# LED-VALAISIMIEN KUORMITUS-TAULUKOINTI

Toni Reinilä

Opinnäytetyö
Syyskuu 2015
Talotekniikan
koulutusohjelma
Sähköisen talotekniikan
suuntautumisvaihtoehto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

**TIIVISTELMÄ**

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
Sähköisen talotekniikan suuntautumisvaihtoehto

REINILÄ, TONI:
LED-valaisimien kuormitustaulukointi

Opinnäytetyö 48 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Syyskuu 2015

---

Opinnäytetyössä perehdyttiin virran käyttäytymiseen LED-valaisimen käynnistyessä. Työssä syvennyttiin LED-valaisimien teoriaan sekä teholähteiden ominaisuuksiin. Työ tehtiin Winled Oy:n pyynnöstä, koska yrityksellä oli tarve LED-valaisimien kuormitustaulukolle. Opinnäytetyön tavoite oli tuottaa lisää tietoa LED-valaisimista ja niiden ominaisuuksista. LED-valaisimen tiedetään ottavan suuria virtoja käynnistyessään. Työn tarkoitus oli laatia LED-valaisimien käynnistysvirroista kuormitustaulukko sekä luoda mittausmenetelmä, jonka avulla on mahdollista mitata myös uusia valaisimia tulevaisuudessa. Kuormitustaulukkoa varten mitattiin LED-valaisimien käynnistysvirrat.

Mittauksissa kävi ilmi, että LED-valaisimet ottavat käynnistyksen yhteydessä valaisimesta riippuen jopa 60-kertaisen virran normaalikuormitukseen verrattuna. Havaittiin, että virtalähteeseen liitetty LED-kuorma ei vaikuta käynnistysvirran suuruuteen. Havaintojen mukaan myöskään sähköverkon ±10 %:n jännitevaihtelu ei vaikuta mittaustuloksiin.

Tulosten perusteella laaditussa kuormitustaulukossa esitetään valaisimien enimmäiskappalemäärät johdonsuojakatkaisijaryhmissä. Tämä helpottaa sähkösuunnittelijoiden ja sähköurakoitsijoiden suunnittelutyötä, sillä taulukosta näkee suoraan, kuinka monta valaisinta yhden johdonsuojakatkaisijaryhmään voi asentaa. Tärkeimmäksi kehittämisehdotukseksi nousi tutkimus siitä, miten LED-valaisimien käynnistysvirtoja saataisiin vähennettyä, jotta valaisimia olisi mahdollista asentaa enemmän johdonsuojakatkaisijaryhmien taakse.

---

Asiasanat: LED, käynnistysvirta, kuormitustaulukko, virtalähde

**ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
Electrical Building Services

Toni Reinilä
Tabulation of the Loads of LED Luminaire

Bachelor's thesis 48 pages, appendices 2 pages
September 2015

---

LED luminaire is known for a high start-up current so this thesis dealt with the behavior of the start-up current in LED luminaire. The thesis studied the theory of LED as well as the power supplies and their properties. The thesis was commissioned by a partner company that needed a tabulation of the start-up behavior of LED luminaire.

The objective of this thesis was to produce more information on LED luminaire and their features. The purpose of the study was to compile a load chart of the start-up currents of LED luminaire and to create a measurement method which makes it possible to measure new luminaire in the future. The start-up currents of LED luminaire were measured for the load chart.

The measurements showed that, on the start-up, LED luminaire take up to 60 times more of the current compared to the normal load, depending on the luminaire. It was found that the load of the LED luminaire connected to the power supply does not affect the magnitude of the start-up current. It was also noticed that a ± 10% voltage variation in the electricity networks does not affect the results of the measurements.

The load table, drawn up on the basis of the results, shows the maximum number of luminaire in the circuit breaker groups. This facilitates the design work of electrical engineers and electrical contractors, as the table shows, how many luminaires can be installed in one circuit breaker. The most important development proposal for the future was to carry out a survey on the possibilities to decrease the start-up current of LED luminaire so it would be possible to install more luminaires into the circuit breaker groups. This thesis was made in cooperation with Winled Oy.

---

Key words: LED, start-up current, load table

**SISÄLLYS**

1 JOHDANTO ... 6
2 LED ... 7
2.1 LED-tekniikka ... 7
2.2 LED-valaisin ... 8
2.3 LED-virtalähde ... 12
2.3.1 AC/DC –osa teholähteestä ... 14
2.3.2 DC/DC -osa teholähteestä ... 17
2.4 LED-liitäntälaitteiden ohjaustavat ... 22
3 VALAISIMIEN MITTAUKSET JA KUORMITUSTAULUKOINTI ... 25
3.1 Mitatut LED-valaisimet ... 25
3.2 Mitattujen LED-valaisimien liitäntälaitteet ... 29
3.3 Mittausten suorittaminen ... 30
3.4 Kuormitustaulukon laatiminen ... 32
4 TULOKSET ... 36
5 POHDINTA ... 42
5.1 Tulosten tarkastelu ... 42
5.2 Opinnäytetyön luotettavuus ... 43
5.3 Kehittämisehdotukset ... 45
LÄHTEET ... 46
LIITTEET ... 47

**ERITYISSANASTO**

| | |
|---|---|
| DC | Direct Current, tasavirta |
| AC | Alternating Current, vaihtovirta |
| AC-DC | Vaihtojännitteestä tasajännitteeksi |
| DC-DC | Tasajännitteestä tasajännitteeksi |
| W/Km | Wattia per Kelvinmetri |
| k | Metallin lämmönjohtamiskyky |
| ℃ | Celcius-aste |
| EMI | electromagnetic interference filter |
| LED | Light Emitting Diode |
| IEC PAS 62612 | Rasituskoestandardi |
| PFC | Power Factor Correction, tehokertoimen korjaus |
| PWM | Pulse width modulation, Pulssinleveysmodulaatio |
| O.L.P | Over Load Protection, ylikuormitusuoja |
| O.T.P | Over Temperature Protection, ylikuumenemissuoja |
| O.V.P | Over Voltage Protection, ylijännitesuoja |
| EMC | Electromagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus |
| CCM | Continuous Conduction Mode, jatkuva johtamistila |
| DCM | Discontinuous Conduction Mode, epäjatkuva johtamistila |
| CRM | Critical Conduction mode, kriittinen toimintatila |
| BCM | Boundary Conduction mode, kriittinen toimintatila |
| SELV | Safety Extra Low Voltage, suojajännitepiiri |
| CCR | Constant Current Regulator, Jatkuvan virran säätö |
| DALI | Digital Addressable Lighting Interface |
| Kelvin | Värilämpötila, K |
| Lumen | Valovoima, lm |

# 1 JOHDANTO

LED-valaisimet ovat yleistyneet paljon viime vuosina. Kuluttajien tietoisuus LED-valaisimista ja niiden hyvistä ominaisuuksista on kasvanut, minkä vuoksi LED-valaisimet yleistynevät tulevaisuudessakin. LED-valaisimia koskevia tutkimuksia on kuitenkin toistaiseksi tehty melko vähän. Tutkimuksia esimerkiksi LED-valaisimien ottamasta käynnistysvirrasta ei ole vielä tarpeeksi, minkä takia tämä aihe on ajankohtainen.

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Winled Oy:n kanssa. Winled Oy on maanlaajuinen LED-valaisintoimittaja, ja se tarjoaa LED-valaisimia sekä valaistussuunnittelupalveluja yrityksille ja yksityishenkilöille. Winled Oy:llä on laaja valikoima energiatehokkaita valaisimia. Valtaosa tuotteista on suunnattu omakotitalorakentajille, mutta myös teollisuuteen ja toimistotiloihin tarkoitetut valaisimet ovat viime vuosina vakiinnuttaneet paikkansa tuotevalikoimassa.

Opinnäytetyön tavoite on tuottaa lisää tietoa LED-valaisimista ja niiden ominaisuuksista. Työn tarkoitus on laatia LED-valaisimien käynnistysvirroista kuormitustaulukko Winled Oy:n käyttöön. Kuormitustaulukossa esitetään Winled Oy:n teollisuusvalaisimien sallitut enimmäiskappalemäärät erikokoisissa johdonsuojakatkaisijaryhmissä. Kuormitustaulukko tulee suunnittelun apuvälineeksi sähkösuunnittelutoimistoille ja sähköurakoitsijoille. Winled Oy ottaa täyden vastuun kuormitustaulukosta ja siinä ilmoitetuista tiedoista.

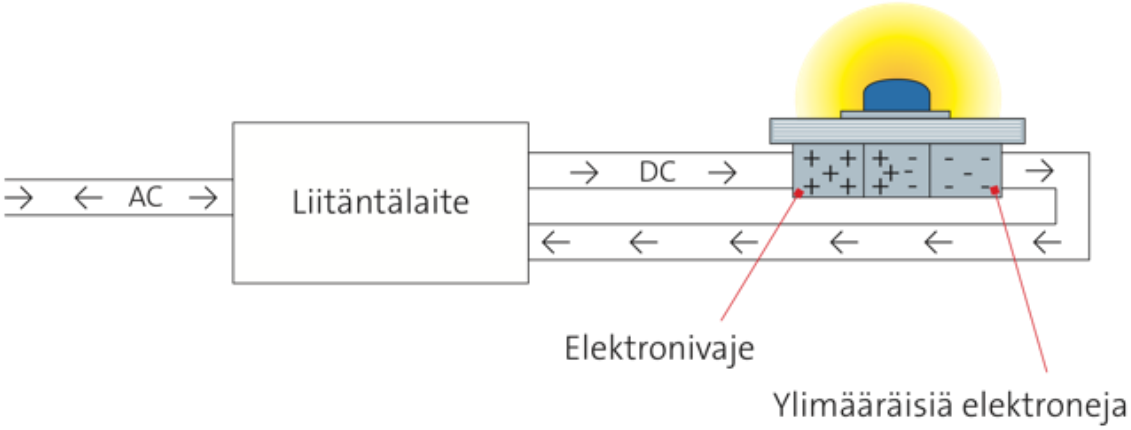
# 2 LED

Tämän luvun tarkoituksena on käsitellä LEDin teoriaa ja tekniikkaa, sekä LED-sirun ja LED-valaisimen koostumusta ja jäähdytystapoja. Luvussa käsitellään myös LED-valaisimen ohjaustapoja, sekä syvennytään teholähteen ominaisuuksiin, jotta voidaan tiedostaa koko opinnäytetyön keskeisin merkitys.

## 2.1 LED-tekniikka

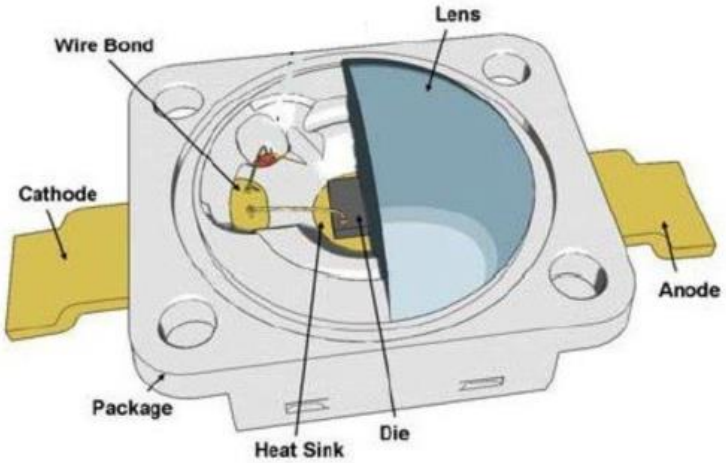
Lyhenne LED tulee englanninkielisistä sanoista *Light Emitting Diode*, mikä suomeksi tarkoittaa valoa säteilevää diodia eli loistediodia. LED on puolijohdekomponentti, joka muuntaa sähköenergian valoksi. LEDit toimivat tasavirralla (DC) ja vaativat yleensä erillisen virtalähteen eli liitäntälaitteen. Liitäntälaite muuttaa verkkojännitteen LEDin kannalta optimaaliseksi. (Fagerhult 2014.)

Valoa syntyy, kun elektronit pyrkivät tasapainoittamaan LEDin raja-aluetta. LEDissä on kaksi erijohteista aluetta: n-johdealue, jossa on ylimääräisiä elektroneja, ja p-johdealue, josta taas puuttuu elektroneja. Raja-alueella, jota kutsutaan yleensä pn-liitokseksi, syntyy valoa, kun puolijohteeseen syötetään tasavirtaa. Tässä vaiheessa elektronien epätasapaino alkaa tasoittumaan niiden törmätessä toisiinsa (kuvio 1). (Fagerhult 2014.)




KUVIO 1. LED-valaisimen rakennekuva (Fagerhult 2014.)

Puolijohdekomponentti koostuu anodi- sekä katodipinneistä, sirusta ja kuoresta, jonka sisälle tekniikka on rakennettu (kuva 1). Anodi- ja katodipinnin eron huomaa pinnien pituudesta. Anodipinni on pidempi kuin katodipinni. Koska LEDit ovat tasajännitteellä toimivia, ne päästävät virran kulkemaan vain yhteen suuntaan. (Fagerhult 2014.)




KUVA 1. LED-sirun rakenne. (Creen Creative.)

LED on erittäin pieni. Aktiivisesti valoa tuottava pinta on kooltaan noin 1–2 $mm^2$. Yksittäisellä LEDillä saadaan harvoin riittävästi valoa, joten ne kytketään yleensä ryhmäksi, joka asennetaan LED-moduuliin. LED-moduuli voidaan valmistaa monella eri tavalla niin, että valovirta ja moduulin muoto sopivat aina kyseessä olevan valaisimen rakenteeseen. (Fagerhult 2014.)

Valon väri, spektri, riippuu LEDin valmistusmateriaalista. Perusvärit ovat punainen, oranssi, vihreä ja sininen. Valkoinen valo saadaan yleensä muodostettua lisäämällä siniseen diodiin kerros keltaista fosforipohjaista loisteainetta. Eri fosforikoostumuksilla saadaan aikaan eri värilämpötiloja. (Fagerhult 2014.)

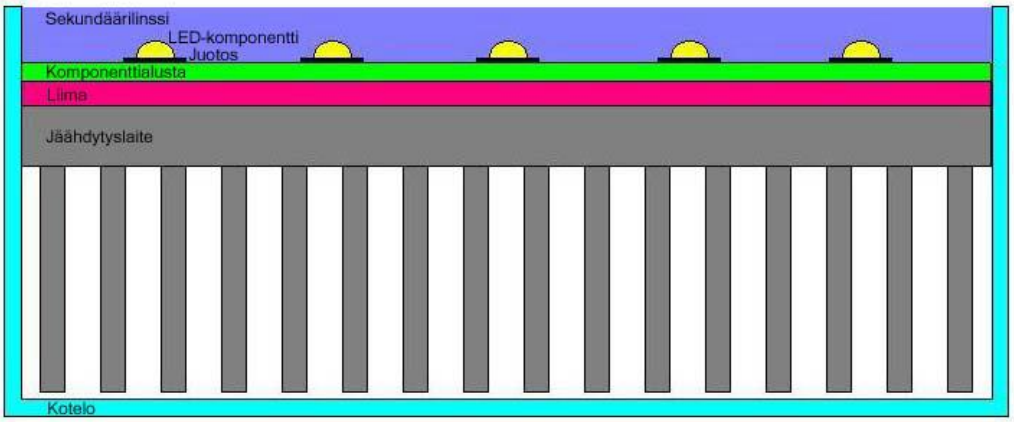
## 2.2 LED-valaisin

LED-valaisimien suunnittelussa ja kokoamisessa ei ole yhtä tiettyä tapaa. LED-valaisimen suunnittelu ja kokoaminen riippuu halutusta lopputuloksesta. Lopputulokseen vaikuttavat halutut rakenteen materiaalit, valaistusominaisuudet, sekä halutut käyttökohteet LED-valaisimelle. LED-komponenteilla toteutettujen valaisimien suunnittelussa ja ko-

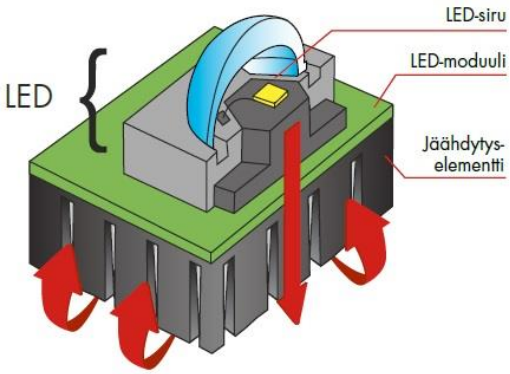
koamisessa ei ole yhtä tiettyä tapaa, johtuen isosta kirjosta rakenteen, valaistusominaisuuksien ja käyttökohteiden vaihtuvuudesta. LED-valaisin koostuu yleisesti yhdestä tai useammasta LED-komponentista, piirilevystä tai komponenttialustasta, ohjauselektroniikasta, optisesta linssisysteemistä sekä jäähdytyselementistä. (Jahkonen 2009.)

