

Pasi Tolonen  
LEDIEN YMPÄRISTÖTESTAUS

Insinööryö  
Kajaanin ammattikorkeakoulu  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Elektroniikan tuotantotekniikka  
Kevät 2006



**Kajaanin  
ammattikorkeakoulu**

**OPINNÄYTETYÖ  
TIIVISTELMÄ**

Koulutusala Tekniikka	Koulutusohjelma Elektroniikan tuotantotekniikka
Tekijä(t) Pasi Tolonen	
Työn nimi LEDien ympäristötestaus	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Elektroniikka tuotanto	Ohjaaja(t) Juntunen Pekka
	Toimeksiantaja Markku Pyykönen
Aika 13.04.2006	Sivumäärä ja liitteet 57+37
<b>Tiivistelmä</b>  Tämän työn tavoitteena oli toteuttaa luotettavuustestisarja LED-moduulille. Lisäksi insinööriyön kautta pyrittiin hankkimaan tietoa Luxeon LEDien luotettavuudesta pitkäaikaisessa ympäristörasituksessa.  Luotettavuustestit suoritettiin Imagon Oy :n Kajaanin toimipisteessä sääkaappia sekä luminanssi- ja yleismittaria hyödyntäen. LEDeistä tutkittiin optisten ja sähköisten arvojen muutoksia. Kokeiden testausmenetelmänä käytettiin pääosin lämpösyklausta sääkaapissa. Lisäksi tutkimuksissa hyödynnettiin Kajaanin ammattikorkeakoulun tuotantotekniikan laboratorion välineitä.  Työssä käsitellään LEDien ja sähköisten laitteiden luotettavuutta sekä esitetään, kuinka imagonin LED-moduuli I testattiin. Suoritetut testit osoittivat Luxeon LEDien olevan luotettavia valonlähteitä. Lisäksi tuloksena saavutettiin alustavaa tietoa Imagon LED - moduuli II:n ja teholähde II:n luotettavuudesta. Työssä tehtiin edelleen havaintoja estosuuntaisten kytkentöjen vaikutuksista teholedeihin. Samoin työssä tarkasteltiin värimuutoksia rasiusten vaikutuksesta	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Ympäristötestaus, LED
Säilytyspaikka	<input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Electronics Production Engineering
Author(s) Pasi Tolonen	
Title Reliability Testing of LEDs	
Optional Professional Studies Production Engineering	Instructor(s) Pekka Juntunen
	Commissioned by Imagon Oy
Date 13 April 2006	Total Number of Pages and Appendices 57+37
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by Imagon Oy. The purpose of the thesis was to make a reliability test series for LEDs. The test plan was designed and implemented in the R&amp;D facilities at Imagon. Testing was made in a climate test chamber and the measurements were made by using a luminance and multimeter. In the measurements an X-ray measurement device was used in Kajaani University of Applied Science facilities.</p> <p>Testing was executed by using the changing temperature and humidity testing method. The thesis also includes information on the reliability of the Luxeon LEDs and other electronic devices. The goal of the thesis was to evaluate factors which influence reliability in the LED module.</p> <p>The test samples were measured before and after environmental stress. The results were set into tables and analysed factor by factor. In this way reasons for possible dimming or failures could be found very accurately.</p> <p>As a result of the thesis, a new reason for the dimming of LEDs was found. Dimming during the operation is caused by the reverse connection of the LED module to the power supply. New information was also received on LED color shift during the experiments.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	LED, environmental test
Deposited at	<input type="checkbox"/> Kaktus Database at University of Applied Sciences Library <input checked="" type="checkbox"/> Library of University of Applied Sciences

## SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	5
2 SÄHKÖISTEN LAITTEIDEN VIKAANTUMINEN .....	7
2.1 Vikaantuminen .....	7
2.2 Suunnitteluviat .....	7
2.3 Komponenttivial .....	8
3 LUOTETTAVUUS .....	12
4 LEDIEN LUOTETTAVUUS .....	13
4.1 LEDien vikaantumistiheys .....	15
4.2 LEDien valovirran muutokset .....	18
4.3 LEDien viat.....	20
5 KÄYTTÖOLOSUHTEIDEN VAIKUTUS ELEKTRONIIKKAAN .....	22
5.1 Sähköiset häiriöt .....	22
5.2 Lämpötila .....	22
6 YMPÄRISTÖTESTAUS .....	24
7 LED-MODUULI I .....	26
8 TESTIT .....	29
9 TESTAUSJÄRJESTELYT .....	33
10 TULOSTEN ARVIOINTI .....	44
11 YHTEENVETO.....	54

LÄHTEET

LIITTEET

## 1 JOHDANTO

Insinööri työ on tehty Imagon Oy:lle. Imagon Oy suunnittelee, valmistaa ja huoltaa valomainoksia. Yrityksen tuotteisiin kuuluvat LED-, neon- ja kotelovalomainosten lisäksi erilaiset mainossovellukset, opasteet, markiisit ja teippaukset.

Vuonna 1991 Kymppineon Oy -nimisenä perustettu Imagon Oy on nopeasti kasvava ja kehittyvä yritys. Vuonna 2004 Imagonin liikevaihto oli noin 11 miljoonaa euroa ja konsernin palveluksessa oli 120 työntekijää. Pääkonttori ja tuotekehitysyksikkö sijaitsevat Kajaanissa. Tuotanto on keskittynyt Suomeen ja Ruotsiin. Tehtaat sijaitsevat sekä Kajaanissa että Leksandissa. [1.]

Tässä työssä on tutkittu Imagon Oy:n kehittämää LED (Light Emitting Diode) – moduulia. Testien kautta on varmennettu moduuli I-rakenteen toimivuus sekä etsitty mahdollisia virheitä rakenteesta. Lisäksi työssä on käsitelty yleisimminkin elektroniikkaa sisältävien laitteiden ja LEDien vikaantumista.

Moduuli I on kehitetty nopeuttamaan valomainosten kokoonpanoa. Lisäksi moduulirakenne suojaa LEDiä ja sen juotoksia ympäristön rasituksilta. Oikein toteutettuna LED-tekniikan avulla voidaan toteuttaa turvallisia, ympäristöystävällisiä ja kestäviä valomainoksia. LED-valaistuksella valomainoksesta voidaan tehdä rakenteeltaan kevyempiä ja ohuempia kuin perinteisillä valaisutekniikoilla. LED-valaistuksella toteutetun valomainoksen syvyys on normaalisti noin 150 mm:n. Erikoisratkaisuilla voidaan päästä jopa 30 mm syvyyteen asti. Suurissa pinnoissa syvyyttä kasvattamalla päästään kustannustehokkaaseen ja laadukkaaseen valaisuratkaisuun. LED-valaistuksella voidaan käytännössä toteuttaa kaikki mahdolliset valomainosten etupintojen värit ja väriyhdistelmät. [2.]

Insinööri työnsä tärkein koeympäristö oli sääkaappi, ja muita tutkimuslaitteita käytettiin tarpeen mukaan. Sopivan sääkaapin sekä valaistusmittarin hankinta kuului osaksi opinnäytetyötä. Työssä käytetyt testien asetusarvot määritettiin yleisiä standardeja apuna käyttäen sekä kilpailevien LED-nauhojen testausta

mukaillen. Testien asetusarvot mukautettiin moduuli I rakenteessa käytettäville materiaaleille sopiviksi.

Työn tuloksia hyödynnetään uuden LED-moduuli II:n suunnittelussa sekä valmistuksessa. Moduulin testaaminen sääkaappikokein tulee helpottamaan asiakkaille annettavan takuuajan määrittelyä. Työn aikana testattiin sääkaapissa myös LED-moduulin lisäksi Imagonin uusi teholähde II. Työn avulla saadaan varmistettua lisäksi uuden tehonlähteen luotettavuus vaihtelevissa ympäristöolosuhteissa.

## 2 SÄHKÖISTEN LAITTEIDEN VIKAANTUMINEN

Tuotteen valmistajalle on tärkeää, että asiakkaalle myytävä tuote on luotettava ja kestävä. Vikaantunut tuote aiheuttaa valmistajalleen yleensä tarpeettomia lisäkuluja takuukorjausten muodossa. Tästä johtuen myytävien tuotteiden luotettavuudesta pyritään varmistumaan kokeellisesti. Lisäksi vikaantuvat tuotteet heikentävät yrityksen kilpailukykyä, koska tuotteiden imago kärsii asiakkaiden keskuudessa. Asiakkaan heikentynyt luottamus tuotteeseen vaikuttaa täten myös tuleviin investointipäätöksiin. Vikaantuneet laitteet vaikuttavat pitkällä tähtäimellä yrityksen tulokseen.

### 2.1 Vikaantuminen

Laitetta voidaan pitää vikaantuneena, kun se ei pysty suoriutumaan normaalista tehtävästään. Valomainoksissa vikaantuminen ilmenee tummina tai välkkyvinä kohtina valaistuissa pinoissa. Elektronisten laitteiden vikaantumista tarkasteltaessa puhutaan useimmiten komponenttien vikaantumisesta, koska laitteen rikkoontuminen johtuu jonkin sen komponentin vikaantumisesta.

Esiintyvät viat voivat olla näkyviä tai piileviä vikoja. Havaittavat viat on yleensä helppo paikantaa yksinkertaisella toiminnan testauksella. Piilevät viat vaikuttavat pitkäaikaiseen luotettavuuteen ja tulevat esille vasta useiden käyttötuntien jälkeen. Tästä johtuen piilevien vikojen syitä on hankalempi paikantaa. Lisäksi viat eivät yleensä esiinny kaikissa tuotteissa, josta johtuen tarvittavan testausotoksen aikaansaaminen on hankalaa.

Vikaantumisen syyt voidaan jakaa seuraavasti.

### 2.2 Suunnitteluviat

Useimmiten suunnittelusta aiheutuva vikaantuminen johtuu huonosta perehtymisestä kehitettävän laitteen kokemiin rasitukseen kenttäolosuhteissa. Tästä johtuen käytettävät komponentit alimitoitetaan todellisiin rasitusasteisiin nähden. Lisäksi eri aineiden keskinäinen reagointi voi jäädä selvittämättä kiireellisten

aikataulujen vuoksi. Prototyypeissä käytetyt komponentit voivat edelleen olla täysin toisenlaisia kuin lopullisessa tuotteessa. Sähköisten arvojen muuttuminen erilaisissa olosuhteissa voi jäädä huomioimatta. Pienikin poikkeama tai virhe lopullisen tuotteen kokoonpanossa saattaa aiheuttaa luotettavuuden heikkenemisen lopputuotteessa. Alihankintana valmistettavissa tuotteissa on huomioitava mahdolliset muutokset materiaaleissa sekä tuotantotavoissa. Suunnitteluviat voivat johtua myös puutteellisista määrittelyistä ja ohjeistuksesta.[3.]

### 2.3 Komponenttivialat

Yleisesti nykyisten tuotantoprosessien hallinta on niin hyvä, että komponenttivialat ei juuri esiinny elektroniikan tuotannossa. Vikaantumiset esiintyvät yleensä uusissa markkinoille tulevilla tuotteilla suunnitteluvialoina. Kuitenkin komponenttien väärä käsittely tuotantovaiheessa voi aiheuttaa komponenttivialat. Näitä käsitellään tarkemmin seuraavassa alaotsikossa.

Komponenttivialat voidaan estää vastaanottotarkastuksilla, joissa tutkitaan saapuneet komponentit. Elektroniikan tuotannossa käytetään yleensä otantatutkimusta. Niissä otetaan satunnaisesti muutamia yksilöitä testeihin, joilla varmennetaan komponentin toimivuus. Mikäli vikaantuneesta komponentista ei aiheudu kohtuuttomia kustannuksia yritykselle, voidaan yksittäisten komponenttien toimivuuden testaaminen jättää suorittamatta. Tällöin testataan ainoastaan lopullisen tuotteen toimivuus. Vikaantuneet tuotteet korjataan tai romutetaan.[3.]

