

# LED-Valaisimen suunnittelu

Mikko Uotila

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2021

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma  
Sähkövoimatekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma  
Sähkövoimatekniikka

UOTILA, MIKKO:  
LED-valaisimen suunnittelu

Opinnäytetyö 51 sivua, joista liitteitä 16 sivua  
Toukokuu 2021

---

Opinnäytetyö tehtiin I-Valo Oy:n toimeksiantona. Työn tarkoituksena oli uudelleen suunnitella vanha kuristin- ja sytytintekniikkaa käyttävä ja monimetallilampulla varustettu valaisin LED-tekniikkaa käyttäen. Tavoitteena oli suunnitella vastaavalla valoteholla varustettu mutta energiatehokkaampi valaisin. Valaisin pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman pitkäikäiseksi ja ekologisuus huomioiden varustamaan vaihdettavalla tekniikalla.

Kehitystyön tuloksena saatiin vastaavalla valoteholla varustettu LED-valaisin. Valaisimen runko-osa säilytettiin suurelta osalta ennallaan. Valaisimen valaisinosa suunniteltiin kokonaan uudestaan, ottaen huomioon LEDin aiheuttama lämpökuorma, heijastimen muutokset ja sähkötekniset ominaisuudet.

LED-valaisimen suunnittelu oli varsin moniulotteinen tehtävä. Kehitystyön tuloksena suunniteltu valaisin on toteutukseltaan sellainen kuin työn tilaaja oli toivonut. Sähköteknisesti kaikki edellytykset valaisimen tuotantoon on olemassa. Työn aikana tehty mekaaninen suunnittelu jatkuu kehitysprojektina opinnäytetyön jälkeen. Työ oli henkilökohtaisesti sopivan haastava ja mielenkiintoinen.

Tämän opinnäytetyön liitteet ovat salassa pidettävää materiaalia, ja ne on poistettu julkaistavasta opinnäytetyöstä.

## **ABSTRACT**

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

UOTILA, MIKKO:  
Designing of LED-Luminaire

Bachelor's thesis 51 pages, appendices 16 pages  
May 2021

---

This thesis was made for I-Valo Oy. The purpose of this thesis was to design a LED-luminaire to replace an old ballast and ignitor technique using luminaire, equipped with a metal halide lamp. The goal was to design a luminaire with a similar luminous flux, but higher energy efficiency. The luminaire design was intended to be ecofriendly and have a long lifetime.

As a result of this thesis a luminaire with similar luminous flux was achieved. The base frame of the luminaire was mainly kept as it is. The light part of the frame went through a design process. Designing was done on the terms of reflector design, thermal stress and electrical power caused by LED.

The design of the LED luminaire was quite a multidimensional task. The luminaire designed as a result of the development work has the implementation that the customer had wanted. Electrotechnically, all the conditions for luminaire production are in place. The mechanical design done during the work continues as a development project after this thesis.

The appendices of this thesis are confidential material and have been removed from the public version of the thesis.

---

Key words: led-luminaire led lighting technology lighting engineering

## SISÄLLYS

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | JOHDANTO .....                         | 6  |
| 2 | LÄHTÖKOHDAT .....                      | 7  |
|   | 2.1 I-Valo Oy .....                    | 7  |
|   | 2.2 Päivitettävä valaisin.....         | 8  |
| 3 | LED-VALAISTUSTEKNIikka .....           | 10 |
|   | 3.1 LEDit valaisinvalmistuksessa ..... | 10 |
|   | 3.2 LED yleisesti .....                | 11 |
|   | 3.2.1 LED-siru .....                   | 11 |
|   | 3.2.2 COB-LED .....                    | 12 |
|   | 3.2.3 LED-moduuli.....                 | 14 |
|   | 3.2.4 LED-valokone.....                | 14 |
|   | 3.3 MacAdam-arvo, SDCM .....           | 15 |
|   | 3.4 Värilämpötila, CCT .....           | 17 |
|   | 3.5 Värintoistoindeksi, CRI .....      | 18 |
|   | 3.6 Liitäntälaitteet.....              | 19 |
|   | 3.6.1 Vakiojännite liitäntälaite ..... | 19 |
|   | 3.6.2 Vakiovirta liitäntälaite.....    | 20 |
| 4 | UUDEN VALAISIMEN RAKENNE .....         | 21 |
|   | 4.1 Runko.....                         | 22 |
|   | 4.2 Valaisinosa.....                   | 24 |
|   | 4.2.1 Heijastin.....                   | 24 |
|   | 4.2.2 LED .....                        | 25 |
|   | 4.2.3 Liitäntälaite .....              | 25 |
|   | 4.2.4 Runko .....                      | 26 |
|   | 4.3 Sähköinen mitoitus.....            | 26 |
|   | 4.4 LEDin elinikä .....                | 28 |
|   | 4.5 Sähkötekniset dokumentit.....      | 29 |
| 5 | TULOKSET .....                         | 30 |
| 6 | POHDINTA .....                         | 31 |
|   | LÄHTEET .....                          | 32 |
|   | LIITTEET .....                         | 34 |

## ERITYISSANASTO

|                    |  |
|--------------------|--|
| CCT                | Correlated colour temperature, ekvivalenttinen värilämpötila.  |
| CIE                | Commission Internationale de l'Eclairage, Kansainvälinen valaistuskomissio.                                |
| CRI                | Colour Rendering Index, CIE:n yleinen värintoistoindeksi $R_A$ .   |
| IP-Luokka          | Ingress Protection, Järjestelmä sähkölaitteiden ja laitekoteloiden tiiviyyden määrittämiseksi.             |
| LED                | Light Emitting Diode, Hohtodiodi.  |
| LUKSI              | Valovoimaa mittaava yksikkö, lx  |
| LUMEN              | Valovirtaa mittaava yksikkö, lm  |
| MONIMETALLI-LAMPPU | Kaasupurkauslamppu, jonka valontuotto perustuu sen purkausputkessa käytettyyn usean eri metallin seokseen. |
| $R_{j-c}$          | Lämpöresistanssi, °C/W   |
| SDCM               | Standard Deviation of Colour Rendering, MacAdamin ellipsi.   |
| $T_a$              | Ambient Temperature, Ympäristön lämpötila, °C  |
| $T_c$              | Case Temperature, Suurin sallittu pintalämpötila, °C   |
| $T_j$              | Junction Temperature, Liitoslämpötila, °C  |

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin I-Valo Oy:lle toimeksiantona. Työn tarkoituksena oli uudelleen suunnitella vanha kuristin- ja sytytintekniikkaa käyttävä ja monimetallilampulla varustettu valaisin LED-tekniikkaa käyttäen. Tavoitteena on suunnitella vastaavalla valoteholla varustettu, mutta huomattavasti energiatehokkaampi valaisin. Valaisin pyritään suunnittelemaan mahdollisimman pitkäikäiseksi ja ekologisuus huomioiden varustamaan vaihdettavalla tekniikalla.

Työn kohteena olevan valaisimen yleisimmät käyttökohteet ovat esimerkiksi paperikoneen kuivaussylintereiden valaistus, paperikoneen märkápään ja paperirainan valaistus, ulkovalaistus, logo- ja mainosvalaistus, sekä kaikki kohteet, mitkä vaativat erittäin kapeaa ja pistemäistä valonjakoa.

Monimetallivalaisimia on edelleen käytössä maailmassa satojatuhansia, mutta teknologian kehittyessä, LED-valonlähteet ja valaisimet ovat hiljalleen nousseet eniten käytetyksi tekniikaksi. Energian säästön, pidemmän käyttöiän ja matalampien kunnossapitokustannusten ollessa yhä määräävämpiä tekijöitä valaisimien valinnassa. Suurimmat monimetalli-, elohopeahöyry-, suurpainenatrium-, ja kaasupurkauslampputeknologian valmistajat ovat pääsääntöisesti ilmoittaneet kyseisten tuotteiden valmistuksen lopettamisesta maailmanlaajuisesti.

## 2 LÄHTÖKOHDAT

### 2.1 I-Valo Oy

I-Valo Oy on suomalainen, kansainväliseen Fagerhult -konserniin kuuluva valaisimia valmistava yritys, jonka päätoimipaikka ja valaisintehtas sijaitsevat Iittalassa. Yritys on valmistanut valaisimia jo vuodesta 1971 alkaen ja sen juuret ovat tunnetussa Iittalan lasitehtaassa. (I-Valo Oy. Yritys. 2016.) Yrityksen liikevaihto on n.10M€. Fagerhult-konserni kehittää ja valmistaa valaisimia kotitalouksiin ja teollisuuteen, ulko- ja sisätiloihin. Konserniin kuuluu 12 eri tuotemerkkiä 28:ssa eri maassa. (Fagerhult Group 2020.) I-Valon tuotteita menee vientiin maailmanlaajuisesti ja merkittävä osa yrityksen tuotannosta myydään ulkomaille. I-Valon tuotevalikoima koostuu pääasiassa teollisuusvalaisimista, mutta yrityksessä valmistetaan jonkin verran valaisimia myös koteihin ja julkisiin tiloihin. I-Valon arvot lähtevät ihmisistä, asiakaslähtöisyydestä ja jatkuvan parantamisen ajatusmallista. (I-Valo Oy. Ura I-Valolla. 2016.)