LED-valaisinta suunniteltaessa yksi tärkeimmistä asioista on ottaa huomioon valaisimen jäähdytyselementin johtamiskyky ja toimivuus, koska huonosti suunniteltu jäähdytys heikentää valaisimen luotettavuutta ja käyttöikää. Mikäli jäähdytys ei ole toteutettu oikein, ei lämpökään johdu tarpeeksi hyvin ympäristöön, jolloin LED-sirun sisäinen lämpötila nousee ja saattaa vioittaa sitä. Valaisimen jäähdytyksen suunnittelu on erittäin haasteellista, koska jäähdytyksen toimintaperiaate ja jäähdytyskamman koko muodostuvat hyvin monesta osa-alueesta. Pääpiirteittäin jäähdytyksen toteutukseen vaikuttavat LED-sirun valotehokkuus, linssioptiikka, juotoksien laatu, komponenttialustan/piirilevyn materiaali, käytettävä liima ja muut LED-komponentit. Toimivan valaisimen suunnittelussa ja toteutuksessa tulee myös kiinnittää huomiota valaisimen kokonaisvalotehokkuuteen, toimintaympäristöön sekä valaisimen sallittuun kokoon. (Jahkonen 2009.)

Kuvassa 2 on esitetty LED-valaisimen leikkauskuva. Kuten kuvasta voidaan nähdä, muodostuu LED-valaisin jäähdytyslaitteesta, komponenttialustasta, LED-komponenteista ja linssioptiikasta. Linssioptiikalla tarkoitetaan kuvassa 2 olevaa sekundäärilinssiä. Kuvassa esitetään myös LED-komponentin juotosalue, sekä hyvin lämpöä johtava kerrosliima. Kuvassa 3 esitetään LED-valaisimen rakenne jäähdytyskampoineen ja LED-siruineen. (Jahkonen 2009.)




KUVA 2. LED-valaisimen rakenneosat: sekundäärioptiikka, LED-komponentit, juotokset, komponenttialusta, liima, jäähdytyslaite sekä kotelo. (Jahkonen 2009.)

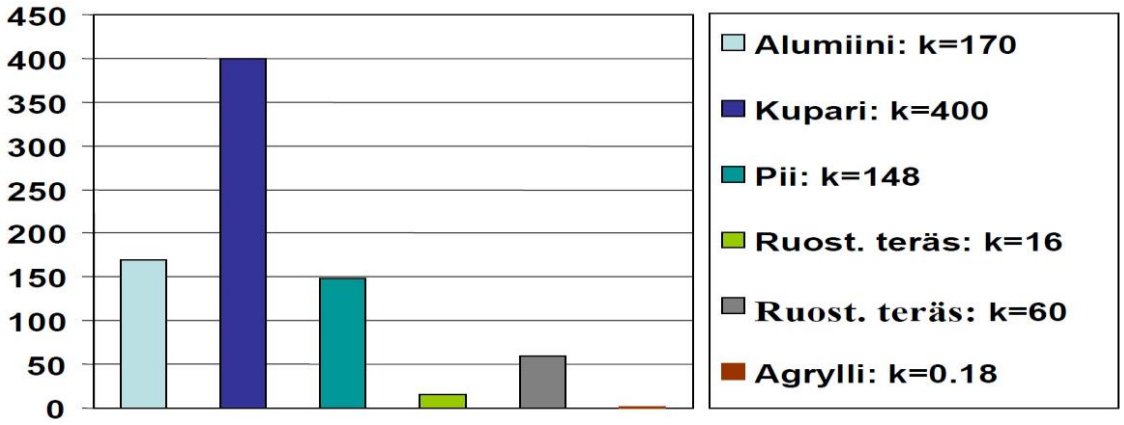



KUVA 3. LED-sirun ja moduulin rakenne. (Glamox 2013.)

Hyvä jäähdytys on LEDille erittäin tärkeää, koska muiden valonlähteiden tapaan uusimmissakin LEDeissä 70 % valotehosta muuttuu lämmöksi ja vain 30 % on varsinaista valontuottoa. LEDit eroavat muista valonlähteistä, kuten halogeeneistä ja hehkulampuista, koska LEDit eivät säteile lämpöä valonlähteen kautta ympäristöön, vaan ne säteilevät lämpöä suoraan LED-sirun rakenteisiin, joten LEDissä muodostuva lämpö täytyy siirtää pois johtamalla se jäähdytyskampoihin ja valaisinrakenteisiin. (Suomen Valoteknillinen seura.)

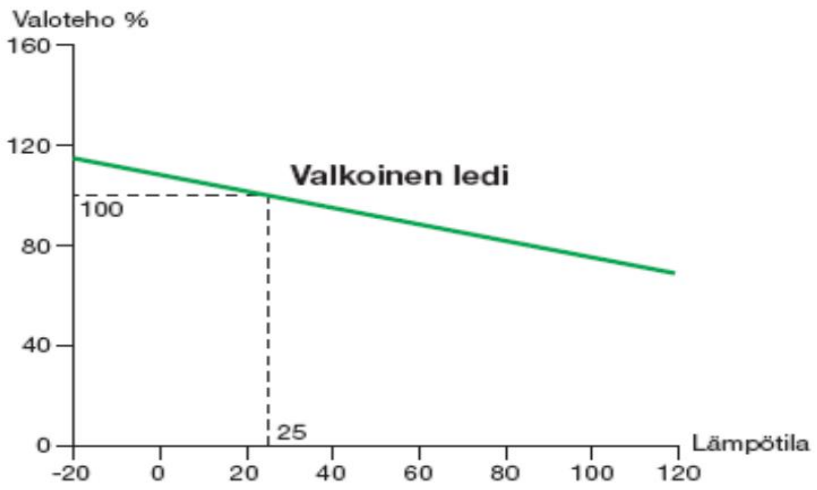
Jäähdytyselementit valmistetaan yleensä alumiinista, koska alumiini on kuparin jälkeen parhaiten lämpöä johtava materiaali (kuvio 2) (Suomen Valoteknillinen seura). Alumiinin etuja kupariin nähden ovat keveys, suotuisampi lämpölaajenemiskerroin sekä kestävyys korroosiota vastaan. Lisäksi alumiiniprofiilien materiaali- ja valmistuskustannukset ovat

kuparia alhaisemmat. Alumiini on materiaalina kuparia helpompaa käsitellä, ja se on myös kevyempää ja halvempaa kuin kupari. Kuparin lämmönjohtamiskyky on kuitenkin alumiinia parempi, ja sitä joudutaankin käyttämään silloin, kun alumiinin lämmönjohtavuus ei ole riittävää. (Jahkonen 2009.)




KUVIO 2. Eräiden metallien lämmönjohtamiskyky. Y-akselilla esitetyt yksiköt ovat W/Km. (Suomen Valoteknillinen seura.)

Jos LED-valaisimille ei toteuteta tarpeeksi hyvää jäähdytystä, vaikuttaa se monella tapaa LEDin toimintaan. LEDin väri muuttuu, koska suuri lämpötila saa aikaan LED-sirun lämpölaajenemisen ja kuumenemisen, joiden myötä siru kellastuu. LEDin sisäinen lämpötila ei saa nousta yli 120–150℃. Maksimilämpötila vaihtelee valmistajittain. Suuri lämpötila vaikuttaa negatiivisesti myös LEDin luotettavuuteen ja lyhentää radikaalisti sen käyttöikää; jo 10℃:n ylitys LEDille määritellystä maksimilämpötilasta pienentää käyttöikää ilmoitetusta tuntimäärästä puoleen. Ympäristön lämpötilalla on vaikutusta LEDin toimintaan. Jos lämpötila ympäristössä on korkea (yli 25℃), voi LEDin käyttöikä lyhentyä ja valoteho heikentyä. Matala ympäristön lämpötila puolestaan vaikuttaa LEDiin jopa suotuisasti parantaen valotehoa ja käyttöikää (kuvio 3). (Suomen Valoteknillinen seura.)




KUVIO 3. Ympäristön lämpötilan vaikutus LEDin valotehoon. (Honkanen.)

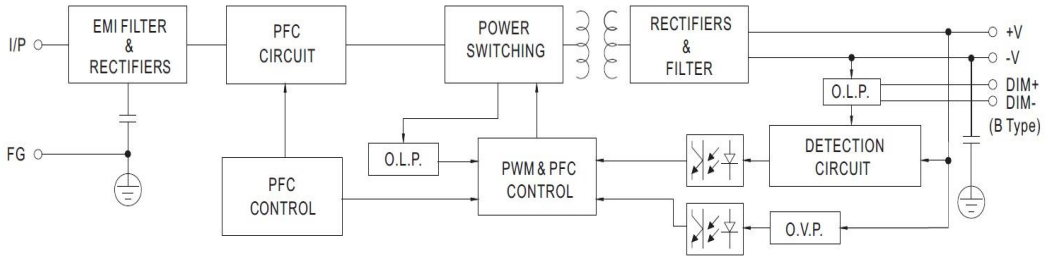
LED-valaisimien maksimikäyttöiän määrittely poikkeaa perinteisistä valonlähteistä. Yleisesti käytetty määritelmä LED-valaisimien eliniälle sallii 30 %:n valovirran aleneman (L70). L70 tarkoittaa, että määritellyn eliniän päästä LED-valaisimen valovirta on 70 prosenttia alkuperäisestä valovirrasta. Esimerkiksi, jos LED-valaisimelle on ilmoitettu 50 000 tunnin käyttöikä L70-merkinnällä, on 50 000 tunnin käyttöajan jälkeen valovirran määrä vähentynyt 70 %:iin alkuperäisestä. (Glamox 2013.) Valaisimen maksimikäyttöikä määritellään rasituskokeella IEC PAS 62612 -standardin mukaan. IEC PAS 62612 -standardi määrittelee suorituskykyvaatimukset sekä testausmenetelmät ja ehdot tavallisiin kotitalouksiin tai vastaaviin tiloihin tarkoitettujen LED-valaisimien rasituskoetta varten.

## 2.3 LED-virtalähde

Sähköverkosta saatavissa oleva sähkö on maailmanlaajuisesti vaihtosähköä. LED taas tarvitsee toimiakseen tasasähköä. Tasasähköllä toimivat laitteet tarvitsevat liitäntälaitteen, joka muuntaa verkosta saatavan vaihtosähkön tasasähköksi. Liitäntälaitteen tehtävä on syöttää sähkövirtaa kuormalle. (Rozenblat 2003.)

Teholähteet voidaan jakaa neljään ryhmään toimintamallinsa perusteella: DC/DC-, AC/AC-, AC/DC- ja DC/AC-teholähteisiin. LED-valaisimen teholähteessä DC/DC-piirin lisäksi on myös AC/DC-piiri, joka muuntaa verkosta saadun AC-, eli vaihtojännitteen halutuksi tasajännitteeksi DC/DC-piiriä varten. Teholähteen tasajännitepiirissä reguloi-

daan ja ohjataan sähkö LED-moduulille sopivaksi. Teholähteen ulostuloportissa on takaisinkytkentä ohjainpiirille, jonka avulla tarkkaillaan ja ohjataan lähtöjännitettä. Kuvassa 4 on esitetty erään virtalähdetoimittajan teholähteen toimintakaavio. (Reiman 2002.)




KUVIO 4. Erään mitattavan valaisimen teholähteen toimintakaavio. (Mean Well 2014.)

Kuviosta 4 nähdään verkkojännitteen kytkentäliittimet kuvan vasemmassa reunassa. Ensimmäisenä teholähteessä on EMI -suodin (electromagnetic interference filter) ja tasasuuntaajasilta (Rectifier). EMI-suotimen tehtävä on suodattaa sähkömagneettisia häiriöitä teholähteen sisällä. Tasasuuntaajasilta, joka muodostuu neljästä diodista, muuntaa verkkojännitteen sykkiväksi tasajännitteeksi, josta tasasähkö jatkuu eteenpäin PFC-piirille (PFC Circuit). PFC-piirillä (Power Factor Correction) tarkoitetaan tehokertoimen korjauspiiriä, jonka tehtävänä on saada nimensä mukaisesti korjattua tehokerroin sellaiseksi, että EMI-standardit täyttyisivät. PFC-piiriä ohjaa ja säätä PFC-ohjain (PFC Control). Teholähteen toimintaan kuuluvia muita tärkeitä komponentteja ovat PWM-ohjain (PWM Control), kytkin (Power Switching) ja muut tasasuuntaajasillat ja suotimet. Turvallisuuteen liittyviä komponentteja teholähteessä ovat ylikuormitussuoja (O.L.P Over Load Protection), ylikuumenemissuoja (O.T.P Over Temperature Protection), ylijännitesuoja (O.V.P Over Voltage Protection) ja tunnistuspiiri (Detection Circuit). (Mean Well 2014.)

Teholähteillä pyritään tuottamaan laitteelle mahdollisimman vakaata jännitettä, jotta laite pystyisi luotettavaan ja vakaaseen toimintaan. Teholähdettä suunniteltaessa täytyy teholähdepiirilevyn ja komponenttien tila optimoida, jotta laitteen koko pysyy mahdollisimman pienenä. Teholähteelle on paljon standardeja, jotka täytyy ottaa suunnittelussa huomioon. Lisäksi hyötysuhteen pitäminen korkeana ja jäähdytyksen minimointi on tärkeää. Tärkeä osa teholähteiden suunnittelua on toteutustekniikan eli topologian valinta. Valintaan vaikuttavat asetetut vaatimukset, kuten teho, jännite, lähtöjännitteiden määrä, tarvittavien komponenttien määrä, häiriöt ja hyötysuhde. Käytettäessä hakkuritopologiaa

suunnitteluun tulee lisähaasteita. Komponenttien mitoituksen lisäksi piirilevysuunnittelulla on suuri merkitys. Suunnittelussa täytyy ottaa huomioon useita seikkoja, jotta EMC-vaatimukset täyttyvät eikä levy lämpene liikaa. (Reiman 2002.)

### 2.3.1 AC/DC –osa teholähteestä

AC/DC-teholähteitä on yksi- ja kaksivaiheisia. Yksivaiheisessa teholähteessä tehokerroinkorjaus ja DC-osa ovat samassa lohkossa ja näin ollen niillä on myös sama kytkin ja ohjain. Kaksivaiheisessa teholähteessä tehokerroinkorjauskomponentti ja DC-osa ovat erillään ja molemmilla on oma kytkin ja ohjauskomponentti. Yksivaiheisella teholähteellä toteutetaan alle 200 W:n ratkaisuja, joten toteutus on kustannustehokkaampaa. Kaksivaiheista teholähdettä taas käytetään suurempia tehoja vaativissa ratkaisuissa paremman hyötysuhteensa vuoksi. (Zhang, Jovanovic & Lee 1999.)