Yleisimmin tyydytään valmistajan suorittamaan tuotantotestaukseen. Tällöin ei suoriteta enää lisätestejä omassa tuotannossa. Näin toimittaessa on syytä tutustua valmistajan suorittamaan testaukseen sekä sopia paljonko vikaantuneita komponentteja saa esiintyä toimitettavissa komponenttialatierissä. Lisäksi sovitetaan mahdollinen korvausmenettely vikaantuneiden komponenttien kohdalla.



## 2.3 Tuotantoviat

Tuotantoviat voivat johtua virheellisestä suunnittelusta. Tavaroiden varastointi, valmistusmenetelmät ja kuljetukset voivat aiheuttaa piileviä tai näkyviä vikoja lopputuotteeseen. Esimerkiksi liian korkea lämpötila juotosvaiheessa aiheuttaa useimmiten piileviä vikoja komponentteihin ja täten heikentää lopputuotteen luotettavuutta. Komponentteihin varastoinnissa imeytynyt kosteus aiheuttaa juotosvaiheessa halkeamia muovikoteloihin.[3.]

Tuotantovaiheessa herkäät komponentit voivat rikkoontua esimerkiksi ESD:lle (Electro-static Discharge) eli staattiselle sähkönpurkaukselle altistumisen johdosta. Lisäksi komponenttien asennuksessa on huomioitava polariteetit, ladontavoimat sekä yleisesti hienovarainen käsittely. Suunnitteluvaiheessa on siis otettava huomioon kaikki tuotannon varastointi-, kuljetus- ja tuotantojärjestelyt. [3.]

### ESD

Staattiselta sähköltä suojaaminen on tullut ajankohtaiseksi kaikkialla, missä ollaan tekemisissä nykYTEKNIKALLA toteutettujen komponenttien, komponenttilevyjen ja elektronisten laitteiden kanssa. Ihmisen toiminta ja olosuhteet työskentelytiloissa vaikuttavat ratkaisevasti staattisten sähkövarausten syntyymiseen. Varaukset purkautuvat useimmiten huomaamatta aiheuttaen herkkien komponenttien tuhoutumista tai osittaista vaurioitumista. [4.]

Seurauksena on laitteiden toimintahäiriöitä, ylimääräisiä korjauksia ja ennen kaikkea taloudellisia menetyksiä. Staattisen sähköön ongelmia voidaan tehokkaasti ehkäistä opettelemalla oikeat työskentelytavat ja suojaamalla työtilat asianmukaisesti. Suojauksessa on tärkeää huomioida kokonaisvaltainen ajattelu. [4.]

Suojaus aloitetaan komponenttitasolta ja ulotetaan koko ketjun lävitse valmistuksesta, varastoinnista ja kuljetuksista aina käyttöön ja huoltoon saakka. Esimerkiksi kansainvälinen laatunormisto ISO 9000 edellyttää tuotteiden suoja-

mista vaurioitumiselta käsittelyn ja varastoinnin aikana. Oikeaoppinen käsittely ja staattiselta sähköltä suojatut työtilat ovat olennainen osa elektroniikkalaitteiden laadunvarmistusta. [4.]

### 2.3.2 Juotosviat

Juotosviat voidaan jakaa karkeasti kolmeen karkeaan pääryhmään: Juotteen volyymiviit, lämpötilan vaikutukset ja kostutusongelmat. Elektroniikka-teollisuudessa on kuluvan vuoden aikana siirryttävä (1.7.2006 mennessä) lyijyttömään juottamiseen. Tällä on oleellinen vaikutus elektroniikan juotosten luottavuuteen.

#### Juotteen volyymiviit

Juotteen volyymiviit ilmenevät oikosulkuina ja avoimina liitoksina. Liiallisesta pastan (tai juotteen) annostelusta ennen juotosprosessia seuraa juotteen karkaaminen liitosalueilta. Karkaaminen aiheuttaa sähköä johtavia siltoja komponentista toiseen. Avoimilla juotoksilla tarkoitetaan puutteellisista kontakteista liitospinnan ja komponentin välillä. Avoin juotos voi johtaa sähköä, joten sitä ei välttämättä havaita sähköisellä testauksella. Visuaalisella tarkastuksella juotteen puuttuminen on kuitenkin havaittavissa. Padien mitoitus vaikuttaa myös oleellisesti juotteen tasaiseen jakautumiseen liitospinnoille.

#### Lämpötilan vaikutukset

Tuotteelle sopivaa juotoslämpötilaa määritettäessä on huomioitava käytettävien materiaalien lämpölaajenemiskertoimet ja suurimmat sallitut lämpötilat. Liian korkea lämpötila aiheuttaa komponenttien koteloinnintien halkeamisia sekä mahdollisia sisäisiä vaurioita. Korkea lämpötila ja liian pitkä juotosaika kasvattaa juotoksessa välimetallikerrosta.

Kahta pintaa yhteen juotettaessa niiden rajapintaan muodostuu aina ns. välimetallia. Se on seos juottamiseen käytetyistä metalleista. Elektroniikkajuotoksissa em. metalli (yleisimmin) koostuu tinasta, lyijystä ja kuparista ja on ominaisuuk-

siltaan pehmeää, mutta haurasta. Vaikka välimetallin muodostuminen on juottamisen kannalta välttämätöntä, on juotoksen kestävyuden kannalta toivottavaa että sitä muodostuisi mahdollisimman vähän. Mitä pitempi juotosaika ja korkeampi juotoslämpötila, sitä enemmän välimetallia muodostuu. [5.]

Juotostapahtuman tulisi siis tapahtua niin ripeästi kuin mahdollista. Hosumalla juotosaika kuitenkin vain pitenee. Jos juotos ei onnistu kerralla, vaan juotossaumaa joudutaan kuumentamaan, lisääntyy välimetallin määrä koko ajan. Samalla juotossauma hapettuu vaikeuttaen juottamista. [5.]

### Kostutusongelmat

Juottamisessa kostutusongelmilla tarkoitetaan huonoa juotteen leviämistä juotettaville pinnoille. Komponenttien juotospinnat hapettuvat varastoinnissa, mikäli olosuhteet eivät ole hyvät. Metallipintojen hapettumiseen vaikuttaa varastointiaika, ilmankosteus, lämpötila sekä metallin koostumus. Juotospintojen hapettuminen vaikeuttaa juotosten tekemistä, koska juote ei leviä juotospinnoille. Hapettuneiden pintojen juottamiseksi juotteen fluksin on oltava tehokkaampi, jotta saavutetaan luotettava juotosliitos. Hapettuneita juotospintoja on kuumentettava kauemmin, jotta fluksi puhdistaa liitoskohdat.

### ROHS-direktiivi

Elektroniikkateollisuudessa siirrytään lyijyvapaisiin tuotteisiin kuluvan vuoden (2006) heinäkuun alusta lähtien. Muutos vaikuttaa juotteiden, juoksutteiden ja komponenttien valintaan. Yleisesti ottaen lyijyttömien sulamispisteet ovat korkeampia kuin lyijyllisten juotteiden. Korkeammasta juotoslämpötilasta johtuen komponenttien pitkäaikainen luotettavuus voi heikentyä ja kohonnut lämpötila lisää välimetallikerrosten muodostumista. Lisäksi tuotteet on suunniteltava uudestaan, mikäli kaikkia käytettäviä komponentteja ei saada lyijyvapaina. Lähteessä 6 on käsitelty tarkemmin lyijytöntä juottamista

### 3 LUOTETTAVUUS

Luotettavuudella tarkoitetaan laitteen kykyä toimia halutulla tavalla ilman häiriöitä ja käyttökeskeytyksiä. Luotettavuutta voidaan parantaa huolellisella suunnittelulla ja testauksella. Epäluotettavien tuotteiden myyminen asiakkaille aiheuttaa kustannuksia takuukorjausten muodossa ja lisäksi heikentää yrityksen imagoa.

Luotettavuutta voidaan lisätä vähentämällä vikaantuvien kohteiden määrää. Toisin sanoen jokainen liitos ja komponentti heikentää lopputuotteen luotettavuutta. Tästä johtuen tuote tulisi suunnitella mahdollisimman yksinkertaiseksi ja pelkistelyksi. Toimintamallia kutsutaan suunnittelun yksinkertaistamiseksi. Toleranssisuunnittelussa komponentit mitoitetaan siten, että niihin ei kohdistu liian suuria rasituksia normaaleissa käyttöolosuhteissa. Optimointia voidaan tehdä vähentämällä komponenttien rasituksia (esim. pienentämällä virtoja) tai mitoittamalla komponentit siten, että ne toimivat reilusti turvallisella toiminta-alueella.

Luotettavuutta voidaan parantaa myöskin varmentamisella. Varmentamisella tarkoitetaan sitä, että laitteen toiminnan jatkuminen on turvattu myös vikatilanteissa. Varmentaminen voidaan jakaa aktiiviseen ja passiiviseen varmentamiseen. Aktiivisessa varmennuksessa laitteen osat toimivat rinnakkain, mutta vikatilanteessa viallisen komponentin vaikutus toimintaan estetään.

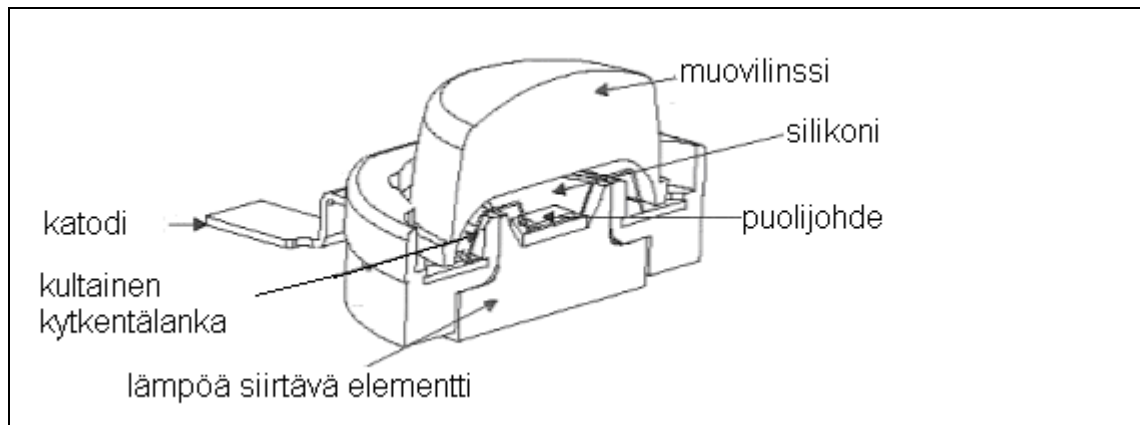
Passiivisessa varmistuksessa varmentava komponentti osallistuu laitteen toimintaan pelkästään vikatilanteissa. Moduuli I-rakenteessa varmennus on hoidettu kytkemällä zenerdiodi passiivisesti LEDin rinnalle. LEDin vikaantuessa virta pääsee kulkemaan zenerin lävitse, eikä sarjakytkeä vikaannu. Lisäksi johdot on liitetty LEDiin neljästä juotospisteestä, mikä parantaa moduulin luotettavuutta mahdollisten kylmäjuotosten tai muiden juotosvikojen varalta.

#### 4 LEDIEN LUOTETTAVUUS

LEDit ovat luotettavia ja pitkäikäisiä komponentteja verrattuna esimerkiksi hehkulamppuihin. Hehkulamppu palaa selkeästi loppuun tietyn käyttöajan jälkeen. Vastaavasti LEDien valovirta alenee tasaisesti käyttöajan lisääntyessä. Himmenemisen nopeus riippuu ohjausvirran suuruudesta ja käyttölämpötilasta. LEDin sisällä olevan puolijohteen lämpötilan pysyessä annettujen raja-arvojen puitteissa rikkoontumisia tapahtuu vain satunnaisesti. Rikkoontumisten määrä voidaan määrittää vakioksi, joka noudattaa puolijohteiden keskimääräisen vikavälin (MTTF=Mean Time To Failure) yhtälöä. Luxeon LEDeillä keskimääräisenä vikavälinä voidaan käyttää valmistajan kokemusten perusteella 100 000 000 tuntia.[7,s.15.]

