.2011.

Zhang, Jindong – Jovanovic, Milan M. - Lee, Fred C. 1999. Comparison Between CCM Single-Stage And Two-Stage Boost PFC Converters. Saatavissa: <http://www.deltartp.com/dpel/dpelconferencepapers/APEC99-comparison%20ss%20and%202%20stage.pdf>. Hakupäivä 7.11.2011.

LIITTEET

- Liite 1. Kuristimien tekniset tiedot
- Liite 2. Fluke 435 tekniset tiedot
- Liite 3. Fluken i5s virtapihtien tekniset tiedot
- Liite 4. Loisteputken taulukoidut mittaustulokset
- Liite 5. Led-putken taulukoidut mittaustulokset
- Liite 6. Teholähteen piirikaavio

Kuristin 1:

- Valmistaja: Helvar
- Tyyppi: L65A-P
- Nimellisjännite 230 V
- $\cos \varphi$: 0,50
- Teho: 58 tai 65 W riippuu käytettävästä loisteputkesta
- Mitattu induktanssi: 714,81 mH

Kuristin 3:

- Valmistaja: Helvar
- Tyyppi: L58A-K
- Nimellisjännite 230 V
- $\cos \varphi$: 0,48
- Teho: 58 W
- Mitattu induktanssi: 803,94 mH

Technical Data	
Inputs	<p>Number: 4 voltage and current (3 phases + neutral)</p> <p>Maximum voltage: 1000 Vrms (6 kV peak)</p> <p>Maximum sampling speed: 200 kS/s on each channel simultaneously</p>
Volt/Amps/Hertz	<p>Vrms (AC + DC) Measurement range: 1 ... 1000 V Accuracy: 0.1% of Vnom</p> <p>Vpeak Measurement range: 1 ... 1400 V Accuracy: 5% of Vnom</p> <p>Crest factor, voltage Measurement range: 1.0 ... > 2.8 Accuracy: ±5%</p> <p>Arms (AC + DC) Measurement range: 0 ... 20 kA Accuracy: ±0.5% ± 5 counts</p> <p>Apeak Measurement range: 0 ... 5.5 kA Accuracy: 5%</p> <p>Crest factor, A Measurement range: 1 ... 10 Accuracy: ±5%</p> <p>Hz 50 Hz nominal Measurement range: 40 ... 70 Hz Accuracy: ±0.01 Hz</p>
Dips and swells	<p>Vrms (AC+DC) ² Measurement range: 0.0% ... 100% of Vnom Accuracy: ±0.2% of nominal voltage</p> <p>Arms (AC+DC) ² Measurement range: 0 ... 20 kA Accuracy: ±1% ± 5 counts</p>
Harmonics	<p>Harmonic (interharmonic) (n)</p> <p>Measurement range: DC, 1..50; (Off, 1..49) measured according to IEC 61000-4-7</p>

	<p>Vrms Measurement range: 0.0 ... 1000 V Accuracy: ±0.05% of nominal voltage</p> <p>Arms Measurement range: 0.0 ... 4000 mV x clamp scaling Accuracy: ±5% ± 5 counts</p> <p>Watts Measurement range: Depends on clamp scaling and voltage Accuracy: ±5% ± n x 2% or reading, ± 10 counts</p> <p>DC voltage Measurement range: 0.0 ... 1000 V Accuracy: ±0.2% of nominal voltage</p> <p>THD Measurement range: 0.0 ... 100.0% Accuracy: ±2.5% V and A (± 5% Watt)</p> <p>Hz Measurement range: 0 ... 3500 Hz Accuracy: ± 1 Hz</p> <p>Phase angle Measurement range: -360° ... +360° Accuracy: ± n × 1.5°</p>
Power and energy	<p>Watt, VA, VAR Measurement range: 1.0 ... 20.00 MVA¹ Accuracy: ±1% ± counts</p> <p>kWh, kVAh, kVARh Measurement range: 00.00 ... 200.0 GVAh¹ Accuracy: ± 1.5% ± 10 counts</p> <p>Power Factor/ Cos Φ / DPF Measurement range: 0...1 Accuracy: ± 0.03</p>
Flicker	<p>Pst (1 min), Pst, Plt, PF5 Measurement range: 0.00 ... 20.00 Accuracy: ±5%</p>
Unbalance	<p>Volts Measurement range: 0.0 ... 5.0% Accuracy: ±0.5%</p> <p>Current Measurement range: 0.0 ... 20%</p>