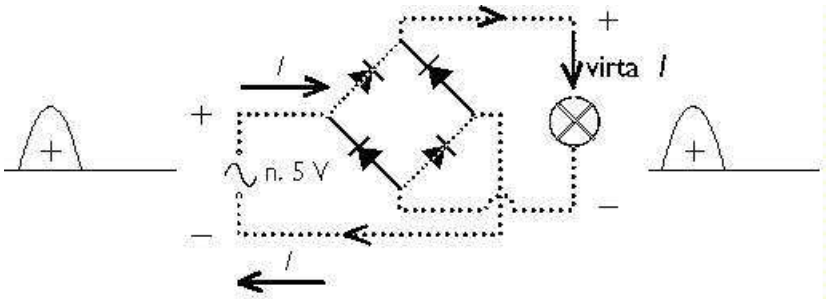
#### EMI-suodatus

Elektroniikkalaitteiden jännite- ja virtalataukset generoivat sähkömagneettisia kenttiä. Laitteiden EMI-päästöille (Electromagnetic Interference) on olemassa standardit, jotka määrittävät emission eli päästöjen ja immuniteetin eli emissionsietokyvyn rajat. EMI-suodatinta käytetään suodattamaan johtuvia häiriöitä. Säteileviä häiriöitä ei voi suodattaa piirilevyllä. (Rozenblat 2003.)

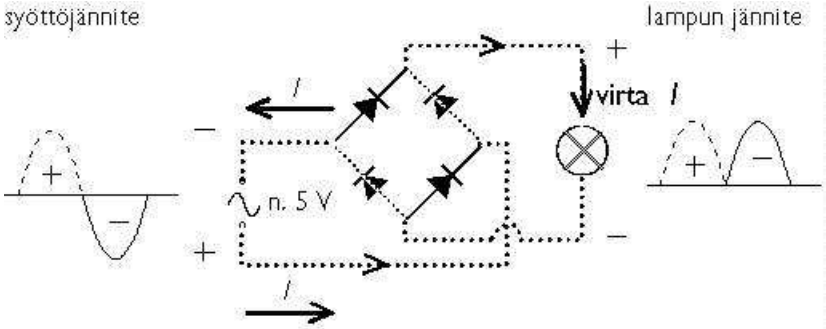
EMC-suunnittelu (Electromagnetic Compatibility), eli sähkömagneettisen yhteensopivuuden suunnittelu, on tärkeä osa elektroniikkasuunnittelua ja siihen tulee kiinnittää paljon huomiota tuoteprosessin alkuvaiheessa. EMC:llä tarkoitetaan sitä, että laite ei saa lähettää ympäristöönsä liikaa häiriöitä ja lisäksi sitä, että laitteen pitää kestää tietty määrä häiriötä. Yleisesti puhutaan joko EMC- tai EMI-suodattimista, mutta tarkoitetaan samaa asiaa. Usein tuoteprosessissa myöhemmin löytyneet EMI-pesäkkeet tulevat monin verroin kalliimmaksi korjata kuin alkuvaiheessa löydetyt ja korjatut ongelmat. (Reiman 2002.)

**Tasasuuntaus**

Tasasuuntaussilta, joka muodostuu neljästä diodista, muuttaa AC-signaalin sykkiväksi DC-signaaliksi. Diodin läpi voi kulkea virtaa vain diodimerkinnän nuolen suuntaan eli anodilta katodille päin. Diodit on asetettu siltaan niin, että vain kaksi diodia johtaa kerrallaan. Kun tulojännite muuttuu negatiiviseksi, vaihtuvat johtavat diodit. Diodisillan toiminta käy ilmi AC-jännitelähteen ja lampun muodostamasta virtapiiristä kuvioissa 8 ja 9. Katkoviivat ja nuolet osoittavat virran kulkusuunnan, kun jännitelähde syöttää positiivista jännitettä kuviossa 5. Kuviossa 6 osoitetaan virran reitti, kun jännitelähde syöttää negatiivista jännitettä. (Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos 1995.)



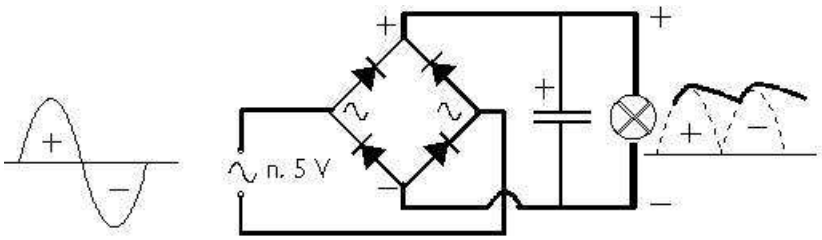

KUVIO 5. Virran reitti diodisillassa jännitteen ollessa positiivinen. (Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos 1995.)




KUVIO 6. Virran reitti diodisillassa jännitteen ollessa negatiivinen. (Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos 1995.)

Lampun rinnalle on kytketty kuviossa 6 kondensaattori, joka tasaa jännitevaihteluita. Kondensaattori latautuu jännitehuippujen kohdalla ja purkautuu jännitteen ollessa pieni.

Kondensaattorin kapasitanssiarvolla voidaan säätää lampun saaman jännitteen tasaisuutta. Lopullinen kytkennästä saatu signaali on siis kuvion 7 mukainen. (Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos 1995.)



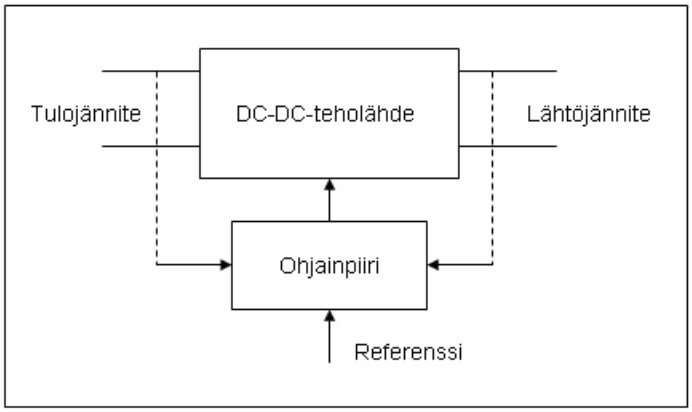

KUVIO 7. Kytkennästä saatu signaali, kun kuorman rinnalla on kytketty jännitevaihteluita tasaava kondensaattori. (Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos 1995.)

**Tehokertoimen korjaus**

Tehokerroin määritellään pätöteho suhteena loistehoon. Täysin lineaarisella resistiivisellä kuormalla tehokerroin on 1, jolloin tulojännite ja -virta ovat samanvaiheisia ja omaavat saman aaltomuodon. Tyypillinen hakkuriteholähde sen sijaan ei ole toiminnaltaan lineaarinen, vaan sen ottama virta on hyvinkin epälineaarista sisältäen harmonisia taajuuksia. Tällöin tehokerroin jää huomattavasti alle yhden ja verkkohäiriöiden lisäksi siirtyvä loisteho kuormittaa turhaan sähköverkkoa ja aiheuttaa häviöitä. Nykyiset standardit asettavat rajoitukset yliaaltovirroille ja käytännössä tekevät tehokertoimen korjauksesta välttämättömän. Aktiivisella tehokertoimen korjauksella (power factor correction, PFC) saadaan hakkuriteholähde toimimaan lähes ideaalisen kuorman tavoin verkosta katsottuna. Tehokertoimen korjauksella varustettu teholähde voi toimia jopa 0,99:n tehokertoimella. Tehokertoimen korjaus toteutetaan käytännössä siten että tulovirta pakotetaan seuraamaan tulojännitteen vaihetta ja aaltomuotoa. Kytkimellä katkotaan virtaa palasiin, ja tästä johtuukin nimitys hakkuri. Kuvassa 1.1 nähdään hakkurin toimintaperiaate. Alimpana on ohjaussignaali, jolla kytkintä ohjataan. Virta nousee kytkimen johtaessa ja laskee kytkimen ollessa auki. Kun kytkentätaajuus on riittävän suuri verkkotaajuuteen nähden, voidaan virran rippeli suodattaa pois, jolloin verkkoon muodostuu virran keskiarvon mukainen siniaalto. (Penttinen 2008.)

### 2.3.2 DC/DC -osa teholähteestä

DC/DC-teholähde saa tehonsa jostain tasajännitelähteestä, esimerkiksi paristosta tai akusta, tässä tapauksessa AC/DC-piiristä. Tulojännite voi vaihdella DC/DC-teholähteessä laajasti, mutta lähtöjännite pysyy kuitenkin vakiona. Teholähteen ohjainpiiri vertaa referenssiarvoa ja lähtöjännitettä toisiinsa ja säätää lähtöjännitteen halutuksi niiden perusteella. Kuviossa 8 on esitetty DC/DC-teholähteen perusrakenne. (Reiman 2002.)

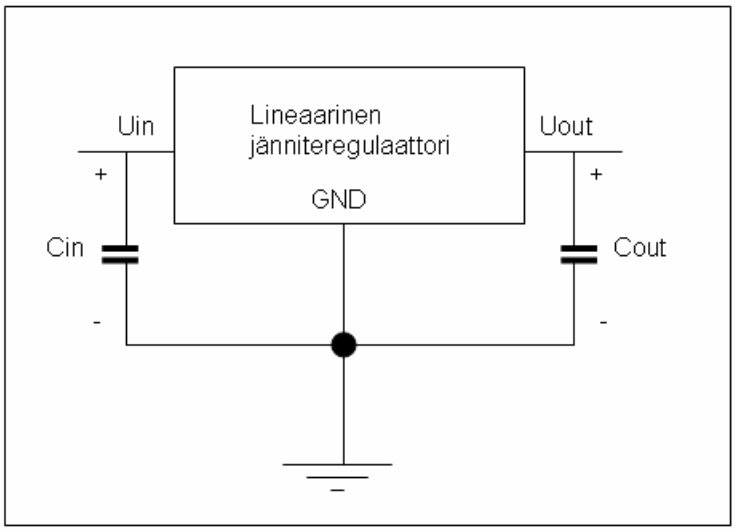



KUVIO 8. DC-DC-teholähteen perusrakenne. (Reiman 2002.)

DC-DC-teholähde voidaan jakaa lineaariregulaattoreihin ja hakkuriteholähteisiin. Teholähdetoteutustekniikoita on tarjolla useampia. Tässä osiossa käsitellään tarkemmin hakkuriteholähteen ominaisuuksia. (Reiman 2002.)

**Lineaariregulaattori**

Lineaariregulaattoreita on olemassa erilaisia; on positiivisilla ja negatiivisilla jännitteen arvoilla, säädettävällä lähtöjännitteellä ja virtarajalla sekä laajalla, säädettävällä tehoalueella olevia. Lineaariregulaattoreita on turhaa koota irto-osista, sillä valmiit kokonaisuudet ovat halpoja. Lineaariregulaattorit ovat pienikokoisia, ja niihin tarvitaan vain tulo- ja lähtöpuolelle oikeankokoiset kondensaattorit kuten kuviossa 9 nähdään. (Reiman 2002.)




KUVIO 9. Lineaarinen jänniteregulaattori oheiskomponentteineen. (Reiman 2002.)

Lineaarisella jänniteregulaattorilla pystytään laskemaan tulojännite haluttuun arvoon sekä säätämään jännite vakaaksi ja käytettävälle piirille sopivaksi. Lineaariregulaattorilla ei voida kasvattaa lähtöjännitettä, mikä on rajoittava tekijä niiden käytölle. Myös heikko hyötysuhde rajoittaa lineaariregulaattorin käyttöä teholähteen suunnittelussa. (Reiman 2002.)

Hukkateho riippuu ylijäävästä jännitteestä tai läpikulkevasta virrasta. Jakamalla lähtöjännitteen määrä tulojännitteen määrällä saadaan arvioitua hyötysuhde: tulo- ja lähtöjännitteen eron kasvaessa hyötysuhde pienenee. Kuormalle syötettävän virran kasvaessa regulaattori kuumenee enemmän. Pieneen koteloon pakattuna tämä saattaa aiheuttaa ongelmia regulaattorin toiminnassa. (Reiman 2002, 7.) Kytkimiä lineaariregulaattorissa ei ole, minkä ansiosta ne ovat teholähteistä häiriöttömimpiä eivätkä myöskään aiheuta häiriötä syöttöpuolelle oikein toimiessaan. Hakkuriteholähteet aiheuttavat kytkimiensä vuoksi enemmän häiriötä, sillä kytkimien nopeat kytkentäilmiöt tekevät lähtöjännitteeseen ja ympäristöön häiriöitä. (Reiman 2002.)

**Hakkuriteholähde**

Teholähteen valinnassa vaihtoehtoina on valita joko lineaarinen regulaattori, hakkuriteholähde tai varauspumppu. Hyötysuhde on tärkein erottava tekijä hakkureiden ja lineaaristen jänniteregulaattoreiden välillä. Lineaarinen regulaattori omaa huonon hyötysuh-

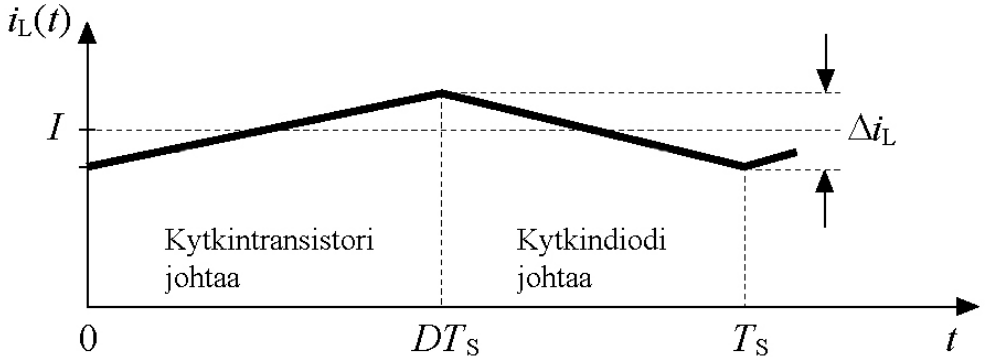
teen, koska teho muuttuu lämmöksi, ja hyötysuhde jää vain noin 50 %:n tasolle. Hakkureilla päästään jopa 95 %:n hyötysuhteeseen riippuen käytetyistä komponenteista. Suurin osa häviötehosta muodostuu teholähteen sisältämissä puolijohteissa ja induktiivisissa komponenteissa. Hyötysuhde ($\eta$) määritellään lähtevän tehon ($P_{OUT}$) ja tulevan tehon suhteena ($P_{IN}$) yhtälön (1) mukaan. (Reiman 2002.)

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \tag{1}$$

Hakkuriteholähteet aiheuttavat sähkömagneettisia häiriöitä (EMI), jonka vuoksi teholähteeseen on suunniteltava häiriösuodattimia. Häiriösuodattimet taas kasvattavat teholähteen hankintakustannuksia ja fyysistä kokoa. (Winder S., Power Supplies for LED Driving, Elsevier Inc., 2008.) Lineaariregulaattori ei aiheuta lainkaan häiriöitä, sekä on edullisempi, mutta hakkuriteholähteen useat hyvät puolet menevät lineaariregulaattorin hyötyjen edelle. Hakkurilla pystytään nostamaan ja laskemaan jännitteen tasoa, kun taas lineaarisessa pystytään vain tiputtamaan jännitetasoja. Lisäksi lineaarisessa reguloinnissa on huono hyötysuhde ja varauspumpuilla hyvin rajoittunut lähtöteho. Näiden syiden vuoksi hakkuriteholähteet ovat käytetyimpiä, vaikka hakkuriteholähteet tuovat mukanaan suuremmat kustannukset, pinta-alatarpeet ja suunnittelun haastavuudet. Hakkureiden kytkentöjen peruskomponentteja ovat kela, kytkintransistori, diodi, lähtö- ja tulokondensaattori ja ohjainpiiri. Erilaisia hakkurityyppejä voidaan muodostaa muuttamalla komponenttien paikkoja. (Reiman 2002.)