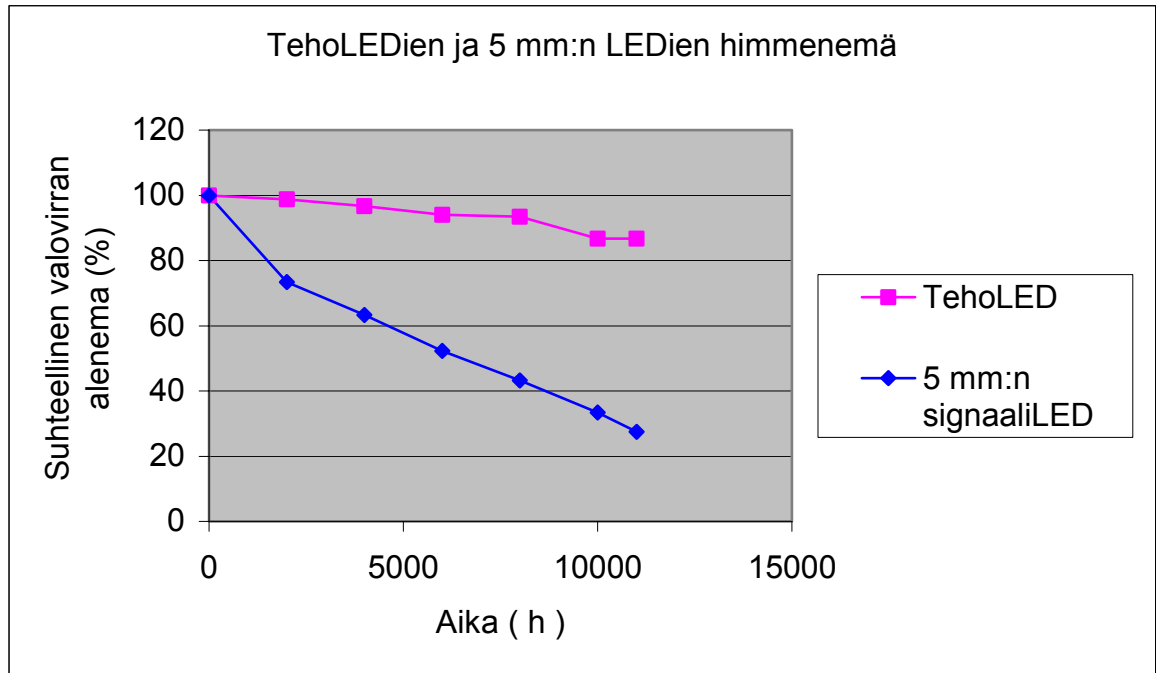
LEDin luotettavuus riippuu sen puolijohteen ja koteloinnin kestävydestä. Ympäristönlämpötilojen muutokset ja komponentin puolijohteen kuumeneminen voivat aiheuttaa mekaanisia jännityksiä LEDien kotelointiin. Jännitykset syntyvät eri materiaalien erilaisten lämpölaajenemiskertoimien seurauksena. Mekaaniset jännitykset voivat aiheuttaa säröilyä, liitosten erkanemista tai puolijohteen liittämiseen käytettyjen kultalankojen irtoamisen. Edellä mainittujen ilmiöiden seurauksena LED voi rikkoontua lopullisesti.[7,s.12]

Jopa 85 % LEDiin kohdistuvasta tehosta muuttuu lämmöksi. Tästä johtuen puolijohteen lämpötila on käytön aikana aina korkeampi kuin ympäristön lämpötila. Puolijohteen loppulämpötila riippuu komponenttien häviötehosta ja lämmönsiirtoavastuksesta. Luxeon LEDeissä kotelointirakenne poikkeaa huomattavasti esimerkiksi signaaliLEDeissä käytetystä rakenteesta. TehoLEDin puolijohdesiru on kiinnitetty metallista valmistettuun jäähdytyslementtiin, joka mahdollistaa tehokkaan lämmönsiirron edelleen koko komponentin jäähdytyslementtiin. Kuvassa 1 on esitetty Luxeon LEDien kotelointi.[7,s.12.]



*Kuva 1. Luxeon LEDien kotelointi [6,s.3]*

Luxeon LEDien sisällä on patentoitu silikoni, joka parantaa komponentin optisia ja mekaanisia ominaisuuksia. Perinteisesti LEDeissä on käytetty kotelointimateriaalina epoksia, jonka kovuus on estänyt bondauslankojen vapaan liikkumisen lämmönvaihtelujen seurauksena. Nykyiset pehmeämmät kotelointimateriaalit sallivat rakenteen toiminnan eri lämpötiloissa ilman siihen kohdistuvia merkittäviä mekaanisia rasituksia. Lisäksi silikonin lämmönkestävyys on huomattavasti parempi kuin epoksin, joten se soveltuu paremmin tehoLEDeihin. Epoksilla on myös huomattavasti huonompi UV valon kestävyys verrattuna silikoniin. Tästä johtuen uudet LEDit himmenevät aiempia komponentteja hitaammin. Kuva 2 esittää tehoLEDin himmenemisen verrattuna 5 mm:n signaaliLEDeihin.[7,s.4.]

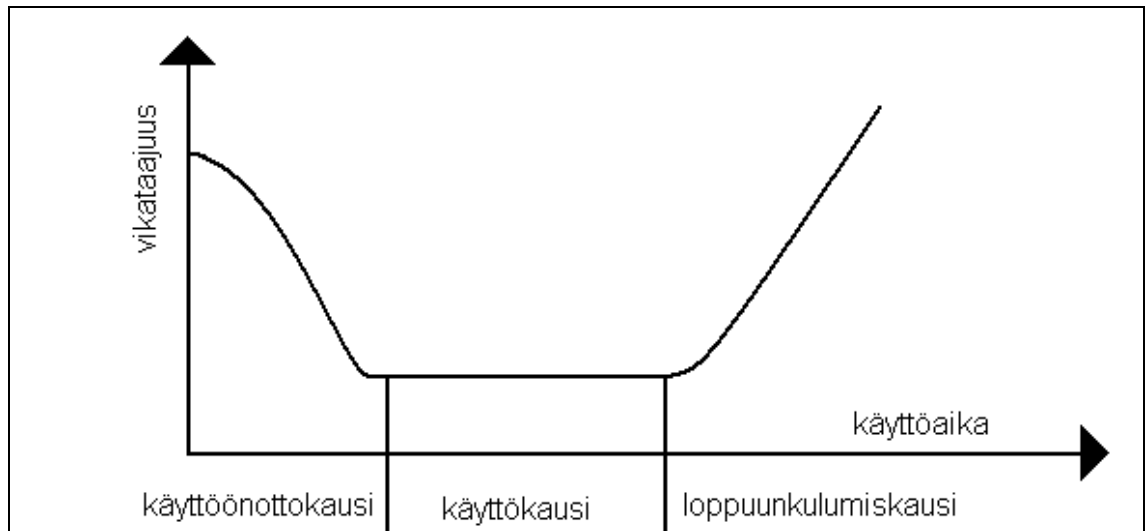


Kuva 2. TehoLEDien ja 5 mm:n LEDien himmenemä [7,s.4]

Kuvassa 2 perinteisten 5 mm:n LEDien ohjausvirta on 20 mA, vastaavasti tehoLEDillä 350 mA. LEDejä on rasitettu huoneenlämpötilassa ja molempien LEDien puolijohteen lämpötila on ollut rasitusten aikana alle 90 °C.

#### 4.1 LEDien vikaantumistiheys

Vikaantumistiheys on rikkoontuneiden LEDien ja niiden rikkoontumista edeltävän käyttöajan suhde. Sähköisten komponenttien elinikä voidaan jakaa kolmeen osaan, jossa jokaisessa on erilainen vikaantumistiheys. Ensimmäistä osaa kutsutaan käyttöönottokaudeksi, jolloin vikatiheys on suuri huonojen komponenttien rikkoontuessa. Käyttökaudella vikaantumistiheys on lähes vakio. Viat ovat satunnaisia ja niitä ei voi juurikaan ennustaa. Loppuunkulumiskaudella vikaantumistiheys kasvaa, koska komponenttien elinikä alkaa olla loppuillaan. Kuva 3 esittää nk. kylpyammekäyrän, joka kuvaa sähköisten komponenttien vikaantumistiheyden muutosta eliniän funktiona.



Kuva 3. Vikaantumistiheyden muutos eliniän funktiona [7,s.6]

Luotettavuus ilmaistaan todennäköisyytenä, jolla laite toimii tietyn ajanjakson. Käyttökauden vikataajuuden ollessa vakio voidaan luotettavuus laskea kaavalla 1.

$$R(t) = \exp[-\lambda t] \quad (1)$$

$R(t)$  todennäköisyys, jolla laite toimii ajan  $t$

$\lambda$  vikaantumistaajuus (1/MTTF)

$t$  laitteen/komponentin käyttöaika

MTTF (kpl x käyttöaika)/riikkoontuneet kpl

Vikaantumistaajuus (MTTF) lasketaan jakamalla käyttöaika rikkoontuneilla laitteilla (kpl). Luxeon LEDeillä voidaan käyttää kokemusperäistä arvoa 1 000 000 (puolijohteen lämpötilan ollessa enintään 90 °C). [7,s.7.]

Vikaantumistaajuus jossakin toisessa puolijohteen lämpötilassa voidaan määrittää kaavalla 2 [7,s.8].

$$\lambda_2 = \lambda_1 \exp\left[\frac{E_A}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right] \quad (2)$$



$\lambda_1$	vikaantumistaajuus puolijohteen lämpötilassa $T_1$
$\lambda_2$	vikaantumistaajuus puolijohteen lämpötilassa $T_2$
$E_A$	aktivointienergia [0,43 eV]
$k$	Bolzmanin vakio [ $8,617 \cdot 10^{-5}$ eV/K]
$T_1$	puolijohteen lämpötila, jolla vikaantumistaajuus on tiedossa
$T_2$	puolijohteen lämpötila, jossa vikaantumistaajuus halutaan määrittää

Kaavan aktivointienergia perustuu Agilentin ja Lumiledsin pitkällisiin tutkimuksiin LEDien luotettavuudesta. Useamman komponentista koostuvan systeemin luotettavuus voidaan laskea kaavalla 3 [7,s.8].

$$R(t) = \exp\left[-\left(\sum_i \lambda_i\right)(t)\right] \quad (3)$$

Täysin identtisille komponenteille (n kpl) luotettavuus saadaan kaavalla 4 [7,s.8].

$$R(t) = \exp[-\lambda nt] \quad (4)$$

Yhden tai useamman komponentin rikkoutumisen todennäköisyys kytkennässä saadaan kaavasta 5 [7,s.8].