I-Valon tuotantoteknologia tekee mahdolliseksi vakiotuotteiden, erilaisten yksilöllisten ja projektiluonteisten tuotevariaatioiden tuottamisen kilpailukykyisin hinnoin. Valaisimet ja oheistuotteet, kuten kannakkeet, suunnitellaan ottaen huomioon erityisesti tilaajan tarve. Tärkeänä suunnittelun osana on tuotteiden energiatehokkuus, kestävyys, visuaalisuus ja käyttöikä. (I-Valo Oy. Yritys. 2016.)

I-Valossa on käytössä sertifioidut laatu- ja ympäristöjärjestelmät SFS ISO 9001:2015 sekä SFS ISO 14001:2015. I-Valolle asiakkaan luottamus on tärkeää ja yrityksen toiminta pyrkiikin synnyttämään tunteen, että asiakkaalle toimitetaan turvallisia, pitkäikäisiä tuotteita, jotka todella vastaavat tarpeeseen, johon ne on tilattu. I-Valo kuuluu myös Rinki-pakkauskierrätys järjestelmän piiriin. (I-Valo Oy. Yritys. 2016.)

I-Valon eettiset periaatteet määrittellään Fagerhult-konsernin yhteisessä eettisessä säännöstössä, joka määrittää miten yrityksen tulee toimia (I-Valo Oy. Yritys. 2016). "Fagerhult Code of Conduct" määrittelee koko konsernin eettiset periaatteet ja toimintatavat, joilla ne saavutetaan. Eettisen säännöstön tärkeimmät teemat ovat lakien ja sääntöjen noudattaminen. Tärkeässä asemassa ovat myös

ihmisoikeudet, yhdenvertaisuus, työolot ja ympäristöasiat. (Fagerhult Group 2019.)

I-Valo kantaa vastuunsa ympäristöstä tuotteiden energiatehokkaan käytön lisäksi Fit for the Future -konseptillaan, joka kannattaa ekologisuutta ja jonka piirissä olevat tuotteet ovat kuluvilta osiltaan päivitettävissä uusiin. Konseptilla minimoidaan syntyvän jätteen määrää ja mahdollistetaan pitkä käyttöikä. (I-Valo Oy. Ura I-Valolla. 2016.)

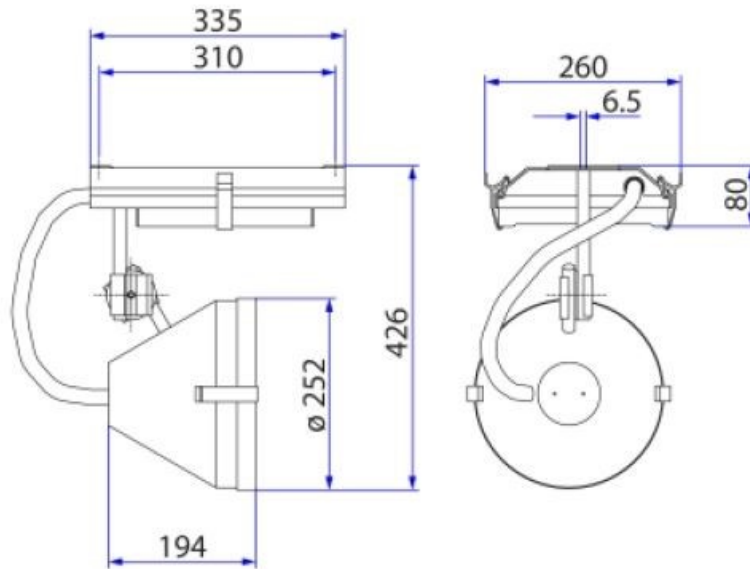
## 2.2 Päivitettävä valaisin

Kehityksen kohteena oleva valaisin (kuva 1) on kapeakeilaisella monimetallilampulla varustettu teollisuuden kohdevalaisin, mallimerkinnältään 6307.000.V1.MT70W. Myöhemmin tekstissä tuotteesta käytetään nimitystä SPOT-valaisin. Valaisimen mitat (kuva 2) ja tekniset tiedot (taulukko 1).



KUVA 1. SPOT-valaisin. (I-Valo Oy. 2018)





KUVA 2. SPOT-valaisimen mittakuva(mm). (I-Valo Oy. 2018)

TAULUKKO 1. SPOT-Valaisimen tekniset tiedot. (I-Valo Oy. 2018)

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Jännite (V)</b>                       | 230       |
| <b>Taajuus (Hz)</b>                      | 50        |
| <b>Teho (W) Nimellinen / Todellinen</b>  | 70 / 86   |
| <b>Tehokerroin</b>                       | 0,37      |
| <b>Virta (A)</b>                         | 1         |
| <b>Käyttölämpötila min/max (°C)</b>      | -30 / +50 |
| <b>Tehokkuus (lm/W)</b>                  | 107       |
| <b>Lampun elinikä B<sub>50</sub> (h)</b> | 24000     |
| <b>Lampun värisävy (K)</b>               | 3000      |
| <b>IP-luokka</b>                         | IP65      |

### 3 LED-VALAISTUSTEKNIikka

#### 3.1 LEDit valaisinvalmistuksessa

LEDit eri muodoissa ovat vallanneet valaisinvalmistuksen tuodessaan markkinoille aivan uudenlaisen tason energiatehokkuudessa. Merkitsevinä asioina LEDin käytössä ovat pitkä käyttöikä ja pienentyneet huolto- ja kunnossapitokustannukset. Näiden ominaisuuksien ollessa poikkeuksellisen hyviä vanhempaan tekniikkaan verrattuna. Nämä ominaisuudet huomioiden, ympäri maailmaa eri maiden hallitukset ovat ottaneet asiakseen säästää energiaa ja suosii LEDiä valtion rahoittamissa rakennuksissa ja laitoksissa kuten urheilustadionit, tunnelit ja parkkialueet. (Research and Markets, 2020)

LEDien maailmanlaajuinen markkina on vuonna 2019 ollut n. 57 miljardia euroa ja sen on arvioitu nousevan 221 miljardiin euroon vuoteen 2030 mennessä. Tutkimuksien mukaan nousua johdattaa kahden tyyppiset LED-valaistusratkaisut, lamput ja valaisimet. Nämä tuotteet integroidaan laajalti uusiin liike- ja asuinrakennuksiin. Intiassa ja Kiinassa on tehty hallitusaloitteita, joilla kannustetaan LED-valaistuksen käyttöönottoon ja niiden odotetaan johtavan tuotteiden kysynnän kasvuun ennustejaksolla. (Research and Markets, 2020)

LED-valaistusratkaisuja voidaan asentaa uudisasennuksissa tai saneerauksissa jälkikäteen ja jälkiasennettavien LEDien kysynnän odotetaan kasvavan merkittävästi tulevina vuosina. Tämä johtuu hehkulamppujen ja natriumhöyrylamppujen kasvavasta korvaamisesta LED-valoilla erityisesti Yhdysvalloissa, Intiassa, Japanissa, Etelä-Koreassa, Kiinassa ja Yhdistyneissä Arabiemiirikunnissa. Yhdysvalloissa LED-valaistusratkaisuja käytetään ulkona ja sisällä. Aiemmin näitä valoja käytettiin vain sisätiloissa. Kyseisten maiden rakennusala kasvaa nopeasti ja keskittyminen älykkäiden kaupunkien rakentamiseen on kasvanut viime vuosina. Tämä johtuu maailmanlaajuisesti kasvavista hallitusten ja yksityisten tahojen aloitteista korkeatasoisen infrastruktuurin kehittämiseksi. Tämän lisäksi moottori-ten lisääntyvän rakentamisen kaikkialla maailmassa, odotetaan lisäävän LED-valaistusratkaisujen kysyntää. Maantieteellisesti Aasian ja Tyynenmeren alueen maat ovat toistaiseksi hyödyntäneet eniten LED-valaistusratkaisuja. Alueiden

odotetaan nousevan nopeimmin kasvaviksi LED-valaistusmarkkinoiksi tulevina vuosina. (Research and Markets, 2020)