**Hakkuriteholähteen jatkuva ja epäjatkuva johtamistila**

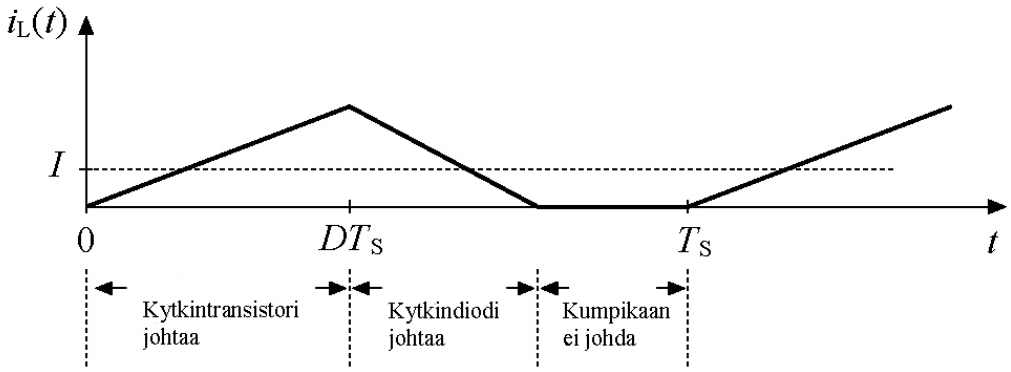
Hakkuriteholähteillä on kaksi perustoimintatilaa: jatkuva johtamistila (Continuous Conduction Mode, CCM) ja epäjatkuva johtamistila (Discontinuous Conduction Mode, DCM). Jatkuvassa johtamistilassa (CCM) kelan virta sisältää kuormavirtaan (Buck-hakkurit) tai tulovirtaan (boost-hakkurit) verrannollisen DC-komponentin sekä värekomponentin, joka ei laske missään vaiheessa nollaan ampeeriin, kuten kuviossa 5 nähdään. Värekomponentiksi ($\Delta i_L$) kutsutaan virran ”huipusta huippuun” -arvoa. Kuvassa nähdään jatkuva kelavirran ($i_L$) suurus Y-akselilla ja aika nähdään kuvan X-akselilla. (Reiman 2002.)




KUVIO 10. Kelan virta jatkuvassa johtamistilassa. Kun kytkintransistori johtaa, kasvaa kelan virta ja kun kytkindiodi johtaa, laskee kelan virta. Virta ei laske missään vaiheessa nollaan. (Reiman 2002.)

Värekomponentti mitoitetaan mahdollisimman pieneksi valitsemalla kelan induktanssi ja hakkurin kytkentätaajuus sopiviksi. Mitä suurempi kelan induktanssi ja hakkurin kytkentätaajuus on, sitä pienempi on kelan virran väre. (Reiman 2002.)

Mikäli kelan virta laskee nollaan jokaisen kytkentäjakson aikana, kutsutaan sitä epäjatkuvaksi johtamistilaksi eli DCM:ksi. Tällöin kaikki kelan magneettikenttään varattu energia siirretään lähtöpuolen kondensaattoreille jokaisen jakson aikana, joten tällöin kumpikaan hakkurin kytkin ei johda, kuten kuviossa 11 nähdään. (Reiman 2002.)

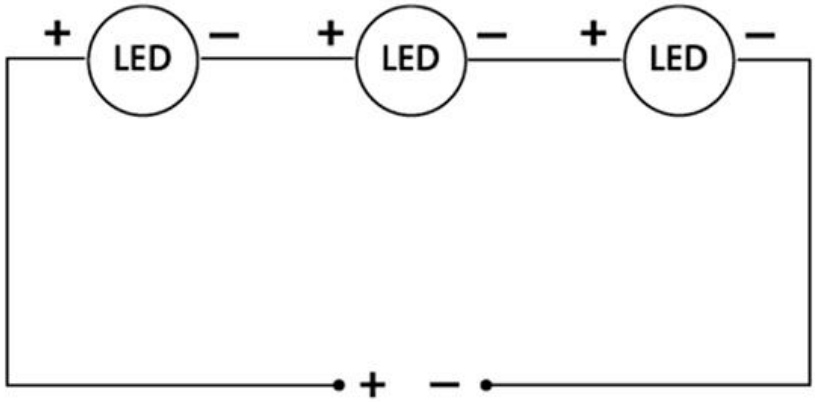



KUVIO 11. Kelan virta epäjatkuvassa johtamistilassa. Kelan virta laskee kytkentäjakson aikana nollaan, jolloin kumpikaan hakkurin kytkimistä ei johda. (Reiman 2002.)

**Vakiovirralla tai -jännitteellä toimivat teholähteet**

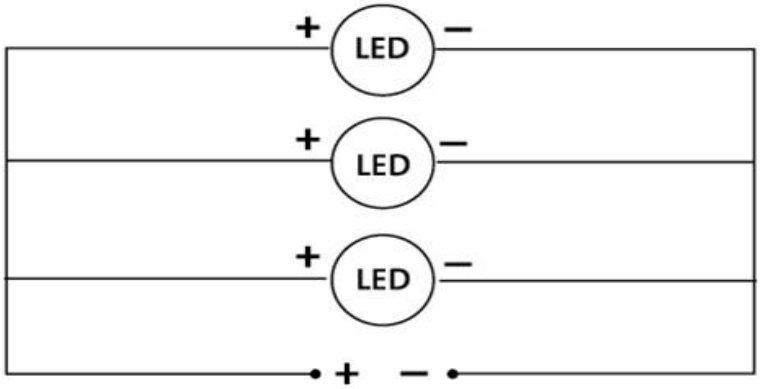
LED-moduulien käyttöön tarvitaan erikoisvalmisteisia liitäntälaitteita. Useimmissa näistä liitäntälaitteista on SELV-suojajännitepiiri (Safety Extra Low Voltage), jolloin LEDien tai valaisimen sähköisiä osia ei tarvitse suojata kosketukselta. (Fagerhult 2014.)

LEDit toimivat pääasiassa kahdella tavalla – vakiovirralla tai vakiojännitteellä. Vakiovirtakäytössä LED-piiriin syötetään vakiovirtaa, jonka suuruus on tavallisesti 350 mA:sta 1050 mA:iin. LED-moduulit kytketään liitäntälaitteeseen sarjana, ja virtapiirin jännite riippuu LED-moduuliin asennettujen LEDien määrästä. Jokaisessa LEDissä on tietty kynnysjännite, ja sarjakytkennässä LEDien kynnysjännitteet lasketaan yhteen. Kuviosta 12 nähdään, miten virtapiiri kulkee vakiovirtakäytössä. (Fagerhult 2014.)




KUVIO 12. Vakiovirtakäytössä LEDit on liitetty liitäntälaitteelle sarjakytkennällä. (Fagerhult 2014.)

Vakiojännitettä käytetään paljon LEDejä sisältävissä LED-valaisinmalleissa, kuten teollisuusvalaisimissa. Vakiojännitteen suuruus liitäntälaitteissa vaihtelee valmistajan ja mallien mukaan, mutta yleisesti käytetään 8–48 V:n suuruista jännitettä. Useita LED-moduuleita voidaan kytkeä rinnakkain samaan liitäntälaitteeseen, mikäli se kestää liitetyn kuormituksen. Tällä menetelmällä on huomioitava johdinten aiheuttamat jännitehäviöt. Kuviosta 13 nähdään, miten virtapiiri kulkee vakiojännitekäytössä. (Fagerhult 2014.)

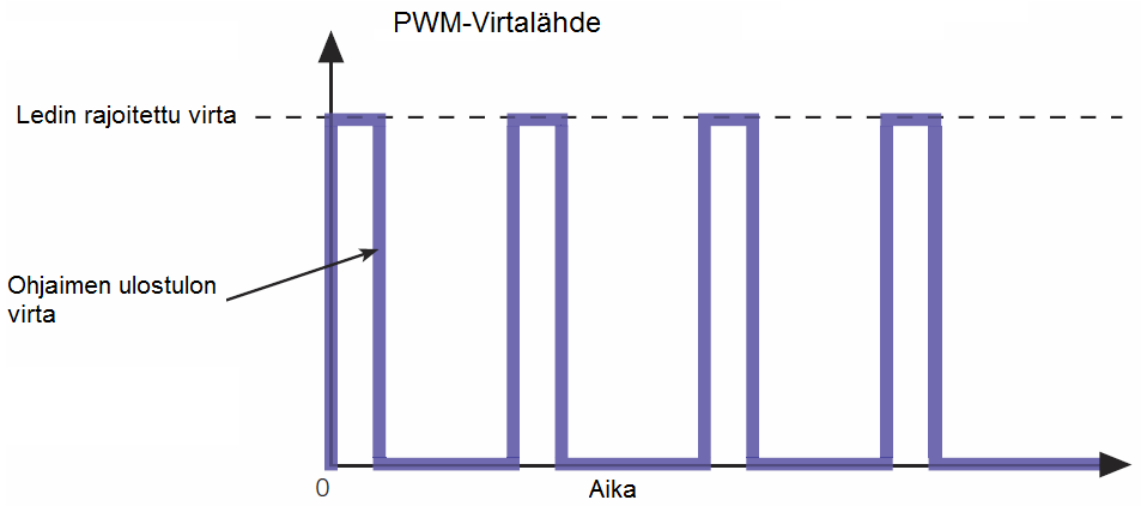



KUVIO 13. Vakiojännitekäytössä LEDit on liitetty liitäntälaitteelle rinnakkaiskytkennällä. (Fagerhult 2014.)

## 2.4 LED-liitäntälaitteiden ohjaustavat

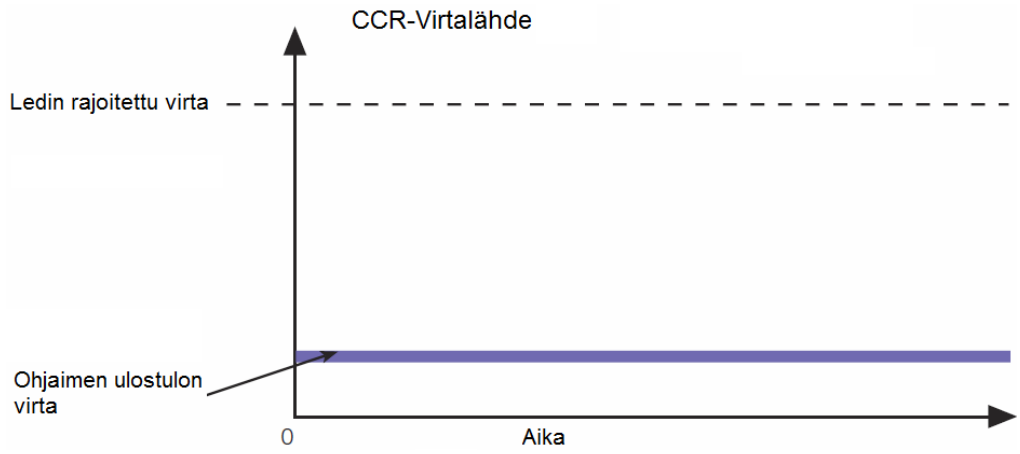
Yleensä LED-valaisimia ohjataan tasavirtalähteellä, jossa liitäntälaite syöttää tietynsuuruista tasavirtaa valaisimelle. LED-valaisimen valonsäätö tapahtuu tässä tapauksessa tasavirtalähteen kautta pulssinleveysmodulaatiolla eli PWM:lla (*Pulse Width Modulation*). Pulssi on taajuudeltaan yleensä 10–20 kertainen (100–1000 Hz) verrattuna 230 V:n jännitteen 50 Hz:n taajuuteen, jotta ihmisen silmä ei ehdi sitä havaitsemaan. LEDit siis syttyvät ja sammuvat suurella taajuudella. Mitä lyhyempi pulssien kesto on, sitä vähemmän LEDit tuottavat valoa (kuvio 14). Kytkentätaajuus ei vaikuta LEDien elinikään. (Fagerhult 2014.)

PWM tuottaa toiminnallaan liitäntälaitteessa nopeasti nousevia ja laskevia reunoja, minkä vuoksi se aiheuttaa elektromagneettisia häiriötä (EMI). Lisäksi PWM on riippuvainen ohjauskaapeloinnin pituudesta, jolloin suuret etäisyydet voivat vaikuttaa sen toimintaan. (Lutron 2010.)




KUVIO 14. Pulssinleveysmodulaation toiminta. Kuvion tapauksessa valontuotto on 25 %:n tasolla. (Lutron 2010.)

Toinen LED-valaisimen ohjausmuoto on CCR (*Constant Current Regulation*), joka perustuu jatkuvan virran säätöön (kuvio 15). LEDien valontuotto on suoraan verrannollinen virtapiirissä kulkevan virran määrään. (Lutron 2010.)




KUVIO 15. Jatkuvan virran säädön toiminta. Kuvion tapauksessa valontuotto on myös 25 %:n tasolla. (Lutron 2010.)

Winled Oy:n LED-valaisimien liitäntälaitteissa käytettävä menetelmä riippuu valaisinmallista. Sisäasennuksiin tarkoitetut pienitehoisten LED-valaisimien liitäntälaitteet on suunniteltu käyttämään tasavirtaa. Pienitehoisella valaisimella tarkoitetaan 8–42 W:lla toimivia LED-valaisimia. Myös LED-valonauhat ja LEDeillä toteutetut seinä-/somistevalaisimet luokitellaan pienitehoisiksi. Suuritehoiset (yli 50 W) valaisimet luokitellaan teollisuusvalaisimiksi.

Teollisuusvalaisimien liitäntälaitteet on suunniteltu käyttämään tasajännitettä. Jokaiselle teollisuusvalaisimille on määritetty oma käytettävä liitäntälaite. Liitäntälaitteen määrityksessä on otettava huomioon LED-moduulin kokonaisteho ja muut ominaisuudet niin, että valaisin kokonaisuudessaan toimii parhaalla mahdollisella tavalla. Mahdollinen valonohjaus tai himmennys tapahtuu CCR-menetelmällä, eli jatkuvan virran säätömenetelmällä.

# 3 VALAISIMIEN MITTAUKSET JA KUORMITUSTAULUKOINTI

Työn tarkoitus oli tutkia ja mitata Winled Oy:n LED-teollisuusvalaisinten käynnistysvirtoja ja laatia mittausten perusteella kuormitustaulukko. Mittaukset suoritettiin sähkölaboratoriossa heinä- ja syyskuun 2014 aikana. Kaikki mittaukset tehtiin 21–24 ℃ lämpötilassa.

Mittaukset toteutettiin Fluke 43B -mittalaitteella, joka on suunniteltu analysoimaan sähkönlaatua. Fluke 43B -mittalaite on monipuolinen, ja sitä voi sähkönlaadun analysoinnin lisäksi käyttää oskilloskooppina, yleismittarina ja piirturina. Oskilloskooppina mittauksissa kuitenkin käytettiin Fluke 190-mittalaitetta, koska sillä on mahdollista saada tarkemmat mittaustulokset käynnistysvirroista. Mittalaitteiden valintaan vaikutti lisäksi hyvä soveltuvuus tehtyihin mittauksiin sekä helppokäyttöisyys.

## 3.1 Mitatut LED-valaisimet

Yhteistyöyrityksen toimeksiannon mukaan mitattavaksi valittiin kaikki Winled Oy:n teollisuusvalaisinmallit, koska kuormitustaulukosta haluttiin mahdollisimman kattava. Lisäksi mittauksiin valittiin muutama pienitehoinen sisävalaisinmalli sekä kaikki toimistotiloihin soveltuvat valopaneelimallit. Kuormitustaulukossa esitetään LED-valaisimet niiden omilla kaupallisilla nimillä (LIITE 7).

Kaikki teollisuusvalaisimet ovat runkomateriaaliltaan alumiinia tai valurautaa. Jokaisessa on sisäinen liitäntälaite, joka on vaihdettavissa helposti. Winled Oy:n teollisuusvalaisimiin on saatavilla erikseen tilattuna DALI- tai 1–10 V:n ohjaus- ja himmennysjärjestelmää varten olevat liitäntälaitteet. Yrityksen toimittamiin LED-valaisimiin luvataan 5 vuoden takuu ja 50 000 tunnin käyttöikä. (Winled Oy 2014.)