	Accuracy: $\pm 1\%$
Transient Capture	Volts Measurement range: $\pm 6000\text{ V}$ Accuracy: $\pm 2.5\%$ of V_{rms} Minimum detect duration $5\ \mu\text{s}$ (200kS/s sampling)
Inrush mode	Arms (AC+DC) Measurement range: $0.000 \dots 20.00\ \text{kA}^1$ Accuracy: $\pm 1\%$ of meas ± 5 counts Inrush duration (selectable) Measurement range: $7.5\ \text{s} \dots 30\ \text{min}$ Accuracy: $\pm 20\ \text{ms}$ ($F_{nom} = 50\ \text{Hz}$)
Autotrend recording	Sampling: 5 readings/sec continuous sampling per channel Memory: 1800 min, max and avg points for each reading Recording time: Up to 450 days Zoom: Up to 12x horizontal zoom
Memory	Screens & data: 50, shared memory divided between logging, screens and data sets
Notes	¹ Depending on clamp scaling ² Value is measured over 1 cycle, commencing at a fundamental zero crossing, and refreshed each half-cycle
Environmental Specifications	
Operating Temperature	$0\ ^\circ\text{C}$ to $+50\ ^\circ\text{C}$
Safety Specifications	
Safety	EN61010-1 (2nd edition) pollution degree 2; 1000 V CAT III / 600 V CAT IV ANSI/ISA S82.01
Mechanical & General Specifications	
Size	256 x 169 x 64 mm
Weight	2 kg
Battery Life	Rechargeable NiMH pack (installed): >7 hours Battery charging time: 4 hours typical
Shock & Vibration	Shock: 30 g Vibration: 3 g according to MIL-PRF-28800F Class 2
Case	Rugged, shock proof with integrated protective holster, IP51 (drip and dust proof)
Warranty	3 years

(Fluke 430 Series Three-phase Power Quality Analyzers. 2011.)

Specifications	
Nominal current range	5 A
Continuous current range	10 mA to 6 A
Maximum Non-Destructive Current	70 A
Lowest measurable current	10 mA
Basic Accuracy	48 Hz to 65 Hz 10 mA to 1 A 1% + 5 mA 1 A to 5 A 1%
Useable frequency	40 Hz to 5 kHz
Output level(s)	400 mV/A
Input Load Impedance	> 1 M Ω in parallel with up to 47 pF
Crest Factor	≤ 3 , add 0.7% to accuracy
Safety Specifications	
Safety	CAT III 600 V per IEC/EN61010-1, Pollution Degree 2
Maximum voltage	600 V ac
Mechanical & General Specifications	
Warranty	1 year
Maximum conductor diameter	15 mm
Output cable length	2.5 m
BNC Adapter	Yes
BNC to banana adapter included	No

(Fluke i5S AC Current Clamp. 2011.)

LOISTEPUTKEN TAULUKOIDUT MITTAUSTULOKSET

LIITE 4

Käyttöjännite 220 V										
Valaisinrunko sisältää kondensaattorin ja kuristimen (Kuristin 1)										
* Kuorma on induktiivinen										
Mittaus aika	1 min	2 min	3 min	4 min	5min	7min	9 min	11 min	13 min	15 min
Pätöteho W	124,6	126,2	126,2	125,9	125,9	125,9	126,2	125,7	126,1	126,0
Näennäisteho VA	126,9	129,0	129,2	128,8	128,8	128,8	128,9	128,3	128,7	128,6
Loisteho VAR i*	24,1	26,6	27,6	27,2	26,9	27,2	26,5	25,6	25,9	25,4
Tehokerroin	0,90	0,90	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
cos φ	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
THD %	42,6	42,1	42,9	42,2	42,0	42,2	43,0	43,2	43,7	43,7