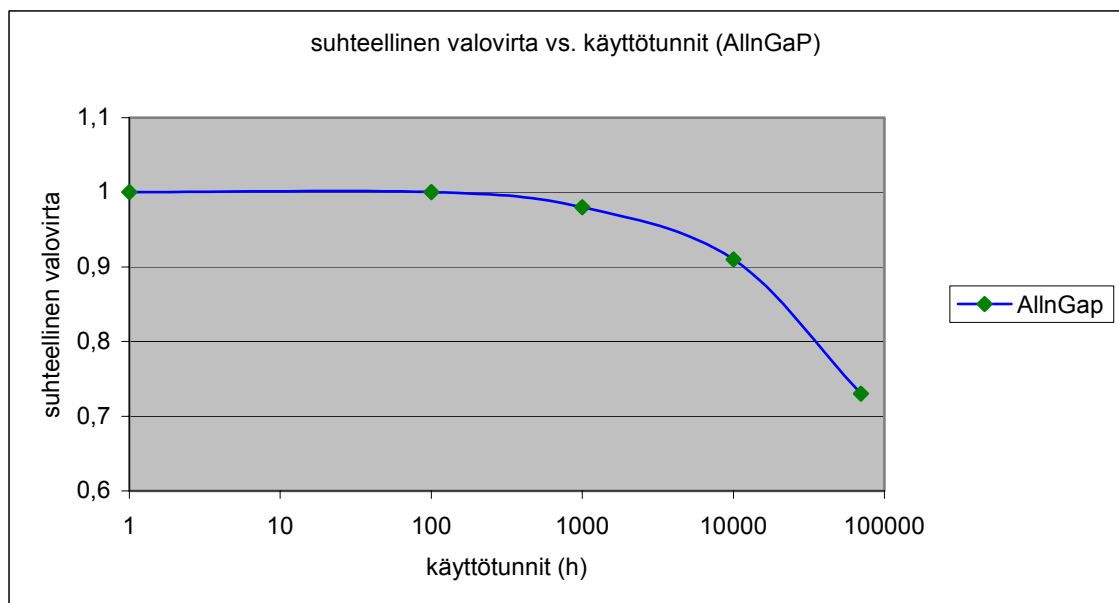
$$P(n_x) = \frac{n!}{(n-x)!x!} p^x (1-p)^{n-x}$$

x	oletettavasti vikaantuvien komponenttien lkm
n	komponenttien lukumäärä
p	todennäköisyys rikkoontumiselle

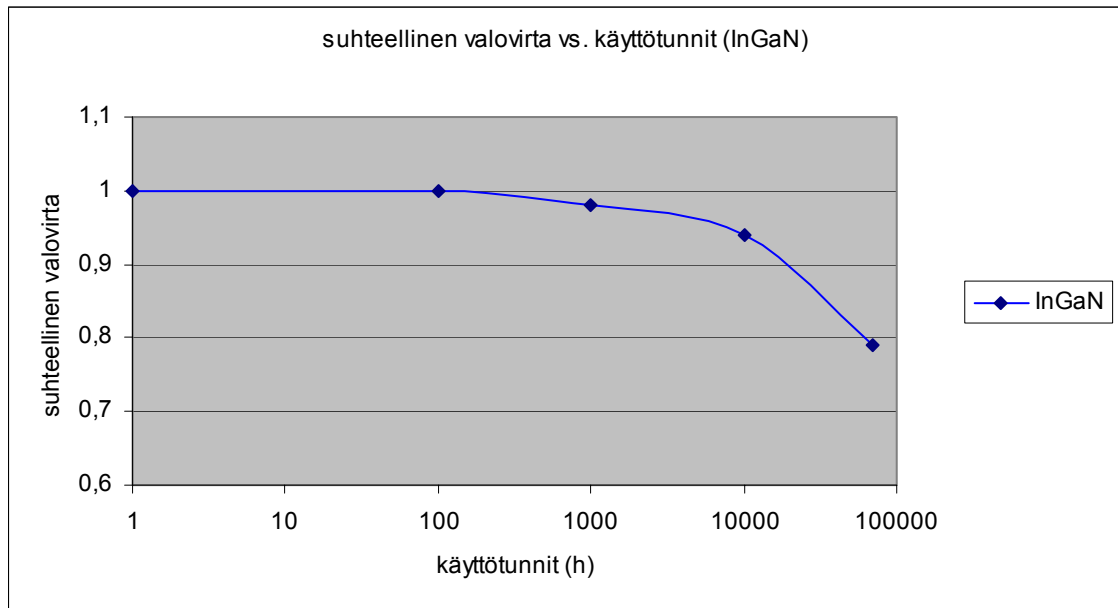
## 4.2 LEDien valovirran muutokset

LEDien valovirta laskee käyttötuntien lisääntyessä. Ilmiö johtuu sirun valontuotokyvyn ja optiikan heikkenemisestä. Valovirran muutos on nopeinta muutamien ensimmäisten käyttötuntien aikana, jonka jälkeen muutos hidastuu. Kuvassa 4 on esitetty Luxeon AllnGaP ( $I_f = 350 \text{ mA}$ ,  $T_J < 71 \text{ °C}$ ) LEDien himmeneminen käyttöajan funktiona. Kuvaajasta nähdään valovirran heikkenevän ainoastaan 9 % 10 000 tunnissa. Luxeon InGan LEDillä valovirran heikkeneminen on vieläkin pienempää vastaavalla puolijohteen lämpötilalla ja ohjausvirralla. Kuva 5 esittää InGan LEDien valovirran muutosta. [7,s.9.]

Punaisten ja keltaisten LEDien valmistuksessa käytettävä yhdistelmäpuolijohde on AllnGaP (Alumiini Indium Gallium Fosfidi). Siniset, syaanit, vihreät ja valkoiset LEDit perustuvat puolestaan InGaN–materiaaliyhdistelmään (Indium Gallium Nitridi).

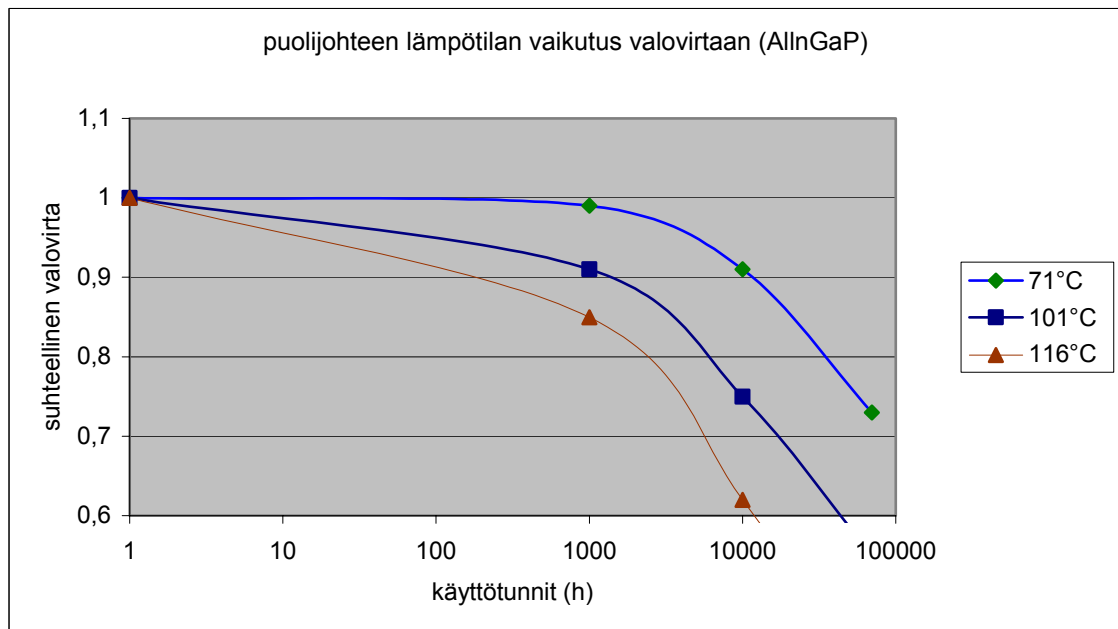


Kuva 4. Luxeon AllnGaP LEDien valovirran heikkeneminen [7,s.9]



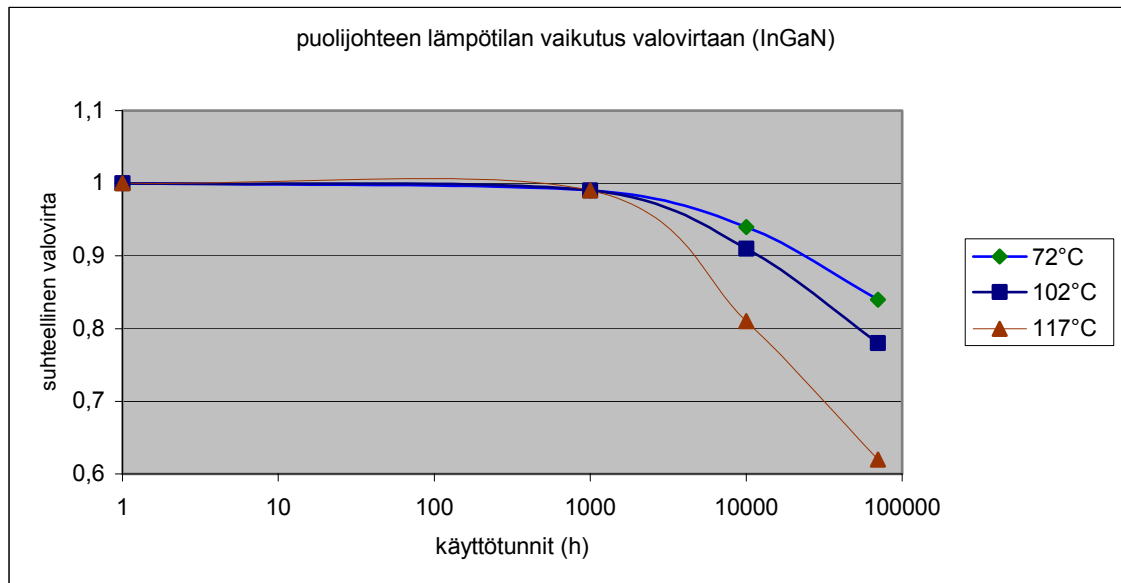
Kuva 5. Luxeon InGaN LEDien valovirran heikkeneminen [7,s.9]

LEDin puolijohteen lämpötilalla toiminnan aikana on ratkaiseva merkitys valovirran muutokseen. Kuvassa 6 nähdään valovirran heikkeneminen erilaisilla puolijohteen lämpötiloilla.



Kuva 6. Puolijohteen lämpötilan vaikutus AlInGaP LEDin valovirran alenemiseen [7,s.9]

Lämpötilan vaikutus on pienempi InGaN LEDeillä. Kuva 7 esittää puolijohteen lämpötilan vaikutuksen InGaN LEDin himmenemiseen.



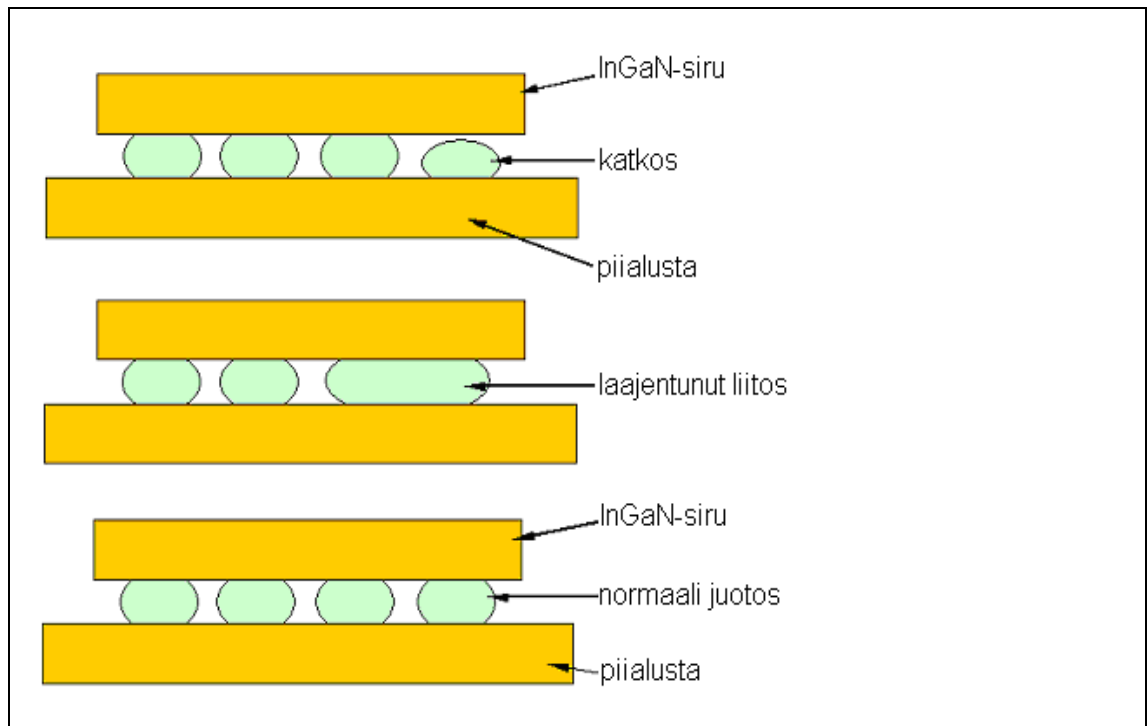
*Kuva 7. Puolijohteen lämpötilan vaikutus InGaN LEDin valovirran alenemiseen [7,s.9]*

#### 4.3 LEDien viat

Yleisimpiä syitä LEDien vikaantumiseen ovat liian suuri virta tai virtapiikki. Liian suuri virta aiheuttaa kultalangan sulamisen tai puolijohdekerrosten erkanemisen toisistaan (terminen ylikuormittuminen). LEDien juotokset voivat myös sulaa liian suuren virran aiheuttaman lämpenemisen seurauksena. Kuvassa 8 on esitetty yleisimpiä ylikuumentumisen aiheuttamia vikoja.