**EDEN-valopaneelit**

EDEN-valopaneeleita (kuva 4) suunnitellaan yleensä toimistoihin ja muihin julkisiin tiloihin, joissa tarvitaan miellyttävää, tasaista ja tehokasta valaistusta. Yhä useampi omakotitalorakentaja on kuitenkin valinnut valopaneelit myös osaksi kotivalaistustaan. Valopaneelit on suunniteltu niin, että ne ovat helposti asennettavissa alaslaskettuun moduulikattoon. Valopaneeleita on saatavissa neljänä erikokoisena ja -tehoisena. Koot ovat 30x30 cm (18 W), 30x60 cm (22 W), 30x120 cm (42 W) ja 60x60 cm (42 W). EDEN-valopaneeleihin on tarvittaessa saatavissa DALI- tai 1–10 V:n ohjaus, ja valaisimen mukana tulevaa liitäntälaitetta voidaan ohjata transistori-, tyristori- tai TRIAC-säätimillä. Valopaneeleissa tasavirtalähteenä toimivan liitäntälaitteen suojausluokitus on IP20. Valaisinta on saatavilla 3000 K:n ja 4000 K:n värilämpötiloissa. Valaisin itsessään on kotelointiluokaltaan IP44, kun sen asentaa oikein ohjeiden mukaan. Valovirrat vaihtelevat valaisinkohtaisesti. Esimerkiksi 30x30 cm kokoisella valopaneelilla saadaan tuotettua 120 asteen valaisukulmalla 1344 lm / 1415 lm:ia (3000 K / 4000 K). (Winled Oy 2014.)

KUVA 4. EDEN 60x60 -valopaneelin tuotekuva. (Winled Oy 2014.)

**Runkovalaisin**

Winled Oy:n Runkovalaisin (kuva 5) on perinteisten loisteputkivalaisimien korvaaja. Runkovalaisimia on saatavilla kahtena eritehoisena, 45 ja 66 W:n tehoisena. Pienempitehoisella Runkovalaisimella saadaan aikaan 4212 lm:n, isompitehoisella taas 5585 lm:n valovirta. Runkovalaisimessa on sisäinen tasavirralla toimiva liitäntälaite. Valaisin on kotelointiluokaltaan IP54 ja värilämpötilaltaan 5300 K. Tekniset tiedot ilmoittavat, että värintoistoindeksi on 80. (Winled Oy 2014.)

KUVA 5. Runkovalaisin 45W -tuotekuva. (Winled Oy 2014.)

**Moduulivalaisin**

Moduulivalaisin (kuva 6) on laadukas ja hyvin monipuoliseen käyttöön soveltuva teollisuusvalaisin. Valaisinta voidaan käyttää esimerkiksi ulkoilu-, puisto-, parkki- ja tehdasalueiden valaistukseen. Moduulivalaisimesta on olemassa monta eritehoista versiota. Saatavilla on 80 W:n (7200 lm), 120 W:n (10800 lm), 160 W:n (14400 lm), 200 W:n (18000 lm) ja 280 W:n (25200 lm) tehoisia malleja. Valaisin on rakennettu niin, että siinä on erillisiä, irrotettavissa olevia LED-kennoja. Yhden moduulin teho on 40 W ja valovirta on 3600 lm:aa, 80 W valaisimessa on 2 moduulia, 160 W valaisimessa 4 moduulia ja niin edelleen. Valaisin on kotelointiluokaltaan IP68 ja sisäinen, mutta vaihdettava liitäntälaite on IP67. Valaisimen teknisissä tiedoissa värintoistoindeksiksi ilmoitetaan 75. (Winled Oy 2014.)

KUVA 6. Moduulivalaisin 200W -tuotekuva. (Winled Oy 2014.)

**PRO-valaisin**

PRO-valaisin (kuva 7) soveltuu erityisesti ulkokäyttöön IP66-kotelointiluokkansa ansiosta. Valaisimessa on vaihdettava tasajännitettä syöttävä liitäntälaite, joka on kotelointiluokaltaan IP67. Valaisinta on saatavana 100 W:n (10800 lm), 150 W:n (14400 lm), 200 W:n (20000 lm) ja 250 W:n (25000 lm) tehoisena. Jokaisesta – lukuun ottamatta 250W:n mallia – on mahdollista irrottaa ja vaihtaa LED-kennot haluttaessa. (Winled Oy 2014.)

KUVA 7. PRO 200W -valaisimen tuotekuva. (Winled Oy 2014.)

**Saturnus-valaisin**

Saturnus-valaisimessa (kuva 8) on vaihdettava tasajännitettä syöttävä liitäntälaite, kuten suurimmassa osassa muitakin teollisuusvalaisimia. Valaisinta voidaan käyttää esimerkiksi urheilukenttien, julkisivujen ja tehdasalueiden valaistukseen. Valaisinta on saatavina 50 W:n (4750 lm), 70 W:n (6650 lm), 140 W:n (13300 lm) ja 200 W:n (17000 lm) tehoisena. (Winled Oy 2014.)

KUVA 8. Saturnus 50W -valaisimen tuotekuva. (Winled Oy 2014.)

## 3.2 Mitattujen LED-valaisimien liitäntälaitteet

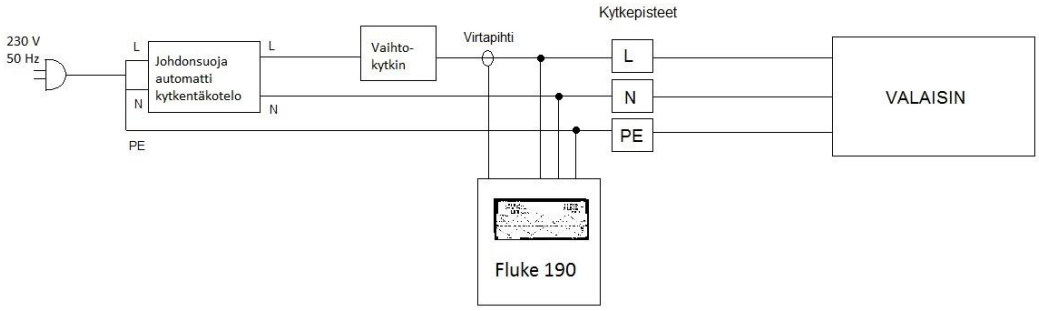
Winled Oy:n teollisuusvalaisimissa käytetään muutaman eri liitäntälaitetoimittajan virtalähteitä. Teollisuusvalaisimien virtalähteet ovat pääosin tasajännitelähteitä, koska tällöin sähköpiirin virta saadaan pienemmäksi. Winled Oy:n teollisuusvalaisimien tasajännitelähteissä käytetään jatkuvan virran säätöä (CCR) LED-valaistuksen ohjaukseen. (Winled Oy 2014.)

Valaisimissa käytettävät tasajännitelähteet on sovitettu toimimaan optimaalisesti Winled Oy:n teollisuusvalaisimien kanssa. Liitäntälaitteet ovat turvallisia, koska ne on galvaanisesti erotettu suojajännitemuuntajan avulla ja varustettu ylilämpenemissuojalla. (Mean Well 2014.)

Mitatut liitäntälaitteet, joita käytetään Winled Oy:n teollisuusvalaisimissa, noudattavat useita EN-standardeja. Liitäntälaitteiden sähkömagneettiset ominaisuudet noudattavat EN55015, EN55022, EN61000-3-2, EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, EN61547 ja EN55024-standardeja. Liitäntälaitteiden turvallisuuteen liittyen valmistaja ilmoittaa noudatettavan TUV EN60950-1, TUV EN61347-1 ja EN61347-2-13-standardia. (Mean Well 2014.)

### 3.3 Mittausten suorittaminen

Mittauksissa käytettiin Fluke 43B -sähkönlaadun analysaattoria, jolla mitattiin LED-valaisimien ottovirtoja ja ottotehoja. Käynnistysvirtojen mittaamiseen käytettiin Fluke 190-mittalaitetta. Fluke 190:n mittatarkkuus on teknisten tietojen mukaan ±5 % käynnistysvirtoja mitattaessa. Tämä mittatarkkuus otettiin huomioon mittauksissa ja kuormitustaulukkoa tehdessä. Mittauksissa käytetty muu välineistö koostui liittimistä, kytkimistä, kytkentäpisteistä ja johdonsuojakatkaisijoista.




KUVIO 16. Mittausympäristön kytkentä.

Mittausympäristön ensimmäisenä komponenttiosana toimi johdonsuojakatkaisijakotelo. Mittausympäristöön kytkettiin vaihtokytkin, joka toimi järjestelmän pääkytkimenä. Vaihtokytkimen jälkeen piiriin liitettiin mittalaite. Fluke 190 ja 43B -mittalaitteiden mukana tulleita virtapihtejä käytettiin mittaamaan piirin vaihejohtimen virtaa. Mittalaitteen jälkeen luotiin kytkentäpiste, jossa yhdistettiin mittauspiiri ja mitattava laite toisiinsa. Tähän kytkentäpisteeseen kytkettiin kiinni myös mittalaitteiden vaihe- ja nollajohdin, jolla tarkasteltiin muun muassa piirin jännitettä. (Kuvio 16.)

Mittausympäristö kytkettiin yllä olevan kuvion 16:n mukaisesti. Mittauspöydän pistorasiasta saatiin 230 V:n verkkojännite mittausympäristöön. Mittauspöydän pistorasiasta kytkettiin johdonsuojakatkaisijoiden kautta johdot varsinaiseen mittausympäristöön, johon saatiin näin 230 V:n verkkojännite. Johdonsuojakatkaisijat kytkettiin ennen virtapiiriä, koska haluttiin simuloida ja todeta, ehtiikö johdonsuojakatkaisija laueta korkean käynnistysvirran ansiosta. Testauksessa käytettiin B4-tyypin johdonsuojakatkaisijoita.

Kytkentöjen jälkeen valmisteltiin FlukeView-ohjelmisto tietokoneelle mittauksia varten ja muodostettiin tietokoneella yhteys Fluken mittalaitteisiin. FlukeView-ohjelmiston kautta saatiin mitatut käynnistysvirta- ja tehomittaukset suoraan tietokoneen näytölle, josta mittaukset otettiin talteen kuvankaappaustoiminnolla. Yhden mittauksen kokonaiskesto oli noin 20 minuuttia. Mitattuja valaisimia oli kokonaisuudessaan 21 kappaletta.

Kun mittausympäristön kytkennät oli tehty ja FlukeView-ohjelmiston yhdistäminen mittalaitteeseen tehty, aloitettiin mittaukset. Ensimmäisenä mitattiin valaisimen käynnistysvirta, koska valaisin oli niin sanotusti kylmä, eli valaisimen virtalähteen mitkään komponentit eivät olleet tässä vaiheessa vielä ladanneet energiavarastojaan. Toisena mittauksena valaisinta pidettiin päällä ja vaihdettiin mittariston valikosta ”Tehot”-ominaisuus, joka näytti suoraan pätö-, näennäis- ja loistehon määrät, hyötysuhteet ja tehokertoimet. Kolmantena mittauksena tarkasteltiin mitattavan valaisimen tuottamat yliaallot niin virran kuin jännitteenkin osalta. Tästä monivaiheisesta mittausprosessista kirjattiin ylös kaikki tulokset sekä tarvittaessa lisätietoja. Lopuksi mittaustiedosto tallennettiin mittausten myöhemmän tarkastelun mahdollistamiseksi. Mittaustiedoston pystyy avaamaan ainoastaan FlukeView-ohjelmistolla.

Sähköverkkostandardin, EN 50160, mukaan Suomen sähköverkon jännitteelle hyväksytään ±10 %:n vaihtelu, minkä vuoksi kaikki valaisimet mitattiin 230 V:n lisäksi myös 207 V:n ja 253 V:n syöttöjännitteellä. EN 50160-standardi määrittelee paikallisen jakeluverkon toimittaman sähkön jänniteominaisuuksia. Tällaiset mittaukset pystyttiin toteuttamaan, koska mittauspöydässä oli erillinen säädettävä jännitelähde, josta saatiin verkkotaajuista, portaattomasti säädettävää jännitettä. Mittausympäristön syöttöjohtimet vaihdettiin tähän säädettävään jännitelähteeseen. Jännitelähteessä ei ollut jännitemittaria, joka olisi ilmoittanut syöttävän jännitteen määrän, joten jouduttiin kytkemään Fluke-mallinen yleismittari samaan pistokkeeseen virtapiirin liittimien kanssa. Näin nähtiin säädetyn jännitteen suuruus. Jännitteen suuruutta säädettiin mittauspöydässä olevalla potentiometrillä.

Työssä haluttiin myös selvittää, vaikuttaako virtalähteen perässä oleva kuorma mittaustuloksiin. Mittauksiin valittiin Moduulivalaisimet, koska niiden LED-moduulit on helppo irrottaa virtalähteestä. Tämän mittauksen avulla saatiin teknistä tietoa seuraavia tulevia mittauksia varten.

Lopuksi, kun kaikki valaisimet oli yksitellen mitattu, testattiin ja mitattiin usean valaisinryhmän käynnistysvirta ja analysoitiin, vaikuttaako monen valaisimen sarjakytkentä kuormitustaulukon laskemiseen. Ensin mitattiin käynnistysvirrat kahdella valaisimella, sen jälkeen kolmella, minkä jälkeen neljällä ja lopulta viidellä valaisimella.

## 3.4 Kuormitustaulukon laatiminen

Kuormitustaulukon (liite 2) laadintaan ei ole saatavilla standardia, josta saisi valmiin laskentakaavan taulukon laatimista varten. Tässä työssä käytetty kaava on saatu virtalähdetoimittajalta, joka toimittaa virtalähteitä osaan Winled Oy:n valaisimista. Kyseiseltä yritykseltä on saatavilla oma kuormitustaulukko, johon on mitattu osa virtalähteistä. Taulukosta löytyy muun muassa PRO-sarjan valaisimissa käytetty virtalähde. Yrityksen kuormitustaulukon laadinnassa käytetty kaava perustuu johdonsuojakatkaisijoiden osalta ABB:n ilmoittamiin MCB S200–johdonsuojakatkaisijasarjan teknisiin tietoihin. Näistä tiedoista saadaan muun muassa elektromagneettisen laukaisun pitokerroin. ABB:n tietojen mukaan tämä MCB S200 -sarja on pienjännitetuotteiden yleisin ja käytetyin johdonsuojakatkaisijamalli. Tällä perusteella MCB S200 -tuotesarjan teknisiä tietoja on käytetty myös tämän opinnäytetyön kuormitustaulukon tekemisessä. ABB:n johdonsuojakatkaisijat noudattavat IEC-EN60898-standardia, joka määrittää muun muassa vaaditut laukaisuarvot B- ja C-käyrän johdonsuojakatkaisijoille sekä elektromagneettisen pito- ja laukaisukertoimet.

$$X = \frac{I_n \times Pitokerroin \times korjauskerroin}{I_{käynnistysvirta}} \tag{2}$$

Kaava 2 on kuormitustaulukoinnissa käytetty kaava. Siinä otetaan huomioon laskettavan johdonsuojakatkaisijan nimellisvirta ($I_n$), teknisistä tiedoista saatu pitokerroin ja käynnistysvirtapiikin kestosta määräytyvä korjauskerroin. Nämä edellä mainitut arvot kerrotaan keskenään ja jaetaan mittauksista saadulla käynnistysvirtapiikin arvolla. Tulokseksi saadaan luku ($X$), joka kertoo, kuinka monta valaisinta laskennassa käytetyn johdonsuojakatkaisijan perään voidaan asentaa.