Käyttöjännite 230 V										
Valaisinrunko sisältää kondensaattorin ja kuristimen (Kuristin 1)										
* Kuorma on induktiivinen										
Mittaus aika	1 min	2 min	3 min	4 min	5min	7min	9 min	11 min	13 min	15 min
Pätöteho W	131,6	133,9	134,0	134,6	134,8	134,8	134,7	134,7	134,9	135,2
Näennäisteho VA	137,6	139,8	139,9	140,8	141,1	141,0	140,9	140,7	140,9	141,4
Loisteho VAR i*	40,1	39,9	40,3	41,3	41,7	41,4	41,3	40,6	40,7	41,3
Tehokerroin	0,88	0,89	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89	0,89
cos φ	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
THD %	40,6	40,0	40,1	40,5	40,5	41,1	40,8	39,9	40,3	39,6

Käyttöjännite 240 V

Valaisinrunko sisältää kondensaattorin ja kuristimen (Kuristin 1)

* Kuorma on induktiivinen

Mittaus aika	1 min	2 min	3 min	4 min	5min	7min	9 min	11 min	13 min	15 min
Pätöteho W	151,4	151,4	151,2	151,9	151,7	151,3	151,3	151,7	152,0	152,0
Näennäisteho VA	166,8	167,1	166,6	168,2	167,7	166,5	166,4	166,9	167,3	166,9
Loisteho VAR i*	70,1	70,7	70,1	72,2	71,5	69,5	69,3	69,8	69,9	68,8
Tehokerroin	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,86	0,86	0,86	0,85	0,86
cos φ	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
THD %	35,3	35,7	36,3	35,8	36,0	35,0	35,9	34,8	35,0	36,6

LED-PUTKIEN TAULUKOIDUT MITAUSTULOKSET

LIITE 5

Käyttöjännite 230 V										
Valaisinrunko sisältää kondensaattorin ja kuristimen (Kuristin 1)										
* Kuorma on kapasitiivinen										
Mittaus aika	1 min	2 min	3 min	4 min	5min	7min	9 min	11 min	13 min	15 min
Pätöteho W	40,9	40,7	40,6	40,4	40,3	40,2	40,1	40,0	40,1	40,0
Näennäisteho VA	213,8	213,1	214,2	213,6	213,0	212,4	212,9	213,3	213,8	213,3
Loisteho VAR k*	209,9	209,2	210,4	209,8	209,2	208,6	209,1	209,5	210,0	209,5
Tehokerroin	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18
cos ϕ	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
THD %	20,2	20,5	20,4	20,6	20,6	21,0	20,2	19,7	19,7	21,1

Käyttöjännite 230 V										
Valaisinrunko sisältää kuristimen (Kuristin 1)										
* Kuorma on kapasitiivinen										
Mittaus aika	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	7 min	9 min	11 min	13 min	15 min
Pätöteho W	42,5	42,5	42,4	42,4	42,3	42,3	42,3	42,2	42,2	42,2
Näennäisteho VA	43,1	43,1	43,0	42,9	42,9	42,8	42,8	42,8	42,8	42,8
Loisteho VAR k*	7,2	7,1	7,1	7,1	7,1	7,0	7,0	7,0	6,9	6,9
Tehokerroin	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
cos ϕ	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
THD %	14,4	14,0	14,0	13,9	13,8	13,6	13,6	13,5	13,5	13,4

Käyttöjännite 230 V										
Valaisinrungosta on poistettu kondensaattori ja kuristin (Kuristin 1)										
* Kuorma on kapasitiivinen										
Mittaus aika	1 min	2 min	3 min	4 min	5min	7min	9 min	11 min	13 min	15 min
Pätöteho W	41,5	41,5	41,5	41,5	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4
Näennäisteho VA	43,3	43,3	43,2	43,2	43,2	43,2	43,1	43,1	43,1	43,1
Loisteho VAR k	12,2	12,2	12,1	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0
Tehokerroin	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
cos φ	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
THD %	12,8	12,7	12,6	12,5	12,5	12,5	12,4	12,2	12,2	12,1

TEHOLÄHTEEN PIIRIKAAVIO

LIITE 6

Green led Oy:n sisäisessä käytössä.