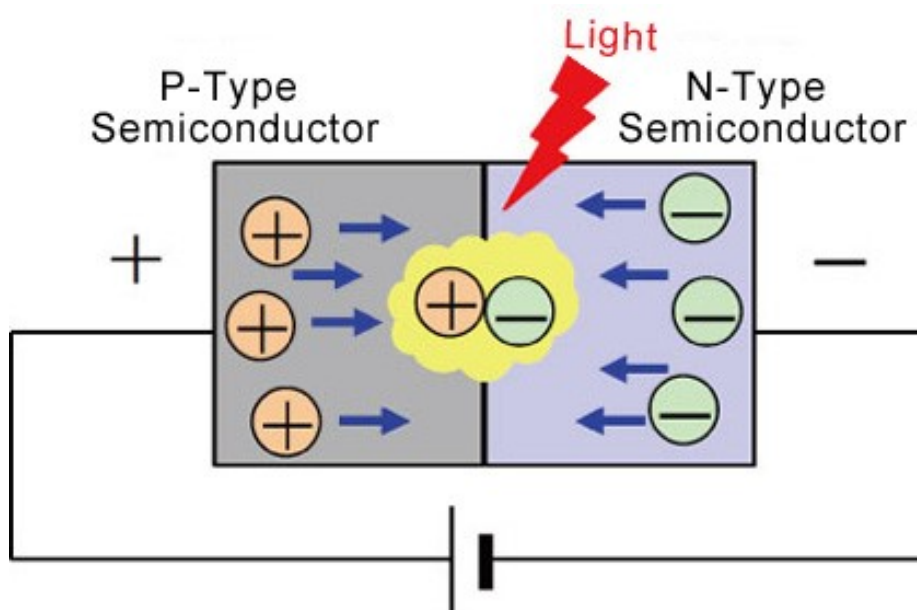
## 3.2 LED yleisesti

LED eli hohtodiodi on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirta. LEDit, kuten muutkin diodit päästävät virtaa läpi vain toiseen suuntaan.

LEDin tuottama valo on monokromaattista (yksiväristä) ja hallitseva aallonpituus määrittää värin. LED voi olla väriltään punainen, oranssi, keltainen tai sininen. Valkoista valoa saadaan aikaan kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on sekoittaa kolmea perusväriä; punaista, vihreää ja sinistä (additiivinen värinsekoitus). Toinen tapa on lisätä siniseen LEDiin keltaista tai oranssia fosforijauhetta, joka muuntaa osan sinisen LEDin säteilystä keltaiseksi valoksi. Lopputuloksena näiden yhdistelmästä saadaan valkoista valoa. Fosforimuuntamisella saadaan parempi ja tasaisempi värintoisto ja se on myös yleisempi valmistusmetodi edullisemmän hintansa vuoksi. (Hide-a-lite, 2021)

### 3.2.1 LED-siru

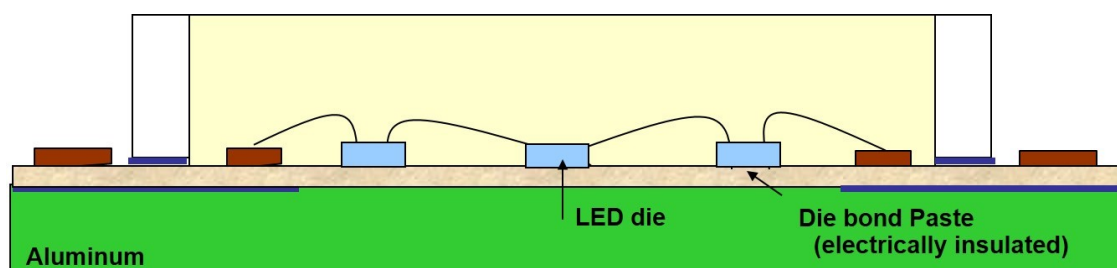
LED-sirut ovat puolijohdevalonlähteitä, joissa yhdistyvät P- ja N-tyyppinen puolijohde. P-tyypin puolijohdeessa on elektronivapaita aukkoja ja N-tyypin puolijohdeessa on ylimääräisiä elektroneita (kuvio 1). Riittävä jännite liitoksien rajapinnassa saa elektronit ja aukot yhdistymään P-N-risteyksessä, vapauttamalla energiaa valon muodossa. Verrattuna tavanomaisiin valonlähteisiin, jotka muuttavat ensin sähköenergian lämmöksi ja sitten valoksi, LED-sirut muuttavat sähköenergian suoraan valoksi. (Tachyon Light. 2020)



KUVIO 1. PN-rajapinta, joka tuottaa valoa

### 3.2.2 COB-LED

Lyhenne COB tulee sanoista Chip-On-Board. COB-LEDissä useita LED-siruja kiinnitetään alustaan sähköä johtamattomalla liimalla. Alusta sijaitsee pohjama-  
terialilla, mikä on yleensä alumiiniytimistä MCPCB:tä (metal core printed circuit-  
board) tai keraamista PCB:tä (ceramic printed circuitboard). LED-sirut (kuvio 2)  
on liitetty toisiinsa kulloinkin haluttavan LEDin ominaisuuksien perusteella. Yhden  
COB-LEDin sisällä olevien yksittäisten LED-sirujen määrä voi vaihdella muuta-  
masta kappaleesta useisiin satoihin kappaleisiin. COB-LEDissä on usein siniset  
diodit ja niissä käytetään keltaista fosforikerrosta muuntamaan valo halutun vä-  
riseksi. (Arrant-Light Oy. 2020)



KUVIO 2. COB-Ledin rakenteen poikkileikkaus. (Arrant-Light Oy. 2020)

Elinikätestit ovat osoittaneet, että COB-LEDit ovat erittäin luotettavia, kun lämmönhallinta tehdään oikein. Kun ajatellaan lämmönhallintaa, yksi tärkeä ominaisuus on lämpövastus. Ei voida suoraan kuitenkaan määritellä, mikä COB-LED johtaa paremmin lämpöä pelkästään lämpöresistanssiarvoa tarkastelemalla. Yleisesti voidaan todeta, että vasta testaamalla valittuja COB-LEDejä valaisimessa, saadaan eniten määräävät vertailuarvot lopputuleman arviontiin. (Arrant-Light Oy. 2020)

Nykyään COB-LEDejä (kuva 3) on saatavana muutamasta sadasta luumenista yli 30000 luumeniin. Se tarkoittaa, että melkein jokainen valonlähde voidaan korvata COB-LEDillä. Käytettävissä olevat tehot vaihtelevat muutamasta watista lähes 200 wattiin. Tehokkaimmat COB-LEDit vaativat tehokkaita jäähdytyslementtejä, koska ne tuottavat paljon lämpöä. (Arrant-Light Oy. 2020)

COB-LEDejä on tarjolla suuri valikoima, johtuen mahdollisuudesta käyttää monia erilaisia LED-kokoonpanoja yhden COB-LEDin sisällä. Yleensä LED-valmistajilla on tarjolla eri tehoisia COB-LEDejä samassa alustassa, jotta valaistusvalmistajat voivat käyttää samoja liittimiä ja optiikkaa erilaisissa ratkaisuissa. (Arrant-Light Oy. 2020)



KUVA 3. Keltaisella fosforilla täytetty COB-LED.

### 3.2.3 LED-moduuli

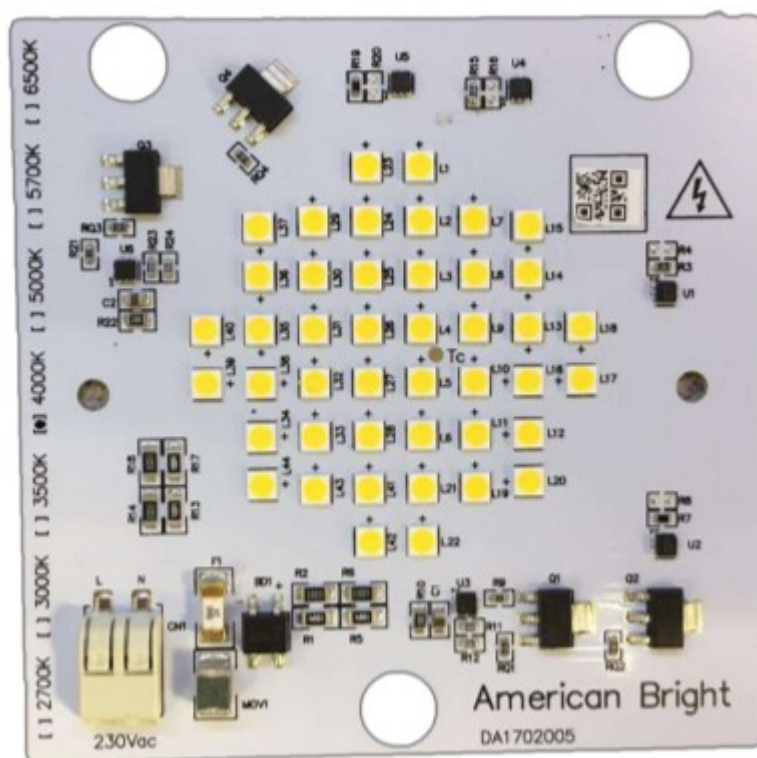
LED-moduuli (kuva 4) on LED-kokoonpano, joka koostuu yhdestä tai useammasta erillisestä LEDistä, jotka ovat tyypillisesti asennettu lämpöä johtavaan alustaan, kuten MCPCB (metal core printed circuitboard) tai perinteiseen piirilevymateriaaliin FR-4:ään (lasivahvisteinen epoksilaminaatti). LED-moduulit eivät yleensä sisällä mitään aktiivisia komponentteja, kuten LED-ohjaimia tai suojaosia. Moduulit voivat sisältää liittimiä ja lämpötilaa mittaavia komponentteja. LED-moduulit vaativat lisäkomponentteja LED:in vaatiman virran tuottamiseksi ja ohjaamiseksi. (Luxeon Starleds. 2020)