ABB:n teknisten tietojen mukaan B-laukaisukäyrän omaava johdonsuojakatkaisija kestää elektromagneettisessa laukaisussa nimellisvirtaan verrattuna kolminkertaisen määrän

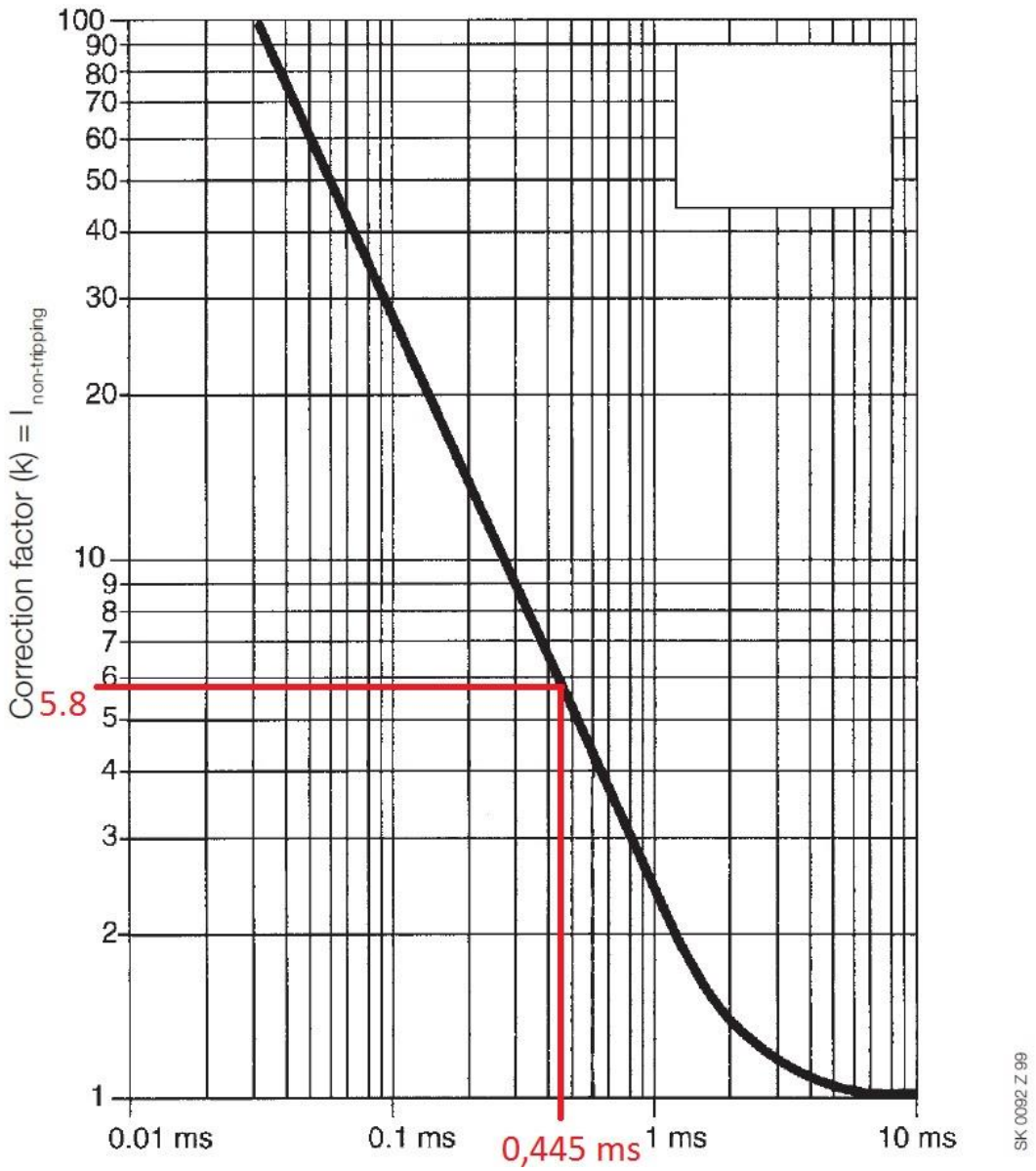
hetkellistä oikosulkuvirtaa. Tätä arvoa kutsutaan pitokertoimeksi. Pitokertoimen lisäksi taulukosta 1 nähdään myös samaisen elektromagneettisen laukaisun sarakkeessa laukaisukerroin, joka on B-tyypin johdonsuojakatkaisijoissa viisi. C-käyrän johdonsuojakatkaisijoissa pitokertoimeksi on ilmoitettu viisi ja laukaisukertoimeksi kymmenen. Kuormitustaulukon laatimista varten käytettävässä kaavassa otetaan huomioon ainoastaan pitokerroin. Jos kaavassa käytettäisiin pitokertoimen sijaan laukaisukerrointa, saataisiin tulos, joka kertoisi johdonsuojakatkaisijoiden laukaisuun tarvittavan valaisinten määrän. Koska johdonsuojakatkaisijat on tarkoitus pitää päällä, on tärkeää käyttää kaavassa nimenomaan pitokerrointa.

TAULUKKO 1 MCB S200-sarjan johdonsuojakatkaisijoiden tekniset tiedot (ABB 2014)

Tripping characteristics S 200 / S 200 M / S 200 P / S 200 S / S 200 MUC / SN 201 L / SN 201 / SN 201 M

| | | | Thermal release ② | | | Electromagnetic release ① | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Acc. to | Tripping characteristic and rated current | | Current: conventional non-tripping current | Current: conventional tripping current | Tripping time | Currents: hold current surges | Currents: trip at least at | Tripping time |
| IEC/EN 60898-1 | B | 6 to 63 A | 1.13 · In | | > 1 h | 3 · In | | > 0.1 s |
| | | | | 1.45 · In | < 1 h | | 5 · In | < 0.1 s |
| | C | 0.5 to 63 A | 1.13 · In | | > 1 h | 5 · In | | > 0.1 s |
| | | | | 1.45 · In | < 1 h | | 10 · In | < 0.1 s |
| | D | 0.5 to 63 A | 1.13 · In | | > 1 h | 10 · In | | > 0.1 s |
| | | | | 1.45 · In | < 1 h | | 20 · In | < 0.1 s |
| IEC/EN 60947-2 | K | 0.2 to 63 A | 1.05 · In | | > 1 h | 10 · In | | > 0.2 s |
| | | | | 1.2 · In | < 1 h ③ | | 14 · In | < 0.2 s |
| | | | | 1.5 · In | < 2 min. ③ | | | |
| | | | | 6.0 · In | > 2 s (T1) | | | |
| | Z | 0.5 to 63 A | 1.05 · In | | > 1 h | 2 · In | | > 0.2 s |
| | | | | 1.2 · In | < 1 h ③ | | 3 · In | < 0.2 s |

ABB:n tietojen mukaan kaavassa täytyy ottaa huomioon myös johdonsuojakatkaisijan toiminnasta johtuva korjauskerroin, mikäli laitteen käynnistysvirran kesto on alle 10 ms. Korjauskerroin on huomioitu virtalähdetoimittajalta lainatussa kaavassa. Johdonsuojakatkaisijoiden teknisistä tiedoista löytyy logaritminen korjauskerroinkaavio, jossa y-akselilla on esitetty aika ja x-akselilla kerroin. Alla olevassa kuviosta 17 nähdään esimerkki, jossa mitattavan laitteen käynnistysvirtapiikin kesto on 445 mikrosekuntia. Kaavio antaa 445 mikrosekunnin kohdalla korjauskertoimen 5.8, joka lisätään kaavaan.




KUVIO 17. Johdonsuojakatkaisijan toiminnasta johtuva korjauskertoimen logaritmi. (ABB 2014)

Kun tiedetään mitattavan laitteen käynnistysvirtapiikin suuruus, syötetään se kaavaan 2. Tarkastelemalla käynnistysvirtapiikin kestoa ja korjauskertoimen logaritmia saadaan korjauskertoimen arvo. Loput tiedot, eli nimellisvirta ja pitokerroin, saadaan tutkittavan johdonsuojakatkaisijan teknisistä tiedoista.

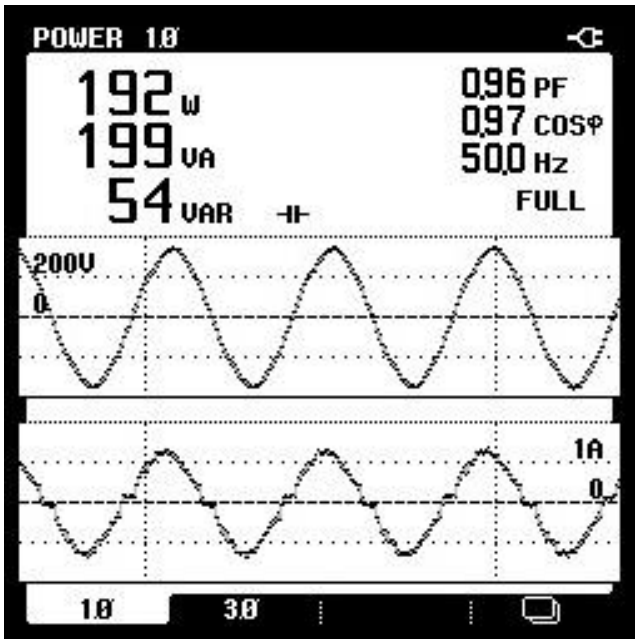
Kaavasta saadaan tulokseksi lukema, joka kertoo, kuinka monta kappaletta mitattavia laitteita voi asentaa kyseessä olevan johdonsuojakatkaisijan perään niin, että vältytään johdonsuojakatkaisijan laukeamiselta. Ennen kuin tämä luku syötetään varsinaiseen tauluk-

koon, tulee tarkistaa, kuinka monta valaisinta kyseessä oleva johdonsuojakatkaisija kestää tavallisessa kuormituksessa. Alla olevasta kaavasta 3 nähdään, että kun johdonsuojakatkaisijan nimellisvirta ($I_n$) jaetaan valaisimen vakiovirralla ($I_{vakiovirta}$), saadaan tulokseksi kappalemäärä ($X$), joka kertoo, kuinka monta valaisinta kyseessä oleva johdonsuojakatkaisija kestää normaalissa kuormituksessa. Mikäli tämä tulos on pienempi kuin kaavan 2 mukaan laskettu tulos, valitaan kuormitustaulukkoon kaavan 3 mukaan saatu tulos.

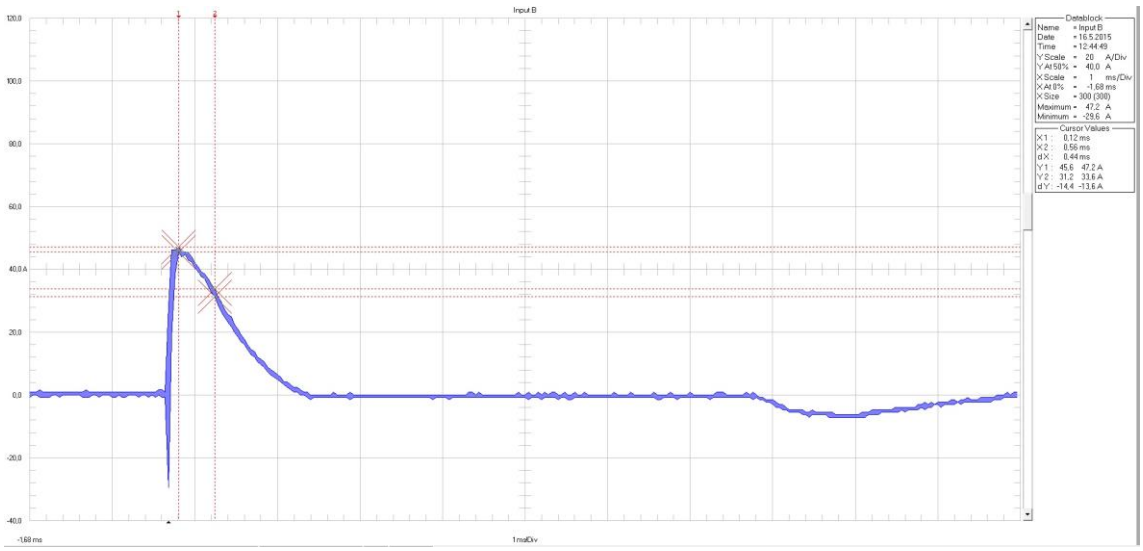
$$X = \frac{I_n}{I_{vakiovirta}} \tag{3}$$

# 4 TULOKSET

Koska mittaustuloksia oli paljon, koettiin mielekkäämmäksi esittää kaikki tulokset taulukkomuodossa ja mittalaitteesta saatuina kuvina. Alla olevat kuvat 9 ja 10 esittävät mittalaitteista saatuja tietoja mittauksista. Kuvassa 9 nähdään Fluke 43B -mittalaitteen ilmoittamat tehot PRO 200 W -valaisimen mittauksissa. Kuvassa 10 nähdään PRO 250 W:n käynnistysvirtamittauksen kuvaaja. Kyseinen mittaus tehtiin Fluke 190-mittalaitteella.

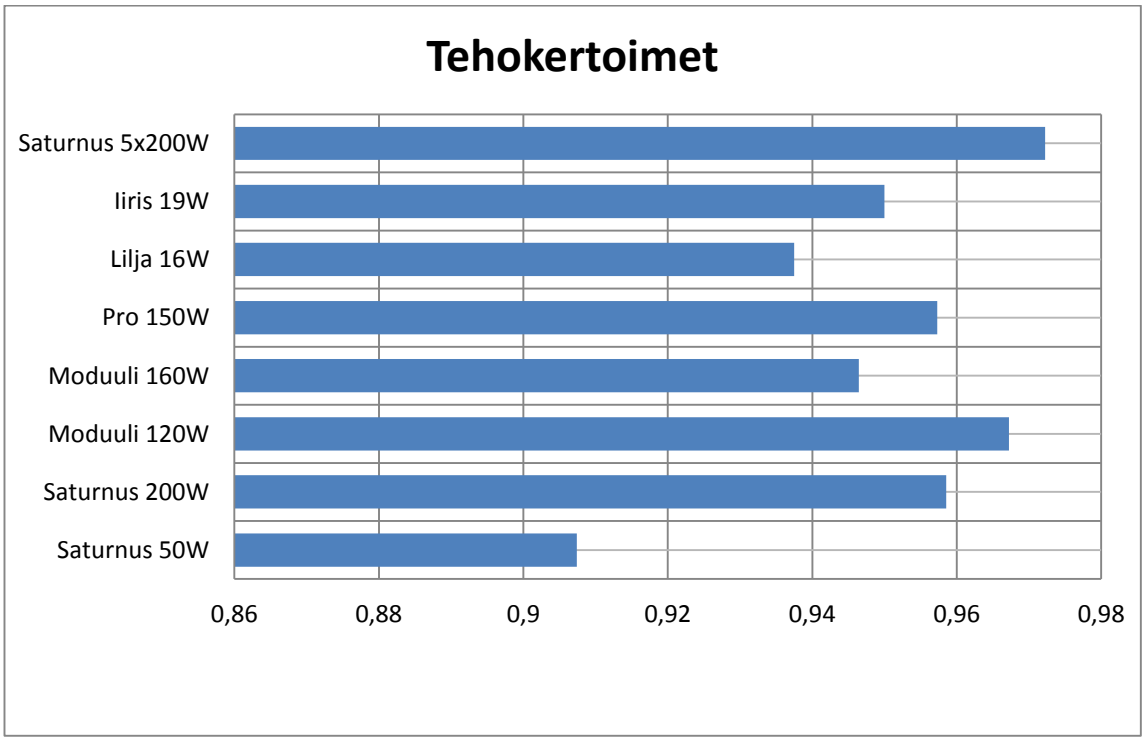



KUVA 9. Fluke 43B -mittalaitteen ilmoittamat tehot ja tehokertoimet PRO 200 W -valaisimesta.

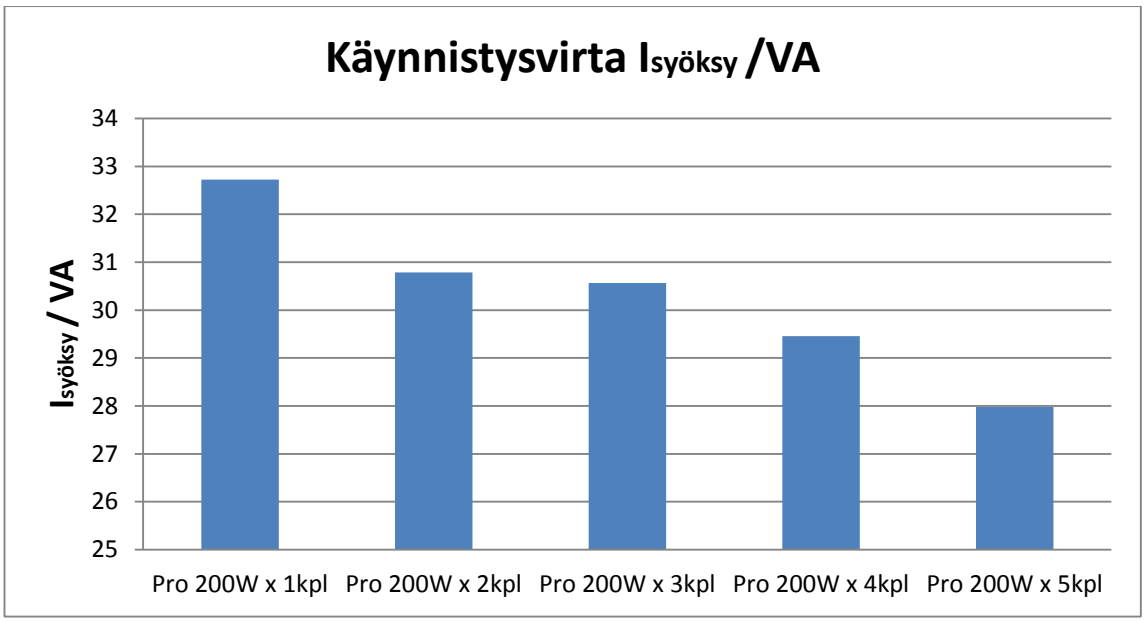



KUVA 10. Käynnistysvirtamittaukset PRO 250 W -valaisimesta Fluke 190 -mittalaitteella.