LED voi rikkoontua myös suhteellisen pienestä virtapiikistä, kuitenkin tehollähde yleensä suojaa komponenttia niiden varalta. Luxeon LEDit on suunniteltu toimimaan jatkuvasti puolijohteen lämpötilan ( $T_j$ ) ollessa alueella  $-40\text{ °C} \dots 130\text{ °C}$ .

Sirun maksimilämpötilaa ylitettäessä vikaantumisherkkyys kasvaa hyvin voimakkaasti. Luotettavan toiminnan saavuttamiseksi suositellaan, että  $90\text{ °C}$  sirun lämpötilaa ei saa ylittää. Jatkossa sallitut puolijohdelämpötilat tulevat kasvamaan. [7,s.11.]



Kuva 8. Ylikuumentumisvikoja Luxeon InGaN-LEDissä [7,s.13]

Ylikuumentumisen aiheuttamilta vioilta voidaan suojautua huolehtimalla riittävästä komponentin jäähdytyksestä. Moduuli I rakenteessa on integroitu jäähdytysriipa tätä tarkoitusta varten.

## 5 KÄYTTÖOLOSUHTEIDEN VAIKUTUS ELEKTRONIIKKAAN

### 5.1 Sähköiset häiriöt

LEDit eivät kestä suuria tai pitkäaikaisia sähköisiä transientteja. Transientit aiheuttavat siruun piileviä tai välittömiä näkyviä vikoja. Luxeon LEDeissä on suojaus lieviä transienttivirtoja vastaan. Transienttivirrat syntyvät jännitteen äkillisestä vaihtelusta. Luxeon LEDit kestävät alle 50 mA estosuuntaisia transienttivirtoja vähäisin vaurioin. Tätä suuremmat estosuuntaiset virrat voivat rikkoa LEDin äkillisesti. Luxeon emitterin läpilyöntijännitteeksi on määritetty 20 V (AlInGaP), jolloin estosuuntainen virta ylittää sadan mikroampeerin rajan.[7,s.10.]

### 5.2 Lämpötila

Lämpötila on luotettavuuteen ja käyttövarmuuteen eniten vaikuttava muuttuja elektroniikassa. Lämpötila toimii vikaantumismekanismien kiihdyttäjänä useissa tapauksissa, mm. korroosiossa. Lämpötilariippuvuudet noudattavat Arrheniuksen reaktionopeusyhtälöä:

$$R = R_0 e^{\left(\frac{-E_A}{kT}\right)}$$

k	Boltzmanin vakio
R	reaktionopeus
R <sub>0</sub>	reaktiovakio
E <sub>A</sub>	vikamekanismin aktivoitumisenergia
T	lämpötila

Käyttölämpötilan noustessa 10 °C laitteen tai komponentin vikataajuus kaksinkertaistuu. Käyttölämpötila vaikuttaa erityisesti puolijohteiden liitoslämpötilaan ja rajoittaa niiden tehonkestoa. Lisäksi useat komponenttien sähköiset ominaisuudet ovat lämpötilariippuvia. Materiaalien ominaisuudet muuttuvat huomatta-

vasti lämpötilan vaikutuksesta. Lämpötilan muutokset aiheuttavat myös jännityksiä liitoksiin ja suojarakenteisiin. [9,s.14.]

Laitteeseen syntyvä hukkalämpö on siirrettävä laitteen ulkopuolelle joko johtamalla, konvektiolla tai säteilyn kautta. Lämpötilojen minimoimiseksi laite tulisi suunnitella aina mahdollisimman vähän lämpöä tuottavilla komponenteilla. [8,s.14.]

Lämpötilan muutokset rasittavat kohtia, joissa kaksi eri materiaalista tehtyä kappaletta on liitetty toisiinsa. Materiaalien erilaisista lämpölaajenemiskertoimista johtuen materiaalit laajenevat eri tavalla toisiinsa nähden. Tuloksena syntyy jännityksiä liitoskohtaan. Tämän vuoksi suunnittelussa on otettava huomioon lämpölaajenemiskertoimet ja valittava materiaalit siten, ettei liian suuria jännityksiä pääse syntymään. Lisäksi on muistettava, että matalissa lämpötiloissa tapahtuu kosteuden tiivistymistä rakenteiden pinnoille, mikä kasvattaa korrosioriskiä ja voi kasvattaa LED-kytkentöjen vuotovirtoja.

### 5.3 Kosteus ja epäpuhtaudet

Kosteus koostuu veden lisäksi useista kemiallisista aineista, joista NaCl on tuhoisin. Kemiallisista vaikutuksista tutuin on korrosio, mekaanisista mm. jäätyminen. Myös kuivuus tuottaa ongelmia, sillä useat ei-metallit soveltuvat tarkoitukseensa mikäli niiden kosteus on riittävän suuri. [8,s.14.]

Kosteus synnyttää ongelmia, joita ei muuten esiintyisi. Tyypillinen tapaus on pölyn ja lian kerääntyminen laitteeseen, siitä johtuva ilmarakojen tukkeutuminen (lämpeneminen) ja mekaanisten osien kuluminen. Korrosio on sähkökemiallinen prosessi, joka vaatii kosteuden, DC-jännitteen ja  $\text{Na}^+$ - sekä  $\text{Cl}^-$ -ionien läsnäolon. Sitä ei synny, jos yhdenkin tekijän vaikutus on estetty. Korrosio aiheuttaa mm. katkoksia ja oikosulkuja vierekkäisten johtimien välille. Muovikoteloidut komponentit ovat hermeettisiä ja keraamisia kotelaita alttiimpia, sillä kosteus diffusoituu puolijohteeseen kotelorakenteen läpi. [8,s.14.]

## 6 YMPÄRISTÖTESTAUS

Ympäristötesteillä voidaan osoittaa, että laite toimii määritellyissä olosuhteissa ilman palautumattomia vaurioita. Ympäristötestien tarkoituksena ei ole matkia tuotteen todellisia ympäristöolosuhteita, vaan toistaa ympäristöolosuhteiden vaikutuksia testattavaan tuotteeseen. Seuraavissa kappaleissa on kerrottu testauksen eri muodoista.

### Luotettavuustestit

Luotettavuustesteissä (IEC 60605: Equipment reliability testing) testataan useita yksiköitä ja käytetään pitkiä testausaikoja, mutta olosuhteet ovat kohtuullisen lievät. Ympäristöolosuhteet ovat usein jaksottaisesti vaihtelevia ja tarkoituksena on matkia tyypillisiä käyttöolosuhteita. Testin tarkoituksena on saada aikaan satunnaisvikoja, mutta testeissä voidaan paljastaa myös suunnittelu vikoja ja selkeitä valmistusvirheitä [9,s.10.]

### Pitkäaikainen rasitus

Pitkäaikaisen rasituksen siedon testeissä testataan muutamia yksilöitä ja käytetään pitkiä testausaikoja. Testiolosuhteet ovat ankarat testin kiihdyttämiseksi ja tarkoituksena on saada aikaan ajasta riippuvia vikoja. Testillä pyritään saavuttamaan systemaattisia vikoja, kuten esim. suunnittelu-, valmistus- tai kulumisvikoja. [9,s.10.]

### Rasituskarsinta

Rasituskarsinta (stress screening) on tuotelinjan loppupäässä käytetty tarkastuksia edeltävä ympäristökäsittely, jolla pyritään löytämään (ja karsimaan) lähinnä valmistuksessa syntyneet piiloviat. Käytetyt rasitukset eivät saa ylittää tuotteen ja materiaalien sähköisiä tai mekaanisia rasituskynnyksiä aiheuttaen vaurioita tai kiihdyttäen väsymisilmiöitä. Rasituskarsinta on laadunvalvonnan työkalu, jolla nopeutetaan vikojen syntyemisistä ja havaitsemista. Rasituskarsin-



nan kautta löytyvät viat eivät paljastu muilla testaus ja tarkastusmenetelmillä. [9,s.10.]

## Vanhennus

Vanhennus (burn-in) on tehokas tapa parantaa toimitettavan laitteen luotettavuutta. Sen tarkoituksena on poistaa varhaisvikoja eli tuotteen vikataajuus on vakiovikataajuusalueella käyttöönottovaiheessa. Vanhennusta käytetään laitteilla ja komponenteille. [9,s.10.]

LED-moduulin testaukseen työssä valittiin lämpösyklauk. Lämpösyklauksessa tuotteen rasitus muistuttaa todellisuutta. Myös normaalissa ympäristössä lämpötilan vaihtelu, kuumat ja kosteat sekä poikkeuksellisen kylmät olosuhteet raskittavat tuotteita. Sääkaapissa vaihtelut ovat tosin dynaamisempia kuin luonnossa. Voidaan kuitenkin olettaa, että tuotteet kestävät normaaliympäristössä vähintään yhtä monen lämpösyklin ajan kuin sääkaapissa toteutetuissa testeissä. Komponenttien himmenemä voi olla oikeissa olosuhteissa suurempaa riippuen todellisten olojen korkeiden lämpötilojen kestoajoista.

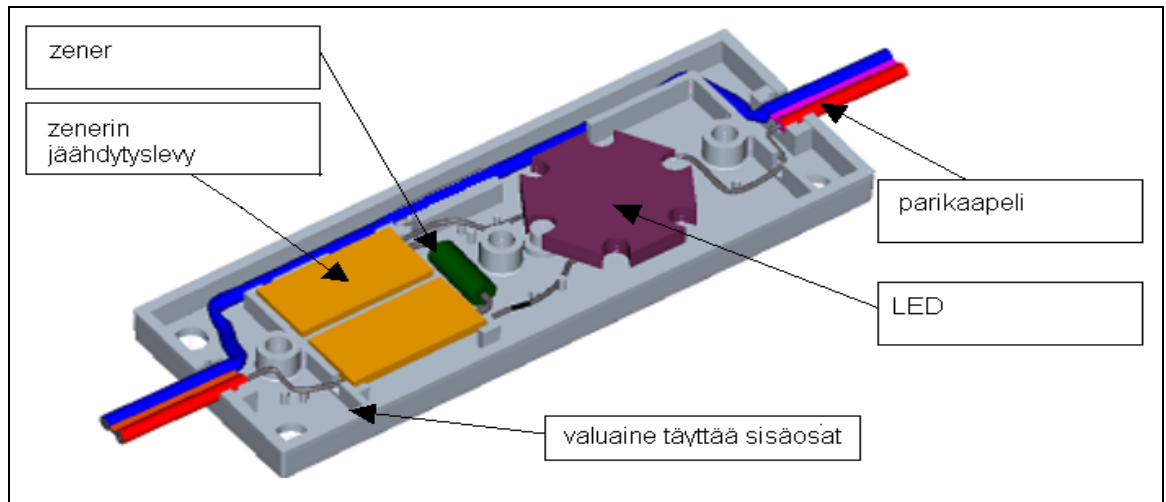
## 7 LED-MODUULI I

LED-moduulit liitetään toisiinsa parikaapelilla. Moduulinauhassa käytetyt materiaalit kestävät korkeita lämpötiloja ja pitkäaikaista ulkokäyttöä. Toiminnan kannalta kriittisillä materiaaleilla on vähintään UL94-V2 palonsuojaluokitus. Tämä tarkoittaa, että materiaalit ovat itsesammuvia ja ne kestävät n. 650 °C hehkulankakontaktin syttymättä tai levittämättä palavia roiskeita. Moduulin kansiosassa käytettävä polykarbonaatti (PC) kestää vastaavasti kuumuutta ja vähintään viisi vuotta suoraa auringonpaistetta materiaalin valonläpäisykyvyn merkittävästi heikentymättä.