KUVA 4. LED-Moduuli, jossa liitäntä erillisen liitäntälaitteen vakiojännitteelle tai vakiovirralle. (Tridonic. 2021)

### 3.2.4 LED-valokone

LED-valokone (kuva 5) on integroitu kokoonpano, joka koostuu yhdestä tai useammasta LED-sirusta tai LED-moduulista, sekä LED-ohjaimesta ja muista optisista, termisistä, mekaanisista tai sähköisistä komponenteista. LED-valokoneet ovat tyypillisesti valmiita kokonaisuuksia ja vaativat vain verkkojännitteen toimiakseen. (Luxeon StarLEDs. 2020)

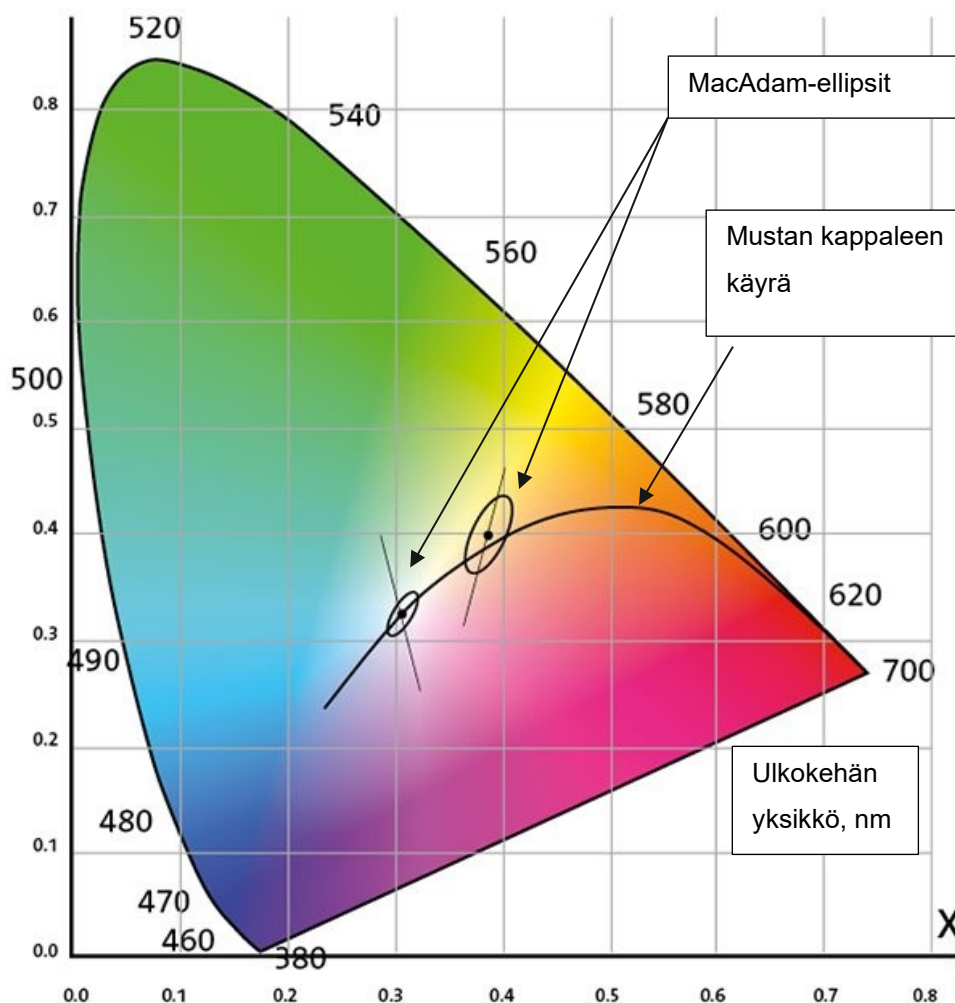


KUVA 5. Led-valokone, jossa integroituna liitäntä verkkojännitteelle. (American Bright LED. 2021)

### 3.3 MacAdam-arvo, SDCM

LEDin värilaatu eli väriämpötilan tarkkuus ilmoitetaan yleensä MacAdamin ellipseillä, standardin CIE 1964 mukaan. MacAdam-arvo on kotoisin Yhdysvalloista ja siinä värilaatua arvioidaan asteikolla 0–10. Standardi CIE 1964 soveltuu LEDeille paremmin kuin CIE 1931, joka on standardina perinteisille valonlähteille.

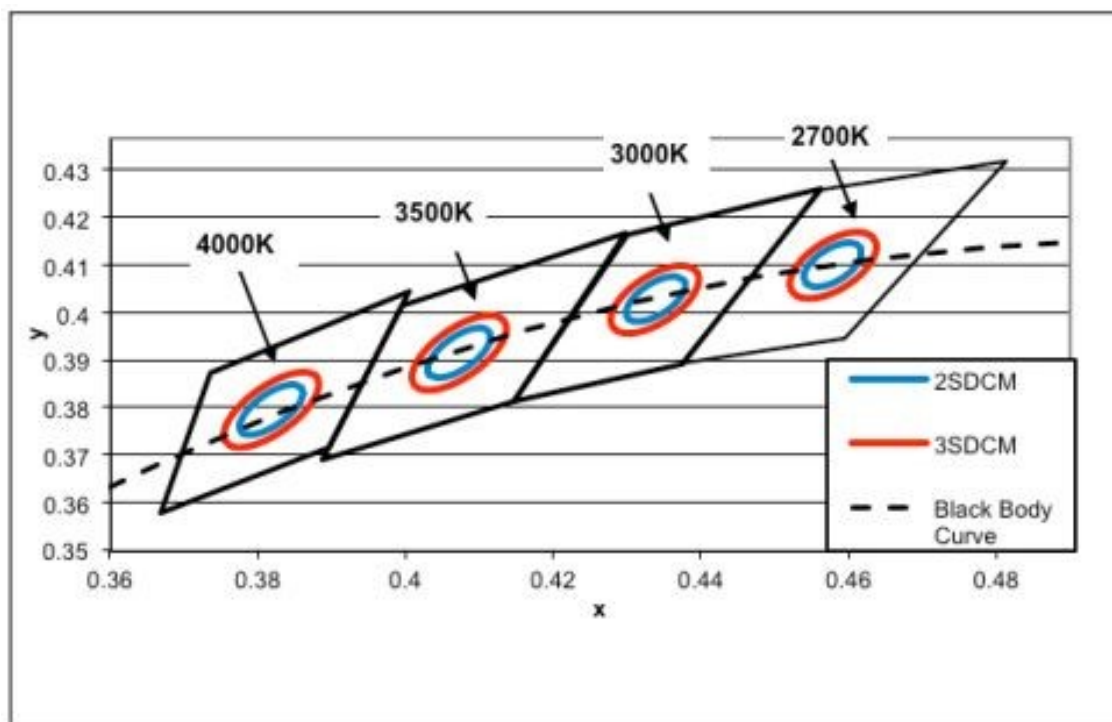
LEDejä valmistettaessa, niiden värisävylle asetetaan tavoite x- ja y-koordinaatit värikolmiossa (kuvio 3). Valmistuksen jälkeen LEDit tarkastetaan, lajitellaan ja luokitellaan värisävynsä mukaan. Mitä pienemmät toleranssit LEDien tuottaman valon todellisessa värisävyssä saavutetaan, sen pienempi MacAdam-arvo. Vaihtelun suuruutta voidaan kuvata MacAdam-ellipsien avulla. Suurissa värilaadun vaihteluissa ellipsi on suurempi ja MacAdam-arvo korkeampi.