Kuviossa 18 on esitetty valaisimien tehokertoimet, jotka esittävät pätötehon suhdetta näennäistehoon. X-akselilla nähdään valaisinmalli ja y-akselilla ilmoitetaan tehokertoimen määrä. Alla olevasta kuvio 19:sta nähdään, miten valaisimen sarjaankytketty ryhmä vaikuttaa käynnistysvirtoihin. Kuviossa nähdään vasemmalla asteikko, joka kuvastaa käynnistysvirran määrää per volttiampeeri. Kuviossa havainnollistetaan yksittäisen valaisimen käynnistysvirran määrän suhteellista vähenemistä usean valaisimen ryhmäkytkennöissä.




KUVIO 18. Mitattujen valaisimien tehokertoimet




KUVIO 19. Valaisinten määrän vaikutus ryhmän yksittäisen valaisimen käynnistysvirtaan

Taulukossa 2 on esitetty 230 V:n ja 50 Hz:n mittauksesta saatuja tuloksia. Taulukossa nähdään vasemmalla valaisinmallit, keskimmäisessä sarakkeessa käynnistysvirtapiikin kestoaika mikrosekunteina ja oikealla virtapiikin suuruus ampeereina.

TAULUKKO 2. Mitattujen valaisimien käynnistysvirrat ja virtapiikin kestot

| Valaisin | Piikin kesto (µs) | Virtapiikki (A) |
|---|---|---|
| Pro 100W | 450 | 36 |
| Pro 150W | 400 | 40,3 |
| Pro 200W | 400 | 44 |
| Pro 250W | 480 | 45,6 |
| Pro 500W | 700 | 36,8 |
| | | |
| Saturnus 50W | 600 | 26,4 |
| Saturnus 70W | 600 | 34,4 |
| Saturnus 140W | 520 | 45,6 |
| Saturnus 200W | 480 | 47,8 |
| | | |
| Runkovalaisin 45W | 120 | 28,4 |
| Runkovalaisin 70W | 200 | 34,4 |
| | | |
| Moduuli 80W | 450 | 33 |
| Moduuli 120W | 450 | 35,2 |
| Moduuli 160W | 450 | 43,9 |
| Moduuli 200W | 550 | 48 |
| Moduulihalli 200W | 550 | 48 |
| Moduuli 280W | 540 | 67 |
| | | |
| Kronius 50W | 100 | 48 |
| Kronius 70W | 100 | 67 |
| | | |
| Atex 120W | 380 | 23,2 |
| | | |
| Kajo 30W | 530 | 28 |
| | | |
| Eden 60x60 | 50 | 13 |
| | | |

Taulukosta 3 nähdään 50 Hz:n ja 60 Hz:n mittaustulosten eroavaisuuksia. Ensimmäisessä sarakkeessa nähdään mitatut valaisimet. Toisessa sarakkeessa nähdään 50 Hz:n verkkotaajuudella saadut mittaustulokset. *Inrush* tarkoittaa englanninkielen ammattisanastossa käynnistysvirtaa. Kolmannessa sarakkeessa nähdään mittaustulokset 60 Hz:n verkkotaajuudella. Viimeisessä sarakkeessa on esitetty valmistajan ilmoittamat käynnistysvirran määrät. Muun muassa PRO-sarjan valaisimien virtalähteistä oli saatavilla valmistajan ilmoittamat tekniset tiedot, minkä vuoksi mittaus suoritettiin näillä valaisimilla.

TAULUKKO 3. Valaisimien käynnistysvirrat 50 Hz:n ja 60 Hz:n mittauksissa

| Valaisin | 230V/50Hz Inrush-mittaus (A) | 230V/60Hz Inrush-mittaus (A) | Valmistajan ilmoittamat tulokset (A) |
|---|---|---|---|
| Pro 100W | 36 | 61,3 | 60 |
| Pro 200W | 44 | 64,4 | 65 |
| Pro 250W | 45,6 | 78,6 | 75 |

Taulukossa 4 nähdään Moduulivalaisimilla tehtyjen mittauksien tulokset. Toisessa sarakkeessa on esitetty mittaustulokset, kun LED-kuorma on kytkettynä virtalähteeseen. Kolmannessa sarakkeessa on nähtävillä tulokset, kun LED-kuorma ei ollut kytkettynä virtalähteeseen. Tähän tarkasteluun valittiin Moduulivalaisimet, koska niissä LED-moduulien irrottaminen virtalähteestä on helppoa. Mittauksista voidaan todeta, että kytketty kuorma ei vaikuta käynnistysvirran suuruuteen.

TAULUKKO 4. Valaisimien käynnistysvirrat LED-kuormalla, sekä ilman kuormaa

| | 230V/50Hz | 230V/50Hz |
|---|---|---|
| Valaisin | Kuormalla (A) | Ilman kuormaa (A) |
| Moduuli 120W | 35,2 | 40,8 |
| Moduuli 160W | 43,9 | 38 |
| Moduuli 280W | 67 | 31,2 |
| | | |

Taulukossa 5 nähdään muutamien valaisinmallien mittaustulokset ±10 %:n jännitevaihtelumittauksessa. Valaisinmalli ilmoitetaan ensimmäisessä sarakkeessa ja toisessa sarakkeessa 230 V:n mittauksesta saadut käynnistysvirrat. Kolmannessa sarakkeessa nähdään 207 V:n jännitteellä mitatut tulokset ja viimeisessä, neljännessä sarakkeessa nähdään mittaustulokset 253 V:n jännitteellä.

TAULUKKO 5. Mittausympäristöön syötetyn jännitteen vaikutus valaisimen käynnistysvirtaan

| | 230V/50HZ | 207V/50HZ | 253V/50HZ |
|---|---|---|---|
| Valaisin | Inrush-mittaus (A) | Inrush-mittaus (A) | Inrush-mittaus (A) |
| Pro 100W | 36 | 9,6 | 26,2 |
| Pro 150W | 40,3 | 10,4 | 18 |
| | | | |
| Pro 250W | 45,6 | 22,4 | 26 |
| Pro 500W | 36,8 | 33 | 35,8 |
| | | | |
| Saturnus 70W | 34,4 | 16 | 28 |
| Saturnus 140W | 45,6 | 24,8 | 32,4 |
| Saturnus 200W | 47,8 | 15,6 | 13,2 |
| | | | |
| Runkovalaisin 70W | 34,4 | 25,6 | 31,2 |
| | | | |
| Moduuli 120W | 35,2 | 16 | 24,6 |
| Moduuli 160W | 43,9 | 12,4 | 22,8 |

# 5 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa lisää tietoa LED-valaisimista ja niiden ominaisuuksista. Työn tarkoituksena oli laatia LED-valaisimien käynnistysvirroista kuormitustaulukko sekä luoda mittausmenetelmä ja valmis laskentakaava, jonka avulla on mahdollista mitata myös uusia valaisimia. Kuormitustaulukkoa (liite 2.) varten mitattiin LED-valaisimien käynnistysvirtoja, sekä muita ominaisuuksia, kuten LED-valaisimien tehokertoimia, sekä virran yliaaltoja. Varsinaisten mittauksien yhteydessä mitattiin ja analysoitiin myös, miten mittauksien tulokset muuttuvat kun syötetään mittauspiiriin verkkojännitettä 60 Hz:n taajuudella. Todettiin, että taajuuden kasvaessa, myös käynnistysvirrat kasvoivat suhteessa.

## 5.1 Tulosten tarkastelu

Mittauksissa kävi ilmi, että LED-valaisimet ottavat valaisinmallista riippuen käynnistyshetkellä 20–60 -kertaisen virran normaalikuormitukseen verrattuna. Mittaus tuli tehdä silloin, kun valaisin oli täysin varaukseton, koska varaukseton valaisin ottaa suuremman käynnistysvirran kuin sellainen, joka on vielä sähköisesti varautunut edellisen käynnistyksen jäljiltä. Mikäli mitattavan valaisimen virtalähteen sisäiset komponentit eivät olleet purkautuneet täysin tyhjiksi oli käynnistysvirta vain 5–10 -kertainen normaalikuormitukseen verrattuna. Esimerkiksi teollisuushalleissa valaisimet käynnistetään käytännössä aina niin, että ne ovat käynnistyshetkellä sähköisesti varauksettomia. Tämän vuoksi on tärkeää, että kuormitustaulukossa ilmoitetut kappalemäärät on laskettu suurimman mahdollisen käynnistysvirran mukaan.

Mittauksissa havaittiin, ettei virtalähteen perään kytketyllä kuormalla ollut vaikutusta käynnistysvirran mittaustuloksiin. Tämä johtunee siitä, että virtalähteessä olevat kondensaattorit latautuvat täyteen käynnistyshetkellä aiheuttaen käynnistysvirtapiikin, mutta LED-paneelissa näitä kondensaattoreita ei ole, eikä paneeli näin vaikuta käynnistysvirran suuruuteen.

Mittauksissa havaittiin myös, että usean valaisimen ryhmässä suhteelliset käynnistysvirrat ovat pienempiä, kun tarkastellaan yksittäistä valaisinta muiden ryhmään kuuluvien

valaisimien joukossa. Useiden valaisinten ryhmässä käynnistysvirran suuruus ei siis täysin korreloi valaisinten määrän kanssa.

## 5.2 Opinnäytetyön luotettavuus

Opinnäytetyössä käytettyjä mittausmenetelmiä voidaan pitää luotettavina, koska mittaukset suoritettiin asianmukaisilla ja luotettavilla mittalaitteilla. Mittalaitteet ovat myös standardoituja. Mittausten luotettavuutta lisäävät myös standardoidut johdonsuojakatkaisijat. Kuormitustaulukon laadinnassa käytetyssä kaavassa otetaan huomioon ABB:n käytetyimmän pienjännitetuotteiden johdonsuojakatkaisijamallin teknisiä tietoja. Kaikki ABB:n tuotteet, myös johdonsuojakatkaisijat, noudattavat standardeja.

Kuormitustaulukon luotettavuutta lisää se, että sen laadintaan tarvittavat kaavat ja malli mittausten tekemiseen saatiin yritykseltä, joka toimittaa virtalähteitä maailmanlaajuisesti. Kyseinen yritys toimii tällä samalla menetelmällä myös omien virtalähteidensä mittauksissa ja kuormitustaulukoinnissa ja voidaan olettaa, että tämän suuren yrityksen toimintatapa on pätevä.

Työn teki haasteelliseksi riittävän lähdeaineiston puuttuminen. Aiheesta on tehty hyvin vähän tutkimuksia, eikä tietoa löydy kovin helposti. Monien yhteydenottojen SESKO:n, sekä virtalähdetoimittajan edustajiin auttoivat työn etenemistä.

LED-valaisimien mittaukset osoittautuivat haasteellisiksi. Ensimmäiset mittaukset, jotka suoritettiin kesällä 2014, osoittautuivat virheellisiksi, sillä ne oli mitattu väärällä mittalaitteella. Ensimmäisissä mittauksissa käytettiin Fluke 43B -sähkönlaadun analysaattoria. Todettiin kuitenkin, että mittalaite on liian hidas toistaakseen nopeita ja suuria virtoja. Kyseisen mittauksen mittaustulokset eivät kuitenkaan kaikki olleet turhia. Sähkönlaadun analysaattorilla saatiin mitattua valaisimien käynnistysvirrat, tehot sekä jännitteen ja virran yliaallot. Mittauksissa saatiin selville LED-valaisimien kuluttamat näennäis-, pätö- ja loistehot.

Valaisimien käynnistysvirrat mitattiin uudelleen toukokuussa 2015. Näissä toisissa mittauksissa käytettiin Fluke 190 -oskilloskooppia, jolla on mahdollista mitata suuria virtoja

lyhyessä ajassa. Näin valaisimien käynnistysvirtojen määrät saatiin mitattua mielekkäästi. Mittauksista saatuja tuloksia pystytään jälkeenpäin tarkastelemaan FlukeView-ohjelmistolla mikrosekunnin tarkkuudella, kun Fluke 43B -mittalaitteella mitattuja tuloksia pystyy tarkastelemaan vain 0,2 sekunnin tarkkuudella.

LED-valaisimien mittaaminen oli melko työlästä, ja mittauksiin kului aikaa monia kymmeniä tunteja. Mitattavia valaisimia oli yli kaksikymmentä, ja koska jokaisesta valaisimesta mitattiin sama mittaus vähintään kolme kertaa, kului aikaa paljon. Mittauksia ei myöskään voinut tehdä aivan peräkkäin, sillä virtalähteiden komponenttien latauksen täytyi antaa purkautua mittausten välillä. Jos näin ei olisi toimittu, olisi mittauksista saatu virheellisiä tuloksia. Virtalähteiden sisällä on yleensä pieni punainen diodi, jonka tarkoitettu juuri tähän komponenttien purkausvaiheeseen. Punainen diodi saa sähkönsä komponenteilta ja tyhjentää virtalähteen. Kun diodi sammuu, on virtalähteen lataus purkautunut. Joissain virtalähteissä ei ollut mahdollista purkaa ulkokoteloa pois, eikä diodia ollut mahdollista nähdä. Näiden virtalähteiden kohdalla tyydyttiin vain odottamaan muiden mittausten perusteella arvioitu riittävän pitkä aika mittausten välillä.

Kustakin valaisimesta täytyi ottaa vähintään kolme mittausta, koska käynnistysvirran suuruus vaihtelee riippuen siitä, missä kohtaa siniaaltoa valaisin käynnistetään. Jos valaisin käynnistetään jännitteen kulman ollessa nolla, saattaa mittaus näyttää käynnistysvirran määräksi vain muutaman ampeerin verran. Oikeat tulokset saadaan, kun valaisin käynnistetään jännitteen kulman ollessa suurin tai pienin mahdollinen. Tätä vaihetta mittauksessa helpotettiin kytkemällä Fluke 190 -oskilloskoopin yhteen kanavaan jännitettä mittaavat johtimet. Kun valaisimen käynnistysvirta mitattiin, nähtiin mittalaitteen ruudulta virran kuvaajan lisäksi myös jännitteen aaltomuotoinen kuvaaja. Jännitteen mittauksesta oli hyötyä, koska kuvaajasta näki, oliko jännitteen vaihekulma suuri vai pieni. Mikäli kulma oli suuri, voitiin päätellä, että mittaus oli luotettava.

Koska vain muutamista valaisinmalleista olivat käynnistysvirrat valmiiksi tiedossa, oli loput valaisimet mitattava itse. Virtalähdetoimittajalta saatiin ohjeistus mittausten suorittamiseen. Ennen mittauksia haluttiin varmistua siitä, että mittausmenetelmät ovat luotettavia. Tämä todettiin mittaamalla valaisimet, joista tekniset tiedot olivat valmiiksi saatavilla ja vertaamalla saatuja tuloksia virtalähdetoimittajan ilmoittamiin teknisiin tietoihin. Testimittauksissa ei aluksi saatu samoja tuloksia kuin virtalähdetoimittaja ilmoitti. Usei-

den testimittausten jälkeen havaittiin, että yhtenevät tulokset saatiin suorittamalla mittaukset 50Hz:n sijaan 60Hz:lla. Tästä pääteltiin, että koska kyseinen yritys toimittaa virtalähteitä maailmanlaajuisesti, ovat ilmoitetut käynnistysvirrat paikkansapitäviä sekä 50Hz:n että 60Hz:n alueilla.