Kuvassa 9 on esitetty moduulin kansiosa ja siihen asennettuna LED, zenerdiodi ja johdotus. Moduulin läpinäkyvä kansiosa puristaa johtimet, zenerdiodin jäähdyttävät osat sekä itse LEDin jäähdytysprofiilin päälle tulevaa lämmönsiirtopadia vasten. Jäähdytysprofiili jäähdyttää eri komponentit siten, että ne toimivat kaikissa lämpötiloissa moduulin käyttölämpötila-alueella.

Linssikansi muodostaa valumuotin, jonka avulla LED kytkentöineen valetaan suojamassaan ympäristörasitusten ehkäisemiseksi. Käytännössä moduuli kestää tilapäisen upottamisen veteen, koska sen suojausluokka on IP 66. Korkea suojausluokka on tärkeä piirre luotettavassa, sähköisesti turvallisessa ja pitkäikäisessä LED-moduulirakenteessa. Kuva 9 esittää LED-nauhan rakenne tarkemmin. Kuvassa 10 nähdään puolestaan valmis LED-moduuli.

LED-moduulilla on myös patentti. Moduuli I-rakenne on saanut patentin numerolla FI20041585. Patentti käsittää kaikki tässä kuvatulla rakenteella toteutetut valaisu-, sekä muut vastaavat moduuliratkaisut.



*Kuva 9. Moduulin kansiosan kokoonpano*



*Kuva 10. LED- moduuli*

Eriväristen LED-moduulinauhojen (aallonpituus  $\lambda$ /nm) valmistuksessa sovelletaan eri puolijohdemateriaaleilla toteutettuja komponentteja. Punaisten ja keltaisten LEDien valmistuksessa käytettävä yhdistelmäpuolijohde on AlInGaP (Alumiini Indium Gallium Fosfidi). Siniset, syaanit, vihreät ja valkoiset LEDit perustuvat puolestaan InGaN-materiaaliyhdistelmään (Indium Gallium Nitridi). Komponenttien valmistaja eli Lumileds ilmoittaa LED-nauhassa käytettäville komponenteille 50 000 h käyttöiän valovirran alentuessa keskimäärin enintään 30 %.

LED-moduulit lajitellaan LEDin linssityypin, kirkkauden, värisävyn ja myötäjännitteen mukaan. Kirkkaudessa, värisävyssä ja myötäjännitteessä valmistaja on määritellyt raja-arvot lajitteluluokille. LEDit mitataan, luokitellaan ja merkitään Lumiledsin tuotannossa. Taulukossa 1 on esitetty valkoisten LED-moduulien lajittelukoodin koostuminen.

*Taulukko 1. LEDien lajittelu*

valkoiset LEDit, esimerkiksi SSX1J			
S	S	X1	L
linssityyppi	kirkkaus	värisävy	myötäjännite
L=lambertian (eteen valaiseva) S=side-emitter (sivulle valaiseva)	S,T,U,V,W,X	Y0 X1, V1, X0, V0, YA, WA, W0	E,F,G..U,V,W

Värillisillä LEDeillä lajittelu noudattaa samaa periaatetta. Poikkeuksina on ainoastaan värisävy ja koodin perään liitettävä värin kirjain. Värisävy merkitään värillisissä LEDeissä numeroilla yhdestä kahdeksaan. Lumiledsin tuotannossa komponentit aallonpituus mitataan, jonka mukaan LEDit lajitellaan luokkiin. Aallonpituutta vastaavat väriluokat on määritetty jokaiselle värille erikseen. Värin kirjain tulee englannin kielessä väriä vastaavan sanan ensimmäisestä kirjaimesta. Esimerkiksi punaisen (red) LEDin lajittelukoodin viimeinen kirjain on R.

## 8 TESTIT

Seuraavassa kuvatuilla testeillä haettiin LED-moduulirakenteen heikkoja kohtia. Testeillä pyrittiin tarkastelemaan muuttuja kerrallaan kaikkia mahdollisia LED-moduulin vikaantumiseen vaikuttavia tekijöitä. Samalla pyrittiin hankkimaan lisätietoa myös LEDien luotettavuudesta. Taulukossa 2 on esitetty eri testeissä käytetyt kokoonpanot ja niiden yhteydessä testatut muuttujat.

*Taulukko 2. Testauskokoonpanot*

muuttuja	testikokoonpano									
	A	B	C	D	E	F	G	I	J	O
LED SSX1J, LED SSYAJ;700 mA	X	X	X			X				X
LED SQ4FR, LED SP4KG;350 mA				X	X					
moduuli SSX1J, SSYAJ;700 mA							X			
moduuli STYAL;700 mA								X		
moduuli SQ4FR;350 mA									X	
thermal pad;ST86/210K	X									X
piirasva;HTC		X	X	X	X	X				
johtava alumiinialusta						X	X			X
eristävä polykarbonaattialusta	X	X	X	X	X		X	X	X	
estosuuntainen rasitus			X		X					
teholähde I	X	X	X	X	X	X	X			X
teholähde II								X	X	

Lisäksi toteutettiin moduuli II-rakenteen alustava testaus sekä tutkittiin LED-moduulista irrotettuja komponentteja Kajaanin ammattikorkeakoulun röntgentutkimuslaitteilla. Röntgenillä pyrittiin kuvaamaan puolijohdesirun sekä sen liitoksen muutoksia sääkaappirasitusten vaikutuksesta. Sääkaapissa oli testien ajan myös ulkokäyttöön tarkoitettu T5-loisteputkiliitälaitte (BAG), jonka luotettavuuteen ei tässä työssä oteta kantaa.

Testeissä LEDejä SSX1J (700 mA) ja SSYAJ (700 mA) jäähdytettiin käyttämällä jäähdytuselementtinä 300 cm<sup>2</sup>:n kokoista paksuudeltaan 2 mm alumiinilevyä. Vastaavasti SQ4FR (350 mA) ja SP4KG (350 mA) LEDeillä jäähdytuselementin jäähdyttävä pinta-ala oli 150 cm<sup>2</sup>.

Lämmönsiirtomateriaaleina kokeissa käytettiin tuotannossa käytettävää thermal padia (Kerafol GmbH ST86/210K, 0,5 mm) sekä piirasvaa (Electrolube HTC). LEDit kiinnitettiin jäähdytuselementteihin ruuveilla ja muttereilla käyttämällä kiinnostusmomenttia 0,16 Nm. LED-kytkentöjen aluslevyinä käytettiin sääkaapissa 500 mm x 600 mm alumiini- ja polykarbonaattilevyjä. Polykarbonaattilevyä käyttämällä pyrittiin estämään komponenttien sähköinen ja termien kytkeytyminen toisiinsa kokeiden aikana. Vastaavasti alumiinilevyille kalustettujen testilevyjen avulla tutkittiin, onko LEDien välisillä sähköisillä ja termisillä kontakteilla mahdollisia vaikutuksia vanhenemiseen.

Estosuuntaisesti komponentteja rasiittaessa LEDien sarjakytkentä kytkettiin kolme kertaa viiden sekunnin ajan estosuuntaisesti tehonlähteeseen. Tämän jälkeen kytkentä kytkettiin normaalista tehonlähteeseen testijakson ajaksi.

Kokeissa käytetty tehonlähde I on Philipsin valmistama Xitanium tehonlähde. Tehonlähde II on puolestaan Imagonin kehittämä tehonlähde. Osiot joissa tutkittiin tehonlähde II:sta ei käsitellä tässä työssä. Molemmista tehonlähteistä testattiin 350 mA ja 700 mA versioita.

Testeillä A ja B varmennettiin tällä hetkellä käytössä olevan thermal padin lämmönjohtavuus. Testillä tutkittiin, onko tällä hetkellä käytössä oleva lämmönsiirtomateriaali riittävä tehokkaan jäähdytyksen aikaansaamiseksi. Testissä B käytettiin vertailulämmönsiirtomateriaalina piitahnaa, joka on paras tällä hetkellä tunnettu kontaktointimateriaali LEDin ja alustan välille. Olettamuksena oli, että nykyinen thermal pad on riittävän toimiva.

Testillä C selvitettiin, kuinka LED-kytkennän kytkeminen vahingossa estosuuntaan tehonlähteeseen nähdessä vaikuttaa valkoisiin InGaN Luxeon III LEDeihin. Tuotannossa on esiintynyt satunnaisesti rikkoontuneita LEDejä ja tällä testillä

pyrittiin selvittämään johtuuko rikkoontuminen vahingossa tapahtuneesta estosuuntaan kytkennästä. Testikoonpanot B ja C rakennettiin samalla tavalla. Testikoonpanossa C komponentteja rasiestettiin estosuuntaisella kytkennällä vaikutusten selvittämiseksi.

Testissä D selvitettiin, kuinka puolijohdemateriaali vaikuttaa LEDin himmenemiseen. Testillä tutkittiin onko eriväristen LEDien himmenemisessä merkittäviä eroja samojen olosuhteiden vallitessa. Testissä käytettiin punaisia (AlInGaP) ja vihreitä (InGaN) LEDejä, joiden himmenemistä verrattiin testikoonpanojen välillä. Olettamuksena oli, että testin aikana ei havaita merkittäviä eroja.

E-testikoonpanolla verrattiin puolestaan estosuuntaisen kytkennän vaikutusta himmenemiseen punaisilla (AlInGaP) ja vihreillä (InGaN) LEDeillä. Tämän testin osalta ei osattu esittää arviota lopputuloksesta ennakkoon.

Lämmönsiirtomateriaalin sähköisen eristyksen vaikutusta LEDien luotettavuuteen ja himmenemiseen tutkittiin testillä F, jossa komponentit olivat sähköisesti yhteydessä toisiinsa. Testin tuloksia verrattiin kokoonpanoon B, jossa LEDit eristettiin toisistaan. Testien erona oli kytkennässä käytetty aluslevy, joka testissä B oli polykarbonaattia ja testissä F alumiinia. Testin alkaessa oletettiin, etteivät eristyksen erot vaikuta himmenemiseen.

Valuaineen vaikutusta moduulirakenteen kestävyteen tarkasteltiin testillä G, jossa moduulirakenne koottiin ilman valuainetta. Moduulit (SSX1J) asennettiin johtavalle alumiinille ja (SSYAJ) johtamattomalle polykarbonaattialustalle. Olettamuksena oli, ettei valuaine vaikuta himmenemiseen havaittavasti.

Teholähde II testattiin testeissä I (700 mA) ja J (350 mA), joissa pyrittiin selvittämään teholähteen sähköisten ja mekaanisten ominaisuuksien muuttamista pitkäaikaisessa ympäristönrasituksessa. Uudesta teholähteestä johtuen oletettiin, ettei oteta kantaa teholähteen luotettavuuteen.

Testillä O pyrittiin arvioimaan thermal padin (Kerafol GmbH ST86/210K, 0,5 mm) sähköisiä ja termisiä ominaisuuksia ja niiden vaikutusta LEDeihin. Testin tuloksia verrattiin vastaavasti toteutettuun kokoonpanoon A, erona oli ainoastaan kytkennän aluslevy. Testissä O aluslevy oli alumiinia.

Testissä P selvitettiin alustavasti moduuli II-rakenteen toimintaa.

Testikokoonpanoista mitattiin seuraavat numeeriset arvot:

- kirkkauden muutos (koelaatikko)  $\text{cd/m}^2$
- värin muutos (värikoordinaatti x, värikoordinaatti y)
- kytkennän sähköiset muutokset (LED/teholähde)

Mittausten tulokset löytyvät liitteistä testiä vastaavalla kirjaimella merkittyinä. Aloitusmittaus on merkitty numerolla 1, loppumittaus numerolla 2 sekä välillä mitatut muutokset numerolla 3. Esimerkiksi testin A aloitusmittaus on liite A/1.



## 9 TESTAUSJÄRJESTELYT

Kaikille testikokoonpanoille suoritettiin aloitusmittaus, jonka jälkeen ne sijoitettiin sääkaappiin seuraavasti.