KUVIO 3. Värikolmio, jossa tavoite värilämpötilat pisteinä ja niiden MacAdam ellipsit. Mustan kappaleen käyrä (Planckin käyrä) ilmaisee, millä värillä metallikapale kuumennettaessa säteilee tietyssä lämpötilassa Kelvin-asteikolla (K). Ulkokehä ilmaisee valon aallonpituuden nanometreinä (nm). (Fagerhult 2020)

Ilmoitettaessa arvo, esimerkiksi MacAdam 3 SDCM kertoo ellipsin koon, eli kuinka suurta poikkeamaa nimellisestä värilämpötilasta, esim. 3000 K:sta, voidaan odottaa (kuvio 4). Mitä alhaisempi luku on, sitä vähemmän epätarkkuutta esiintyy. Arvot 1–3 kertovat, että värissä ei näy juuri eroja. Arvojen noustessa tästä ylöspäin, sävyerot ovat selviä ja joissakin sovelluksissa suorastaan huomattavan häiritseviä. Sisävalaistuksessa pidetään yleisesti hyväksyttävänä arvoina MacAdam 2–3 SDCM, kun taas ulkotiloissa värilaa-duksi voidaan hyväksyä MacAdam 5–7 SDCM. Vertailun vuoksi voidaan todeta, että normaalin T5-loisteputkilampun arvo on MacAdam 4. (Fagerhult 2020)





KUVIO 4. Eri värielämpötilojen MacAdam ellipsit värielämpötilakäyrällä. (Bridgelux. 2021)

### 3.4 Värielämpötila, CCT

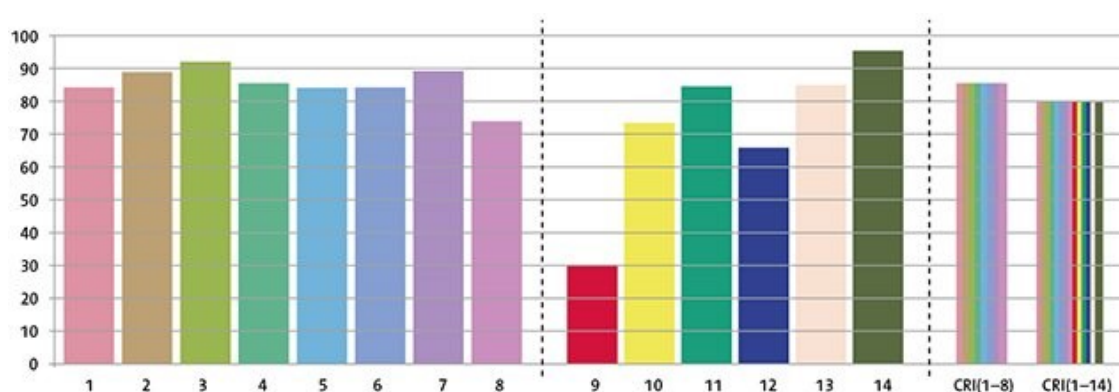
Valonlähteen värielämpötilan mittayksikkö on kelvin (K). Kelvin-asteikko on alkujaan kehitetty kuumennetun (hehkuvan) täysin mustan kappaleen värin mittaamiseen. Perinteisissä hehkulampuissa arvo on helppo tulkita, koska värielämpötilan Kelvin-arvo on sama kuin hehkulangan todellinen lämpötila. Hehkulangattomissa valonlähteissä, kuten LEDeissä, loiste- ja purkauslampuissa, käytetään korreloitua värielämpötilaa (CCT). (Fagerhult 2020)

LEDien värielämpötila voi vaihdella valmistajan mukaan, vaikka ilmoitettu värielämpötila olisi sama. LEDien värielämpötila voi myös muuttua ajan kuluessa. LED-sirujen valmistuksessa syntyy paljon sekä värielämpötilaltaan että valovirralltaan erilaisia diodeja, joten valmistuksen jälkeen niistä valitaan käyttöön haluttujen värielämpötila- ja valovirtarajojen sisällä olevat kappaleet. Tätä vaihetta kutsutaan ammattikielessä binningiksi eli jaotteluksi. (Fagerhult 2020)

### 3.5 Värintoistoindeksi, CRI

LEDin värintoistokyky poikkeaa perinteisistä valonlähteistä. Se ilmoitetaan kuitenkin samalla tavalla Ra/CRI-arvona. Ra-asteikko on välillä 0–100 ja se kertoo valonlähteen värintoistokyvystä. Värintoistokyky vaihtelee LEDistä riippuen yleensä välillä 60–95. Korkeissa Ra-arvoissa LEDin valotehokkuus on usein jonkin verran alhaisempi. (Fagerhult 2020)

Värintoistokykyä arvioidaan CIE-menetelmällä. Se mitataan tavallisesti vertailemalla mitattavan valonlähteen kykyä toistaa kahdeksaa testiväriä suhteessa vertailuvalonlähteeseen. Värintoistoindeksi, CRI ilmoitetaan keskiarvona (Ra). Toisin sanoen mitattavan valonlähteen värintoistokyky voi olla hyvä seitsemän värin kohdalla, mutta heikompi kahdeksannen värin tapauksessa. Perusasteikkoa täydennetään tarvittaessa CRI 1–14 –asteikolla, jossa on kuusi lisäväriä. Esimerkissä mitattava LED (kuvio 5) ei toista kirkkaanpunaista väriä järjestysnumeroltaan 9 optimaalisesti. Keskiarvo asteikolla CRI 1–14 on siitä syystä alhaisempi kuin asteikolla CRI 1–8. Keskiarvosta huolimatta mittaustuloksista näkyy, että punaisen värin toisto ei ole paras mahdollinen, mikä on melko yleistä LED-valonlähteille. Värintoistokyky voi siis vaihdella eri valmistajien LEDien välillä. Värintoistokyky on kuitenkin aina sidoksissa LEDin spektrijakaumaan. Spektrijakaumaa tarkastelemalla saadaan lisää tietoja LEDin kyvystä toistaa eri värejä.



KUVIO 5. Värintoistoindeksin mittaustulokset. (Fagerhult 2020)

## 3.6 Liitännälaitteet

### 3.6.1 Vakiojännite liitännälaitte

Vakiojännite liitännälaitte (kuva 6) on suunniteltu yhdelle tasavirran (DC) lähtöjännitteelle. Yleisimmät vakiojännite liitännälaitteet (tai tehollähteet) ovat 12 VDC tai 24 VDC. Vakiojännitteelle mitoitettu LED määrittää tarvittavan tulojännitteen määrän toimiakseen oikein. (Ledsupply. 2021)

Vakiojännitteinen liitännälaitte vastaanottaa tavallisen verkkojännitteen (120–277 VAC). Tämä on jännite, joka tyypillisesti on saatavilla pistorasioista koti ympäristössä. Vakiojännite liitännälaitteet muuntavat tämän vaihtovirtajännitteen (VAC) matalaksi tasavirtajännitteeksi (VDC). Liitännälaitte ylläpitää vakiojännitettä riippumatta siitä, millainen kuorma siihen kytketään. (Ledsupply. 2021)



KUVA 6. Tridonic LCA vakiojännite liitännälaitte jännitteeltään 24 VDC ja teholtaan 35W (Tridonic, 2021)

### 3.6.2 Vakiovirta liitântälaite

Vakiovirta liitântälaite (kuva 7) on suunniteltu määrätylle lähtöjännitealueelle (DC) ja kiinteälle lähtövirralle (mA). LEDit, jotka toimivat vakiovirralla, vaatii tällaisen virtalähteen toimiakseen. Vakiovirta liitântälaite tuottaa virtaa milliampeereina (mA) tai ampeereina (A). Vakiovirta liitântälaitteet vaihtelevat jännitettä pitkin elektroniikkapiiriä, mikä mahdollistaa virran pysyvän vakiona syötettävässä LEDissä. (Ledsupply. 2021)

Suurempi virta-arvo tekee LEDistä kirkkaamman, mutta ellei sitä kontrolloida, LED ottaa enemmän virtaa kuin on mitoitettu. Mikäli LEDiin syötetään suurempaa virtaa, kuin sen suurin sallittu käyntivirta, se johtaa huomattavasti pienempään käyttöikään ja ennenaikaiseen palamiseen lämpötilan nousun takia. Vakiovirtaohjain on paras tapa syöttää suuritehoisia LEDejä, koska se ylläpitää tasaista kirkkautta kaikissa sarjan LEDeissä. (Ledsupply. 2021)



KUVA 7. Tridonic LC vakiovirta liitântälaite, virraltaan ohjelmoitavissa välillä 500-1400mA ja teholtaan 45W (Tridonic, 2021)

#### 4 UUDEN VALAISIMEN RAKENNE

Opinnäytetyön lähtökohtana oli ensisijaisesti valaisimen sähköisten komponenttien päivittäminen LED-tekniikalla. LED-tekniikan mukanaan tuomat muutokset koskettavat ulkoisesti lähinnä valaisinosaa, joka on merkitty numerolla 2 (kuva 8). Runko, joka on merkitty numerolla 1. (kuva 10), säilyy ulkoisesti samanlaisena, mutta sen sisältö päivittyy LED-tekniikan vaatimaan liitännälaitteeseen.