Kuormitustaulukkoon olisi saatu kaikista tarkimmat tulokset niin, että kaikista valaisinmalleista olisi kokeilemalla testattu, kuinka monta samaan ryhmään kytkettyä valaisinta johdonsuojakatkaisija kestää laukeamatta. Tämä olisi kuitenkin käytännössä ollut kohtuuttoman työlästä ja kallista toteuttaa, sillä valaisimia olisi tarvittu jopa useita satoja. Kuormitustaulukossa ilmoitettuja kappalemääriä voidaan pitää kuitenkin luotettavina, sillä kaikki desimaalilukuiset tulokset on pyöristetty alaspäin ja laskennassa on huomioitu valaisinten suurin mahdollinen käynnistysvirta.

Työn tekeminen olisi ollut helppoa, jos kaikkien virtalähteiden käynnistysvirrat ja käynnistysvirtapiikkien kestoajat olisivat olleet valmiiksi tiedossa. Tällöin kuormitustaulukko olisi ollut mahdollista laatia ilman mittauksia. Näin työ olisi jäänyt kuitenkin melko suppeaksi, eikä sitä ehkä olisi ollut niin mielekästä tehdä.

## 5.3 Kehittämisehdotukset

Koska LED-valaisimista on tehty vasta vähän tutkimuksia, tuli jatkotutkimusehdotuksiakin runsaasti. Voisi olla mielenkiintoista tutkia LED-valaisimien käyttäytymistä ryhmässä. Koska LEDit ottavat perinteisiin valonlähteisiin verrattuna suuren määrän käynnistysvirtaa, voisi olla mielekästä tutkia, kuinka olisi mahdollista pienentää LED-valaisimien käynnistysvirtoja.

Mielenkiintoista olisi myös saada tietää, miten LED-valaisimen ominaisuudet ja käynnistysvirrat muuttuvat, kun valaisin asennetaan esimerkiksi 500 metrin päähän sähkökeskuksesta. Lisäksi myös pienempitehoisista sisävalaisimista voisi tehdä kuormitustaulukon eri rakennusautomaatiojärjestelmille ja tutkia, miten käynnistysvirrat vaikuttavat automaatiojärjestelmien I/O-kortteihin.

**LÄHTEET**

Fagerhult. 2014. Valaistustietoutta, LED. Luettu 25.12.2014. www.fagerhult.com

Fluke Corporation. Fluke 43B Power Quality Analyzer (sähkönlaadun analysaattori). Luettu 14.1.2015. www.fluke.com

Glamox. 2013. LED-info. Kymmenen asiaa, jotka sinun tulee tietää ledeistä. Luettu 7.2.2015. www.glamox.com

Green Creative. Why choose LED. Luettu 26.12.2014. gc-lighting.com

Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos. 1995. Sähkö: Tasasuuntaus. LUONTI-projekti. Luettu 11.1.2015. www.helsinki.fi

Honkanen, H. Valaistustekniikka. Luettu 31.12.2014. gallia.kajak.fi

Jahkonen, J. 2009. Led-valaisimen jäähdytys. Helsingin Teknillinen Yliopisto. Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta. Diplomityö.

Lutron. 2010. Dimming LEDs via PWM and CCR. Luettu 12.2.2015. www.lutron.com

Mean Well. Products. LED Drivers. Luettu 27.12.2014. www.meanwell.com

Penttinen, A. 2008. Tehokerroinkorjatun hakkuriteholähteen toteutusvaihtoehdot. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Diplomityö.

Reiman, M. 2002. Teholähdepiirilevyn suunnittelu akkukäyttöiseen laitteeseen. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Sähkötekniikan osasto. Diplomityö.

Rozenblat, L. 2003. SMPS Switchin power supply design basics. Luettu 1.1.2015. www.smps.us

SFS-EN 50160 -standardi. 2010. Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 62612 -standardi. 2013. LED-lamput. Turvallisuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Suomen Valoteknillinen seura. LED-valaisimien suunnittelu. Luettu 31.12.2014. www.valosto.com

Winled Oy. 2014. Tuotteet. Luettu 2.1.2015. www.winled.fi

Zhang, J. Jovanovic, M. & Lee, F. 1999. Comparison Between CCM Single-Stage And Two-Stage Boost PFC Converters. Luettu 15.1.2015. www.deltartp.com

# LIITTEET

Liite 1. Mean Well HLG240H-30A-liitäntälaitteen tekniset tiedot (Mean Well 2014)

MEAN WELL

240W Single Output Switching Power Supply **HLG-240 series**

■ Features :

- Universal AC input / Full range
- Built-in active PFC function
- Protections: Short circuit / Over current / Over voltage / Over temperature
- Cooling by free air convection
- OCP point adjustable through output cable or internal potentiometer
- IP67 / IP65 design for indoor or outdoor installations
- Three in one dimming function (1~10Vdc or PWM signal or resistance)
- Suitable for LED lighting and street lighting applications
- Compliance to worldwide safety regulations for lighting
- Suitable for dry / damp / wet locations
- 5 years warranty (Note.10)

SELV IP65 IP67 CB CE

HLG-240-12[A] Blank : IP67 rated. Cable for I/O connection.
A : IP65 rated. Output voltage and constant current level can be adjusted through internal potentiometer.
B : IP67 rated. Constant current level adjustable through output cable with 1~10Vdc or 10V PWM signal or resistance.
C : Terminal block for I/O connection. Output voltage and constant current level can be adjusted through internal potentiometer.
D (option, safety pending) : IP67 rated. Timer dimming function, contact MEAN WELL for details.

## SPECIFICATION

| MODEL | | HLG-240-12[ ] | HLG-240-15[ ] | HLG-240-20[ ] | HLG-240-24[ ] | HLG-240-30[ ] | HLG-240-36[ ] | HLG-240-42[ ] | HLG-240-48[ ] | HLG-240-54[ ] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OUTPUT | DC VOLTAGE | 12V | 15V | 20V | 24V | 30V | 36V | 42V | 48V | 54V |
| | CONSTANT CURRENT REGION Note.4 | 6 ~ 12V | 7.5 ~ 15V | 10 ~ 20V | 12 ~ 24V | 15 ~ 30V | 18 ~ 36V | 21 ~ 42V | 24 ~ 48V | 27 ~ 54V |
| | RATED CURRENT | 16A | 15A | 12A | 10A | 8A | 6.7A | 5.72A | 5A | 4.45A |
| | RATED POWER | 192W | 225W | 240W | 240W | 240W | 241.2W | 240.24W | 240W | 240.3W |
| | RIPPLE & NOISE (max.) Note.2 | 150mVp-p | 150mVp-p | 150mVp-p | 150mVp-p | 200mVp-p | 250mVp-p | 250mVp-p | 250mVp-p | 350mVp-p |
| | VOLTAGE ADJ. RANGE Note.6 | 11.2 ~ 12.8V | 14 ~ 16V | 18.8 ~ 21.4V | 22.4 ~ 25.6V | 28 ~ 32V | 33.5 ~ 38.5V | 39 ~ 45V | 44.8 ~ 51.2V | 50 ~ 57V |
| | CURRENT ADJ. RANGE | Can be adjusted by internal potentiometer A type and C type only | | | | | | | | |
| | | 8 ~ 16A | 7.5 ~ 15A | 6 ~ 12A | 5 ~ 10A | 4 ~ 8A | 3.3 ~ 6.7A | 2.86 ~ 5.72A | 2.5 ~ 5A | 2.23 ~ 4.45A |
| | VOLTAGE TOLERANCE Note.3 | ±2.5% | ±2.0% | ±1.0% | ±1.0% | ±1.0% | ±1.0% | ±1.0% | ±1.0% | ±1.0% |
| | LINE REGULATION | ±0.5% | ±0.5% | ±0.5% | ±0.5% | ±0.5% | ±0.5% | ±0.5% | ±0.5% | ±0.5% |
| | LOAD REGULATION | ±2.0% | ±1.5% | ±1.0% | ±0.5% | ±0.5% | ±0.5% | ±0.5% | ±0.5% | ±0.5% |
| | SETUP, RISE TIME Note.8 | 2500ms, 80ms at full load 230VAC / 115VAC | | | | | | | | |
| | HOLD UP TIME (Typ.) | 15ms at full load 230VAC / 115VAC | | | | | | | | |
| INPUT | VOLTAGE RANGE Note.5 | 90 ~ 264VAC 127 ~ 373VDC | | | | | | | | |
| | FREQUENCY RANGE | 47 ~ 63Hz | | | | | | | | |
| | POWER FACTOR (Typ.) | PF>0.98/115VAC, PF>0.95/230VAC at full load (Please refer to "Power Factor Characteristic" curve) | | | | | | | | |
| | TOTAL HARMONIC DISTORTION | THD< 20% when output loading ≧50% at 115VAC/230VAC input and output loading ≧ 75% at 277VAC input | | | | | | | | |
| | EFFICIENCY (Typ.) | 90% | 90% | 91.5% | 92.5% | 92.5% | 92.5% | 92.5% | 93% | 93.5% |
| | AC CURRENT (Typ.) | 4A / 115VAC 2A / 230VAC | | | | | | | | |
| | INRUSH CURRENT (Typ.) | COLD START 75A(twa=570μs measured at 50% Ipeak) at 230VAC | | | | | | | | |
| | LEAKAGE CURRENT | <0.75mA / 240VAC | | | | | | | | |
| PROTECTION | OVER CURRENT Note.6 | 95 ~ 108% | | | | | | | | |
| | | Protection type : Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed | | | | | | | | |
| | SHORT CIRCUIT | Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed | | | | | | | | |
| | OVER VOLTAGE | 13.5 ~ 18V | 17.5 ~ 21.5V | 23.5 ~ 27.5V | 27 ~ 34V | 33 ~ 39V | 43 ~ 49V | 48 ~ 54V | 55 ~ 63V | 60 ~ 67V |
| | | Protection type : Shut down and latch off o/p voltage, re-power on to recover | | | | | | | | |
| | OVER TEMPERATURE | Shut down o/p voltage, recovers automatically after temperature goes down | | | | | | | | |
| ENVIRONMENT | WORKING TEMP. | -40 ~ +70℃ (Refer to "Derating Curve") | | | | | | | | |
| | WORKING HUMIDITY | 20 ~ 95% RH non-condensing | | | | | | | | |
| | STORAGE TEMP., HUMIDITY | -40 ~ +80℃, 10 ~ 95% RH | | | | | | | | |
| | TEMP. COEFFICIENT | ±0.03%/℃ (0 ~ 50℃) | | | | | | | | |
| | VIBRATION | 10 ~ 500Hz, 5G 12min./1cycle, period for 72min. each along X, Y, Z axes | | | | | | | | |
| SAFETY & EMC | SAFETY STANDARDS Note.7 | UL 1012, CAN/CSA-C22.2 No. 107.1-01, UL8750, CSA C22.2 No. 250.0-08, TUV EN61347-1, EN61347-2-13 independent (except for HLG-240C type), UL 60950-1, UL8750, TUV EN60950-1, IP65 or IP67, J61347-1, J61347-2-13 approved | | | | | | | | |
| | WITHSTAND VOLTAGE | I/P-O/P:3.75KVAC I/P-FG:2KVAC O/P-FG:0.5KVAC | | | | | | | | |
| | ISOLATION RESISTANCE | I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 25℃/ 70% RH | | | | | | | | |
| | EMC EMISSION | Compliance to EN55015, EN55022 (CISPR22) Class B, EN61000-3-2 Class C (≧50% load), EN61000-3-3 | | | | | | | | |
| | EMC IMMUNITY | Compliance to EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, EN61547, EN55024, light industry level (surge 4KV), criteria A | | | | | | | | |
| OTHERS | MTBF | 207.9K hrs min. MIL-HDBK-217F (25℃) | | | | | | | | |
| | DIMENSION | 244.2*68*38.8mm (L*W*H)(HLG-240-Blank/A/B) 251*68*38.8mm (L*W*H)(HLG-240-C) | | | | | | | | |
| | PACKING | 1.3Kg; 12pcs/16.6Kg/0.84CUFT(HLG-240-Blank/A/B) 1.23Kg; 12pcs/15.8Kg/1.16CUFT(HLG-240-C) | | | | | | | | |
| NOTE | 1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25℃ of ambient temperature.<br>2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor.<br>3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.<br>4. Please refer to "DRIVING METHODS OF LED MODULE".<br>5. Derating may be needed under low input voltages. Please check the static characteristics for more details.<br>6. A type and C type only.<br>7. Safety and EMC design refer to EN60598-1, subject 8750(UL), CNS15233, GB7000.1, FCC part15.<br>8. Length of set up time is measured at cold first start. Turning ON/OFF the power supply may lead to increase of the set up time.<br>9. The power supply is considered as a component that will be operated in combination with final equipment. Since EMC performance will be affected by the complete installation, the final equipment manufacturers must re-qualify EMC Directive on the complete installation again.<br>10. Refer to warranty statement. | | | | | | | | | |

File Name:HLG-240-SPEC 2014-01-20

Liite 2. Valaisimien kuormitustaulukko. (Winled Oy 2014)

| VALAISIN | NIMELLISTEHO | KOKONAISTEHO | TEHOKERROIN | SUURIN SALLITTU VALAISIMIEN MÄÄRÄ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | B10 | C10 | B16 | C16 | B25 | C25 |
| Eden 60x60 | 40W | 43W | 0,93 | 33 | 33 | 53 | 53 | 83 | 83 |
| Eden 30x120 | 42W | 45W | 0,93 | 33 | 33 | 53 | 53 | 83 | 83 |
| Runkovalaisin 45W | 44W | 48W | 0,91 | 12 | 12 | 20 | 20 | 31 | 31 |
| Runkovalaisin 70W | 67W | 71W | 0,94 | 11 | 12 | 18 | 20 | 28 | 31 |
| Moduulivalaisin 80W | 79W | 81W | 0,97 | 5 | 9 | 8 | 14 | 13 | 22 |
| Moduulivalaisin 120W | 118W | 122W | 0,97 | 5 | 8 | 8 | 13 | 12 | 21 |
| Moduulivalaisin 160W | 160W | 168W | 0,95 | 4 | 6 | 6 | 10 | 10 | 17 |
| Moduulivalaisin 200W | 198W | 208W | 0,95 | 3 | 5 | 4 | 8 | 7 | 12 |
| Moduulivalaisin 280W | 279W | 290W | 0,96 | 2 | 3 | 3 | 5 | 5 | 8 |
| Pro 150W | 147W | 151W | 0,97 | 5 | 8 | 8 | 13 | 12 | 21 |
| Pro 200W | 192W | 199W | 0,96 | 4 | 7 | 7 | 12 | 11 | 19 |
| Pro 250W | 250W | 259W | 0,96 | 3 | 5 | 5 | 8 | 8 | 13 |
| Pro 500W | 500W | 511W | 0,97 | 3 | 5 | 4 | 8 | 7 | 12 |
| Saturnus 50W | 49W | 54W | 0,91 | 5 | 9 | 8 | 14 | 13 | 22 |
| Saturnus 70W | 68W | 74W | 0,92 | 4 | 6 | 6 | 11 | 10 | 17 |
| Saturnus 140W | 137W | 145W | 0,94 | 3 | 5 | 5 | 8 | 8 | 13 |
| Saturnus 200W | 208W | 217W | 0,96 | 3 | 5 | 5 | 8 | 8 | 13 |
| Atex 120W | 117W | 127W | 0,95 | 9 | 12 | 14 | 20 | 22 | 31 |
| Kajo 30W | 30W | 32W | 0,94 | 5 | 8 | 8 | 14 | 13 | 22 |
| Kronius 50W | 49W | 52W | 0,92 | 12 | 31 | 20 | 20 | 31 | 31 |
| Kronius 70W | 68W | 74W | 0,92 | 12 | 31 | 20 | 20 | 31 | 31 |