### 1. hylly (ylin hylly sääkaapissa, kuva 11)

- komponentit:

- A/SSX1J 6 KPL

- A/SSYAJ 6 KPL

- B/SSX1J 6 KPL

- teholähteet: AX1, AX2, BX1

- aluslevy 500 mm x 600 mm PC

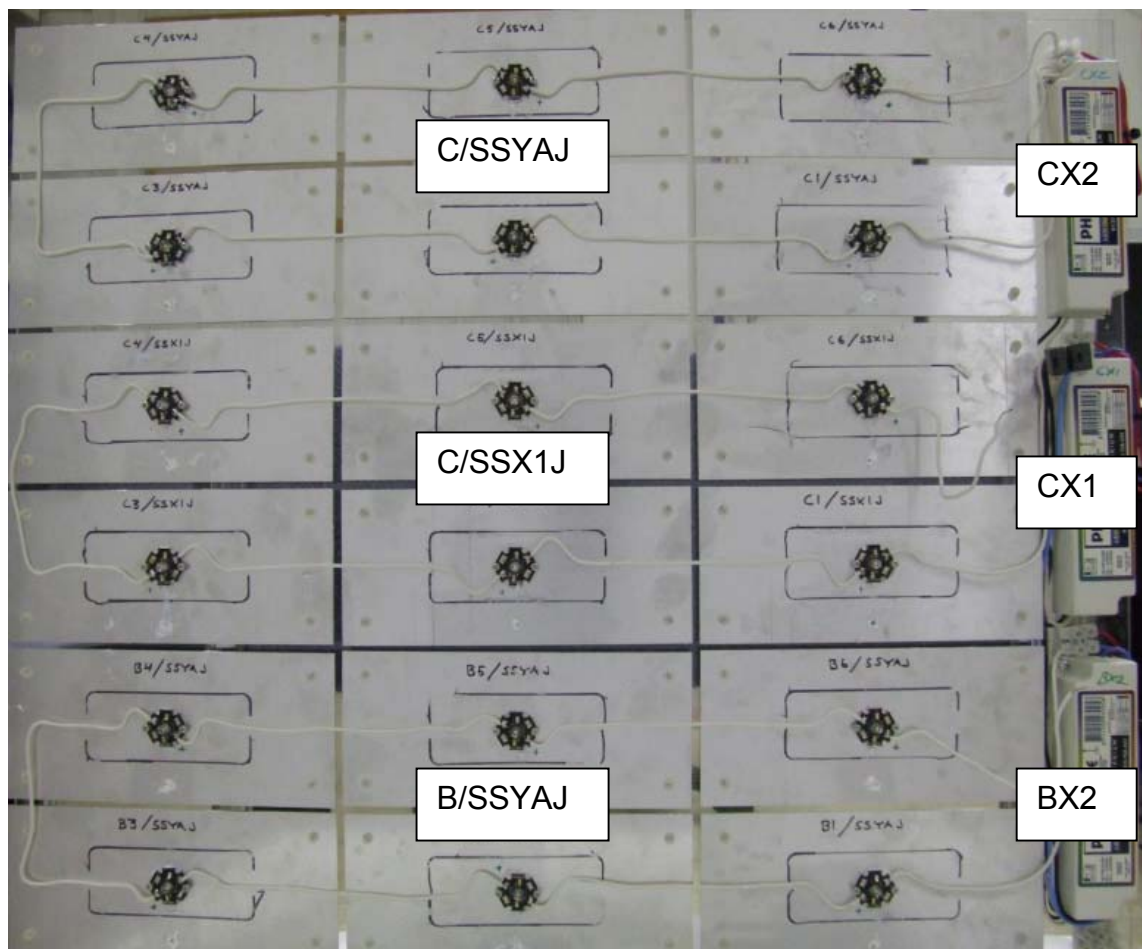


Kuva 11. Hylly 1

## 2. hylly (kuva12)

- komponentit:

- B/SSYAJ 6 KPL
  - C/SSX1J 6 KPL
  - C/SSYAJ 6 KPL
  - teholähteet BX2, CX1, CX2
- aluslevy 500 mm x 600 mm PC



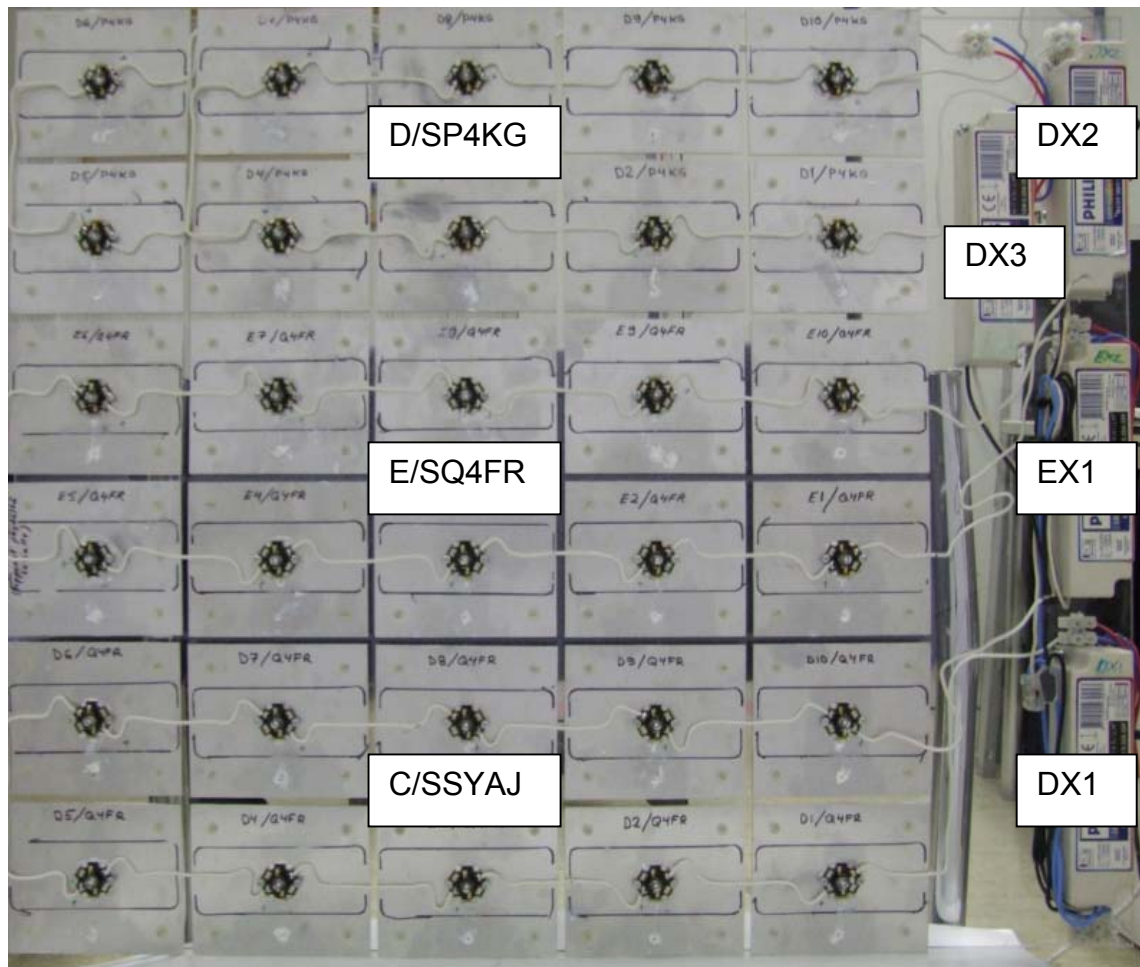
Kuva 12. Hylly 2

## 3. hylly (kuva13)

- komponentit:

- D/SQ4FR 10 KPL
- D/SP4KG 10 KPL
- E/SQ4FR 10 KPL

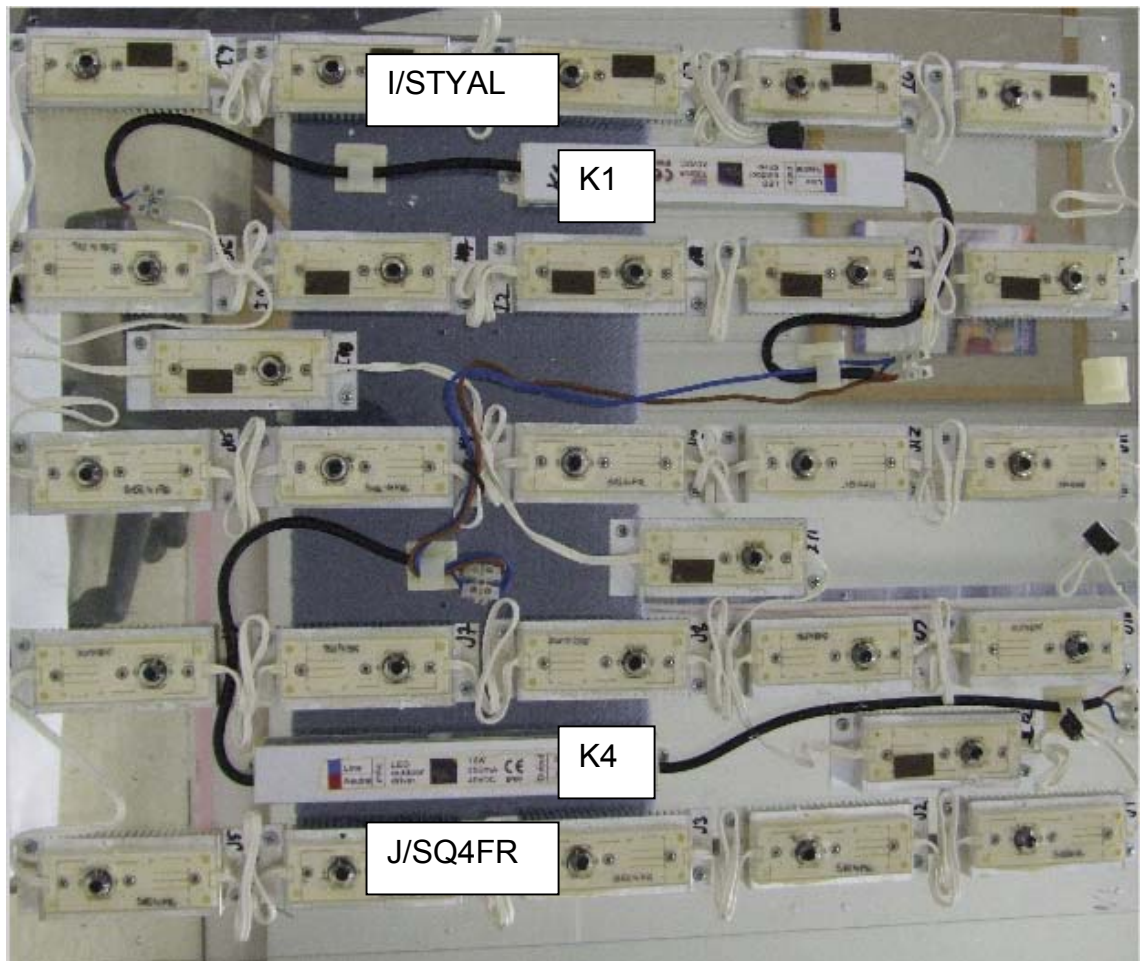
- teholähteet DX1, DX2, DX3, EX1
- aluslevy 500 mm x 600 mm PC



Kuva 13. Hylly 3

#### 4. hylly (kuva15)

- komponentit:
  - J/SQ4FR (moduuli I) 16 KPL
  - I/STYAL 12 KPL
  - teholähteet II K1, K4
- aluslevy 500 mm x 600 mm PC



Kuva 14. Hylly 4

5. hylly (levyt AI 250 mm x 600 mm ja PC 250 mm x 600 mm vierekkäin sääkaapissa, kuva 15)