KUVA 8. SPOT-Valaisimen pääkomponentit, Runko (1.) ja Valaisinosa (2.)

## 4.1 Runko

Rungon (kuva 9) valmistusmateriaali on alumiini, josta on valmistettu runkoprofiili, kannen kehä, kansi ja sen sisällä oleva asennusalusta. Asennusalusta toimii myös lämpönieluna liitäntälaitteelle. Kaikki rungon komponentit on maalattu polyesteripohjaisella maalilla, joka soveltuu C5-luokan rasitusympäristöön.



KUVA 9. Runko

Runkorakenne ja valaisinosa täyttävät SFS-EN 60529-1, sähkölaitteiden kotelointiluokat mukaisen IP65-luokituksen. Luokituksen ensimmäinen numero (taulukko 2) kertoo suojauksen tason vieraita esineitä ja pölyä vastaan ja toinen numero (taulukko 3) vesitiivyyden tason. Testaustavat eri vesitiiveysluokilla eroavat toisistaan merkittävästi. Tiiveys IP-luokissa X1 – X6 testataan erilaisilla vesisuihkuilla ja luokissa X7-X8 veteen upottamalla. Standardin mukaisiin testaustapoihin ei tässä opinnäytetyössä paneuduta tarkemmin.

TAULUKKO 2. Suojaustasot vieraita esineitä ja pölyä vastaan. (SFS-EN 60529-1. 2021)

| 1. Numero | Suojaustason kuvaus  |
|-----------|--|
| 0         | Ei suojausta.  |
| 1         | Suojaus suuria kappaleita vastaan, halkaisija 50 mm tai suurempi.                                  |
| 2         | Suojaus keskikokoisia kappaleita vastaan, halkaisija 12,5 mm tai suurempi.                         |
| 3         | Suojaus pieniä kappaleita vastaan, halkaisija 2,5 mm tai suurempi.                                 |
| 4         | Suojaus erittäin pieniä kappaleita vastaan, halkaisija 1 mm tai suurempi.                          |
| 5         | Suojattu pölyltä. Ei edellytä täydellistä tiiveyttä, mutta haitallisia pölykertymiä ei saa syntyä. |
| 6         | Täydellinen suojaus. Pölytiivis.   |

TAULUKKO 3. Suojaustasot kosteutta ja vettä vastaan. (SFS-EN 60529-1. 2021)

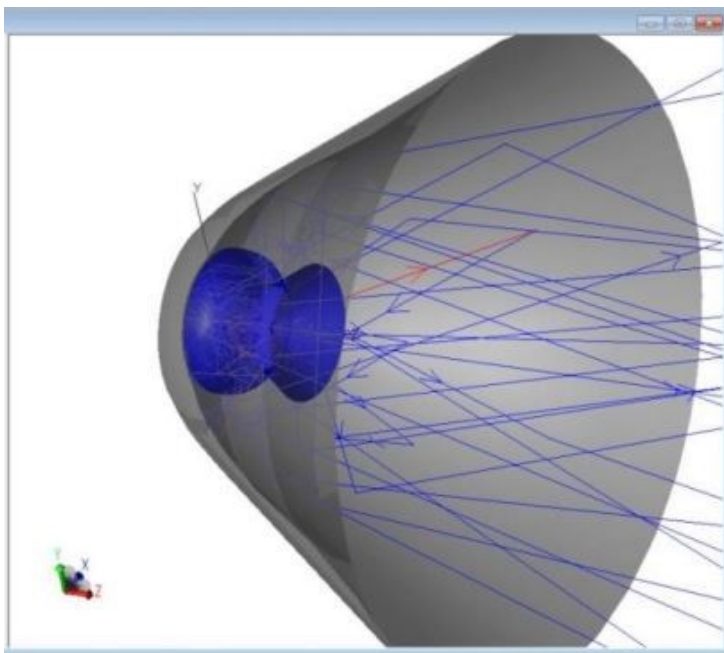
| 2. Numero | Suojaustason kuvaus   |
|-----------|---|
| 0         | Ei suojattu vedeltä.  |
| 1         | Suojaus pystysuoraan tippuvalta vedeltä.  |
| 2         | Suojaus pystysuoraan tai korkeintaan 15 asteen kulmassa tippuvalta vedeltä.   |
| 3         | Suojaus korkeintaan 60 asteen kulmassa satavaa vettä vastaan.   |
| 4         | Suojaus roiskuvalta vedeltä.  |
| 5         | Suojaus joka suunnasta tulevalta vesisuihkulta.   |
| 6         | Suojaus joka suunnasta tulevalta voimakkaalta vesisuihkulta.  |
| 7         | Kestää hetkellisen upotuksen veteen   |
| 8         | Kestää jatkuvan upotuksen veteen. Lisämerkintänä voi olla suurin sallittu asennussyvyys. Yleensä laite on täysin tiivis, mutta ei välttämättä, vaan vettä voi päästä laitteen sisälle niin, ettei se aiheuta haitallisia vaikutuksia. |

## 4.2 Valaisinosa

Opinnäytetyön varsinainen kehitysosuus koskee pääasiassa valaisinosaa. Hyvän lopputuleman määräävimpinä tekijöinä ovat kustannustehokas valmistus ja aikaisempaan malliin verrattavissa oleva valonjako ja valovirta. Tärkeitä asioita kehitystyössä ovat myös matalampi sähköinen tehonkulutus ja valaisimen elinikä. Valonjako on aiemmin hoidettu vanhan tekniikan valonlähteen valonjaolla ja siihen suunnitellulla heijastimella. Kyseinen heijastin ja lamppu ovat siis optimoituja keskenään ja näin ollen ne eivät sovellu kehitystyöhön, jossa ratkaisua haetaan erilaisella valonlähteellä.

### 4.2.1 Heijastin

LED valonlähteille on markkinoilla tarjolla valmiita heijastimia, mutta myös räätälöityjä ratkaisuja on mahdollista teettää siihen erikoistuneissa yrityksissä. Erilaisia suunnitteluohjelmistoja heijastimen suunnitteluun on tarjolla, kuten esimerkiksi TracePro®, jolla pystyy havainnollistamaan (kuvio 5) heijastimeen vaikuttavien valonsäteiden törmäämisen heijastavaan pintaan. Näin voidaan jo suunnitteluvaiheessa todentaa heijastimen luoma valonjako.



KUVIO 5. Tracepro ohjelmistolla luotu kuva, missä nähdään valon heijastuminen heijastimen pinnoilta. (Tracepro. 2021)



Opinnäytetyössä on käytetty erään heijastinvalmistajan valmista ratkaisua heijastimena. Kyseisellä heijastimella (liite 1), saadaan aikaan haluttu kapeakeilainen valonjako. Valonjaon aukeamiskulma on  $10^\circ$ . Komponenttina heijastin on eniten kehityksen kohteena olevan valaisinosan kokoa määräävä tekijä. Valaisinosan suunnittelussa onkin lähdetty siitä, että saadaan lopputuotteeksi mahdollisimman kompakti kokonaisuus. Heijastimien vertailu ja valintaprosessi on salassapidollisista syistä jätetty julkaisematta.

#### 4.2.2 LED

LEDin valinnan tärkeys korostuu, kun halutaan maksimoida tiettyjä suureita. Tämä tarkoittaa, että tiettyjä LEDien ominaisuuksia vertaillaan, kun halutaan mahdollisimman paljon valovirtaa (lm), mahdollisimman suuressa ympäristön lämpötilassa ( $T_a$ ), mahdollisimman energiatehokkaasti (lm/W).

Kehitystyössä tavoiteltu valovirta on asetettu tilaajan toimesta 6000–8000 lumeniin, joka on suoraan verrannollinen vanhan tekniikan valaisimen valovirtaan. Heijastimen valoaukon ollessa määräävässä asemassa myös LEDin valinnassa, päädyttiin käyttämään COB-LEDiä, joka on rakenteeltaan ja sähköisiltä ominaisuuksiltaan paras valinta kyseiseen käyttötarkoitukseen.

-

Erään LED-valmistajan valikoimista löytyi valaisimeen sopiva COB-LED (liite 2), jonka valontuotto vakiovirralla (mA) täsmää annettuihin lähtötietoihin. Myöhemmin tekstissä tuotteesta käytetään nimitystä LED-1. COB-LEDien vertailu ja valintaprosessi on salassapidollisista syistä jätetty julkaisematta.

#### 4.2.3 Liitäntälaite

Valitun LED-1:n toimintavaatimusten perusteella, liitäntälaitteeksi valittiin vakiovirtaa syöttävä malli. Erään liitäntälaite valmistajan valikoimista löytyi LED-1:lle sopiva liitäntälaite (liite 3), jonka vakiovirran (mA) syöttöalue ja teho (W) on sopiva LED-1:n kuormitukselle. Myöhemmin tekstissä tuotteesta käytetään nimitystä DRIVER-1. Liitäntälaitteiden vertailu ja valintaprosessi on salassapidollisista syistä jätetty julkaisematta.

#### 4.2.4 Runko

Valaisinosan rungon mitoitus (liite 4), eli fyysinen koko ja lämpötekniset ominaisuudet määräytyvät heijastimen ulkomoitoista, sekä LED-1:n aiheuttamasta lämpökuormasta. Mekaaninen suunnittelu aloitettiin ensin tarkastelemalla kaikkien valaisinosan komponenttien fyysiset mitat ja niihin liittyvät lainalaisuudet. LED-1 on kiinnitettävä suoraan lämpönieluna toimivaan osaan, joka tässä tapauksessa on rungon pohjakomponentti. Pohjakomponentti on mitoitettu lämpöteknisiltä ominaisuuksiltaan siten, että se pystyy tehokkaasti siirtämään LED-1:stä johtuvan lämmön ympäristöönsä. Pohjakomponentti liitetään heijastinta ja LED-1:tä suojaavan lieriöön, jonka toisessa päässä on valoaukon suojana 4 mm paksu karkaistu turvalasi. Valaisinosan rungon tekniset ominaisuudet ja suunnitteluprosessi on salassapidollisista syistä jätetty julkaisematta.

#### 4.3 Sähköinen mitoitus

Sähköteknisten arvojen mitoitus on tärkeä osa valaisimen toimintaa. Sen avulla määritellään kaikki sähkötekniset komponentit ja niiden nimellisarvot. LED-valaisimessa komponenttivalinta on erityisen tärkeässä asemassa. LEDeissä täytyy standardin IEC-EN 61347 mukaan ottaa huomioon sen lämpötilariippuvaisia ominaisuuksia, kuten LEDin suurin sallittu pintalämpötila ( $T_c$ ) suurimman sallitun ympäristön lämpötilan ( $T_a$ ) suhteen. Nämä suureet riippuvat toisistaan. Liiallinen ympäristön lämpö nostaa LEDin lämpötilaa yli sallitun, joka vaikuttaa LEDin eliniän merkittävään lyhenemiseen tai jopa välittömään tuhoutumiseen. Jokaisella sähköisellä komponentilla on oma suurin sallittu  $T_c$ , jota ei saa ylittää. Sähköinen mitoitus tehdään siis lämpötila huomioiden.

Laskenta sähköisille arvoille aloitetaan LED-1stä. SPOT-valaisimessa käytetään yhtä kappaletta LED-1:htä, jonka sähköteho  $P$  on

$$P = U \cdot I, \quad (1)$$

jossa  $U$  on jännite ja  $I$  on virta. Sijoittamalla arvot (liite 5) kaavaan (1)

$$P = 34,9 \text{ V} \cdot 1,5 \text{ A} = 52,3 \text{ W}$$

saadaan LEDin vaatimaksi sähkötehoksi 52,3 W. Tulokseksi saatu sähköteho määrää SPOT-valaisimessa käytettävän liitäntälaitteen nimellistehon. Nimellistehon avulla voidaan laskea LED-1:ssä vaikuttava suurin pintalämpötila  $T_c$ ,

$$T_c = T_j - P \cdot R_{j-c} \quad (2)$$

Jossa  $T_j$  on nimellinen liitoslämpötila,  $P$  on sähköteho ja  $R_{j-c}$  on LED-1:n lämpöresistanssi. (Cree. 2021)

$$T_c = 105 \text{ °C} - 52,3 \text{ W} \cdot 0,4 \frac{\text{°C}}{\text{W}} = 85 \text{ °C}$$

Laskennallisen suurimman sallitun pintalämpötilan  $T_c$  perusteella voidaan sen todeta olevan sallitun rajan sisäpuolella  $I_f$  (mA) ja  $T_c$  (°C) kuviossa (liite 2). LED-1:n kuormitusvirran ja  $T_c$ -arvon kuvioista (liite 2), voidaan tarkastelemalla todeta valovirran olevan tässä  $T_c$ -pisteessä n.150 % nimellisarvoon verrattuna, mikä toteuttaa vaaditun 6000–8000 lumenin valontuoton SPOT-valaisimen LEDille.

Lopulliseen valontuottoon vaikuttaa myös käytetty mahdollinen optiikka tai sulkulasi materiaali. SPOT-valaisimessa on käytetty sulkulasina karkaistua turvalasia. Kaikilla valoa läpäisevillä materiaaleilla on oma valon läpäisykerroimensa ( $T_v$ ) ja niiden avulla voidaan laskennallisesti todentaa todellinen valontuotto  $lm_{out}$ ,

$$lm_{out} = \tau_v \cdot lm_{LED-1} \quad (3)$$

Jossa  $T_v$  on karkaistun turvalasin valonläpäisykerroin ja  $lm_{LED-1}$  LED-1:n valovirran määrä.

$$lm_{out} = 0,9 \cdot 7777 \text{ lm} = 7000 \text{ lm} \quad (3)$$

Tarkat laskelmat on salassapidollisista syistä jätetty julkaisematta.

#### 4.4 LEDin elinikä

LEDin elinikä on perinteisiin valolähteisiin verrattuna huomattavasti pidempi. LEDin elinkaari on samankaltainen, kuin perinteisen loisteputken, sen valoteho heikkenee ajan myötä. LEDin elin iän määrittämiseksi on kehitetty matemaattisia laskenta menetelmiä, mitkä mahdollistavat LEDin eliniän määrittämisen riittävällä tarkkuudella. Yleisin tapa perustuu LM-80 (Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of LED Packages, Arrays and Modules) testaukseen ja TM-21 (Projecting long term Lumen Maintenance of LED Light Sources) laskentaan. (ITC India. 2021)

LM-80 testeissä mitataan LEDin valovirran alenemaa tietyissä olosuhteissa. LEDejä kuormitetaan tietyllä virralla tietyssä  $T_c$  lämpötilassa määrätty aika. Määrätty aika on vähintään 6000 tuntia. Mittauksessa mitataan LEDien valovirta 1000 tunnin välein. Kuormittava virta on yleensä LEDille ns. normaalivirta. Mitattavia  $T_c$  lämpötiloja on kolme eri tasoista. Pakolliset kaksi on 55 °C ja 85 °C. Kolmas lämpötila on mittauksen tilaajan vapaasti määriteltävissä. Tuloksena mittauksista saadaan LEDin valovirran alenemat kolmessa eri lämpötilassa samalla kuormitusvirralla. Mitattavia LEDejä on yleensä vähintään 25 kpl. yhtä mittausta kohden. (ITC India. 2021)

TM-21 laskennassa käytetään LM-80 testiarvoja. Testituloksista lasketaan matemaattisesti johdettu alkuvakio, joka saadaan pienimmän neliösumman käyrän sovituksella ja heikkenemisnopeusvakio, joka saadaan samalla menetelmällä. LEDin ennustettu elinikä  $\Phi(t)$  on,

$$\Phi(t) = B \cdot e^{(-a \cdot t)} \quad (4)$$

jossa  $t$  on toiminta-aika,  $B$  on pienimmän neliösumman suoran sovituksella johdettu alkuvakio,  $e$  on Neperin luku,  $a$  on heikkenemisnopeusvakio. Matemaattista lukujen käsittelyä ei tässä opinnäytetyössä selosteta tarkemmin. (ITC India. 2021)

Yleinen tulosten esitystapa (taulukko 4) on määrittää elinikä maksimissaan kuusi kertaisena testattuun tuntimäärään nähden. 6000 tunnin testauksesta voidaan virallisesti ilmoittaa eliniän tuloksena vain 36000 tuntia, mutta alalla on paljon tästä poikkeavia tuloksia nähtävillä. (ITC India. 2021) LED-1:n elinikä-laskelmat on salassapidollisista syistä jätetty julkaisematta.

TAULUKKO 4. Esimerkki LEDin eliniän määrittäytuloksista eri  $T_c$  pisteissä. (Energystar. 2021)

| Table 1: Report at each LM-80 Test Condition                                 |                  |  |                  |  |                  |
|--|------------------|--|------------------|--|------------------|
| Description of LED Light Source Tested (manufacturer, model, catalog number) |                  | LM301B 2700K LEDs (10000 hrs)                    |                  |  |                  |
| Test Condition 1 - 25°C Case Temp  |                  | Test Condition 2 - 55°C Case Temp                |                  | Test Condition 3 - 105°C Case Temp               |                  |
| Sample size  | 25               | Sample size                                      | 25               | Sample size                                      | 25               |
| Number of failures   | 0                | Number of failures                               | 0                | Number of failures                               | 0                |
| DUT drive current used in the test (mA)                                      | 65               | DUT drive current used in the test (mA)          | 65               | DUT drive current used in the test (mA)          | 65               |
| Test duration (hours)  | 6 000            | Test duration (hours)                            | 6 000            | Test duration (hours)                            | 6 000            |
| Test duration used for projection (hour to hour)                             | 1000,0 - 10000,0 | Test duration used for projection (hour to hour) | 1000,0 - 10000,0 | Test duration used for projection (hour to hour) | 1000,0 - 10000,0 |
| Tested case temperature (°C)   | 25               | Tested case temperature (°C)                     | 55               | Tested case temperature (°C)                     | 105              |
| $\alpha$   | 2,679E-06        | $\alpha$   | 4,999E-06        | $\alpha$   | 5,051E-06        |
| B  | 0,998            | B  | 0,997            | B  | 0,987            |
| Calculated L70(6k) (hours)   | 132 000          | Calculated L70(6k) (hours)                       | 71 000           | Calculated L70(6k) (hours)                       | 68 000           |
| Reported L70(6k) (hours)   | >36000           | Reported L70(6k) (hours)                         | >36000           | Reported L70(6k) (hours)                         | >36000           |

#### 4.5 Sähkötekniset dokumentit

Työnkohteena olevasta SPOT-valaisimesta on tehty pienjännitedirektiivin (2014/35/EU) mukainen sähköpiirikaavio (liite 5). Piirikaavion avulla täytetään lain vaatimukset ja varmistetaan valaisimen oikea kytkentä. Sähköpiirikaaviota tullaan käyttämään avuksi valaisinvalmistuksen työohjeessa. Piirikaavio on salassapidollisista syistä jätetty julkaisematta.

## 5 TULOKSET

Teoreettisen käsittelyn lisäksi, uusi valaisin testattiin myös yrityksen tuotekehitys-laboratoriossa. Kehitystyön tuloksena syntyneestä SPOT-valaisimesta mitattiin nimellis-, pätö- ja loisteho. Näiden lisäksi mitattiin myös nimellisvirta, tehokerroin, valovirta ja valonjako (liite 6). LEDin elinikä kuvio on esitetty liitteessä (liite 7.) Tulokset ovat taulukoitu (taulukko 5) alle.

TAULUKKO 5. Laboratoriomittauksen tulokset

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Jännite (V)</b>                      | 230       |
| <b>Taajuus (Hz)</b>                     | 50        |
| <b>Teho, P (W)</b>                      | 58        |
| <b>Teho, S (VA)</b>                     | 60        |
| <b>Teho, Q (var)</b>                    | 12        |
| <b>Virta (A)</b>                        | 0.26      |
| <b>Tehokerroin, PF</b>                  | 0.98      |
| <b>Käyttölämpötila min/max (°C)</b>     | -25 / +55 |
| <b>Tehokkuus (lm/W)</b>                 | 135       |
| <b>Valaisimen valovirta @Ta 25°C</b>    | 7000      |
| <b>LEDin elinikä L<sub>80</sub> (h)</b> | 100000    |
| <b>Ledin värisävy (K)</b>               | 5000      |
| <b>IP-luokka</b>                        | IP65      |

## 6 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin kehittämään vanhaa valaisinmallia uudella tekniikalla. Aiemmin yleisesti käytössä ollut monimetallilamppu ja sen käytön mahdollistanut kuristin- ja sytytintekniikka haluttiin korvata LED-tekniikalla. Opinnäytetyön haasteena oli löytää vastaavalla valoteholla varustettu LED, siihen so-piva optiikka ja lämpönielu.

Opinnäytetyössä tehtiin laajaa tutkimusta eri komponenttitoimittajien kesken jokaisen komponentin kohdalla. Kuten monissa muissakin teknisissä kokoonpanoissa, myös LED-valaisin on osiensa summa. Opinnäytetyön SPOT-valaisin suunniteltiin tekemättä kompromisseja komponenttien laadussa, jotta saatiin lopulliseksi protomalliksi mahdollisimman laadukas, pitkäikäinen ja teollisiin olo-suhteisiin soveltuva valaisin.

Opinnäytetyön tilaajan asettamat tavoitteet saavutettiin ja työn tuloksena valmistui yrityksen käyttöön täysin käyttökelpoinen SPOT-valaisimen protomalli, joka säästää tuotekehitykseltä monta esivaihetta ja selvitystä. Opinnäytetyön tulok-sena syntynyt valaisin on sellaisenaan jo valmis tuote, mutta se tullaan työn luo-vutuksen jälkeen vielä tarkastelemaan tuotannollistamisen kannalta.

## LÄHTEET

American Bright LED. 2021. Luettu 12.4.2021

<https://www.americanbrightled.com/products/ac-modules/>

Arrant-Light Oy. 2020. What is COB-LED. Luettu 6.4.2021

<http://www.light.fi/blog/what-is-cob-led/>

Bridgelux Inc. 2021. Products. Luettu 8.4.2021

<https://www.bridgelux.com/products>

Cree. 2021. Solder Point. Luettu 15.5.2021

[https://cree-led.com/media/documents/Solder\\_Point\\_Temp.pdf](https://cree-led.com/media/documents/Solder_Point_Temp.pdf)

Energystar. 2021. Calculator. Luettu 27.4.2021

[https://www.energystar.gov/sites/default/files/ENERGY%20STAR%20TM-21%20Calculator%20for%20Uneven%20Test%20Intervals%20rev%202-8-2016\\_0.xlsx](https://www.energystar.gov/sites/default/files/ENERGY%20STAR%20TM-21%20Calculator%20for%20Uneven%20Test%20Intervals%20rev%202-8-2016_0.xlsx)

Fagerhult Group. 2020. About Fagerhult. Luettu 24.2.2021

<https://www.fagerhult.com/about-fagerhult/>

Fagerhult Group. 2019. Code of Conduct. Luettu 24.2.2021

<https://i-valo.com/assets/files/2020/11/fagerhult-group-code-of-conduct-2019.pdf>

Fagerhult Group. 2020. Osaamiskeskus. Luettu 8.4.2021

<https://www.fagerhult.com/fi/osaamiskeskus/LED/Valaistuksen-kokonaisvaikutelma-ja-valon-vari/>

Research and Markets. 2020. Worldwide LED Lighting Industry to 2030 - Analysis and Growth Forecast. Luettu 14.3.2021

<https://www.globenewswire.com/news-release/2020/11/16/2127168/0/en/Worldwide-LED-Lighting-Industry-to-2030-Analysis-and-Growth-Forecast.html>

Hide a Lite Oy, LED-koulu. Luettu 16.2.2021

<https://www.hidealite.com/fi-fi/tuki/LED-koulu>

ITC India. What is TM-21. Luettu 27.4.2021

<https://www.itcindia.org/what-is-tm-21/>

I-Valo Oy. 2018. Tuoteluettelo. Luettu 7.4.2021

[https://i-valo.automatik.tri.haus/assets/files/2018/05/Teollisuusluettelo-2018\\_FIN.pdf](https://i-valo.automatik.tri.haus/assets/files/2018/05/Teollisuusluettelo-2018_FIN.pdf)

I-Valo Oy. 2016. Ura I-Valolla. Luettu 26.2.2021

<https://i-valo.com/fi/yrittys/rekrytointi/>

I-Valo Oy. 2016. Yrittys. Luettu 26.2.2021

<https://i-valo.com/fi/yrittys/>



Ledsupply. 2021. Blog. Luettu 11.4.2021

<https://www.ledsupply.com/blog/constant-current-led-drivers-vs-constant-voltage-led-drivers/>

Luxeon StarLEDs. 2020. LED knowledge base. Luettu 7.4.2021

<https://support.luxeonstar.com/hc/en-us/articles/360022812113-What-is-the-difference-between-a-Light-Engine-and-an-LED-Module->

Tachyon Light. 2020. LED Knowledge. Luettu 8.4.2021.

<https://tachyonlight.com/different-types-of-LED-chips-2/>

Tracepro. 2021. Luettu 17.4.2021

<https://www.led-professional.com/resources-1/white-papers/optimization-of-led-lens-components-using-tracepro-r-illumination-design-and-analysis-software>

Tridonic. 2021. Tuoteluettelo. Luettu 11.4.2021

<https://www.tridonic.com/com/en/products/led-driver-lc-45w-500-1400ma-bdw-sc-pre2.asp>

**LIITTEET**