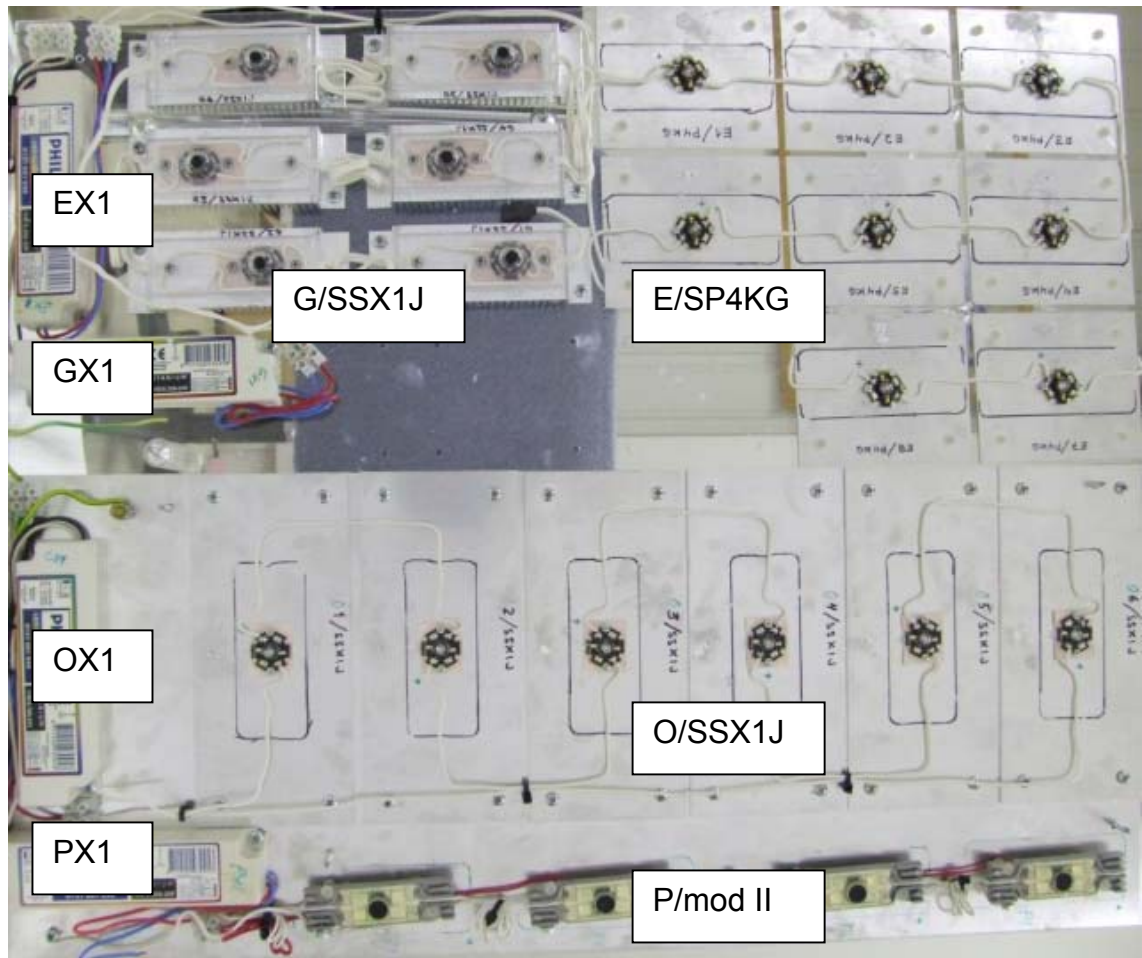
- komponentit (AI-levy):

- O/SSX1J 6 KPL
- P/moduuli II (vihreä) 4 KPL
- teholähteet OX1, PX1

- komponentit (PC-levy):

- E/SP4KG 10 KPL
- G/SSX1J (moduuli I) 6 KPL
- teholähteet EX2, GX1

- aluslevy 250 mm x 600 mm, tapitettu irti alemmasta levystä 70 mm korkuisilla johtamattomilla tapeilla.



Kuva 15. Hylly 5

#### 6. hylly (kuva16)

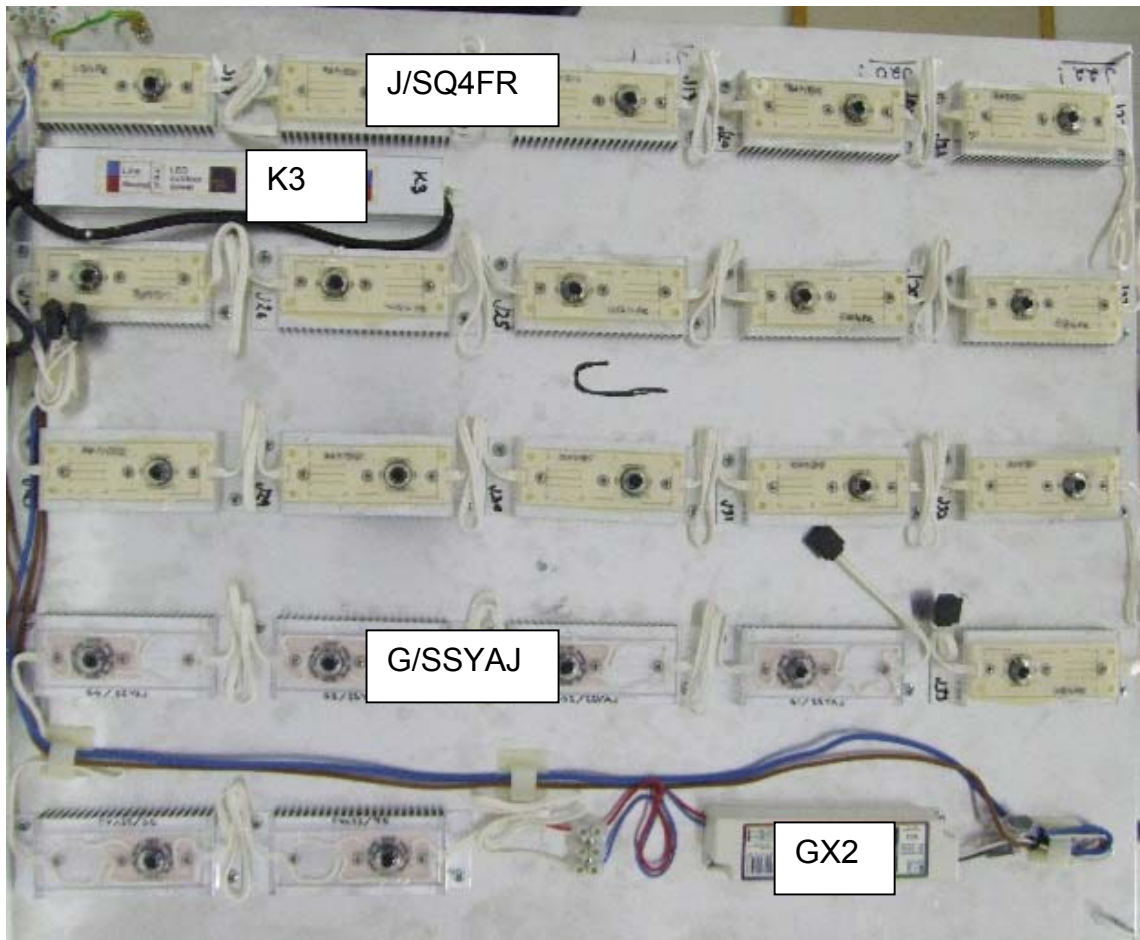
- komponentit:

- J/SQ4FR (moduuli I) 16 KPL

- G/STYAL (moduuli I) 6 KPL

- teholähteet K3, GX2

-aluslevy 500 mm x 600 mm Al, tapitettu irti alemmasta levystä 70 mm korkuisilla johtamattomilla tapeilla.



Kuva 16. Hylly 6

7. hylly (alin hylly, kuva17)

- komponentit:

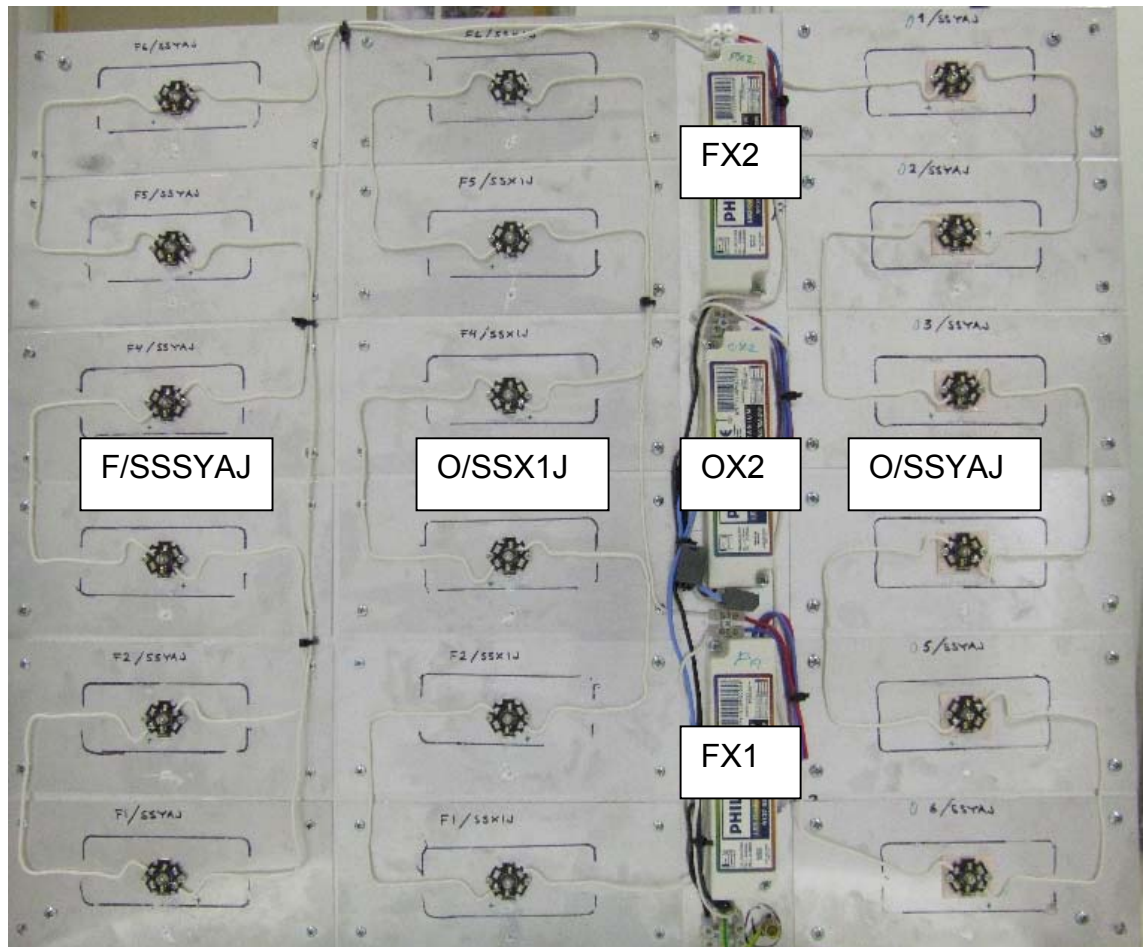
- O/SSYAJ 6 KPL

- F/SSX1J 6 KPL

- F/SSYAJ 6 KPL

- teholähteet OX2, FX1, FX2

- aluslevy 500 mm x 600 mm Al, tapitettu irti sääkaapin pohjalevystä 70 mm korkuisilla johtamattomilla tapeilla.



*Kuva 17. Hylly 7*

Sääkaapille Vötsch VC4034 laadittiin testausohjelma Simpati PC-ohjauksella. Sääkaapin lämmönkompensointikyvyn (300 W@ -40 °C) pohjalta testaus- ohjelman alinta lämpötilaa nostettiin -38 °C:seen, jotta alin lämpötila saavutettaisiin. Kokonaislämpöteho testauskytkennässä oli 450 W, jolloin testauskaappi kykeni saavuttamaan alalämpötilan. Lämpötilan nostoon ja laskuun käytettiin testausohjelmiston ramp-funktioita yhdessä wait-toiminnon kanssa. wait-toiminto odottaa kaapin saavuttavan asetustilaa asteiden tarkkuudella ennen jatkotoimintoja. Kokonaiskestoksi testille laskettiin noin 1000 tuntia.

Seuraavassa on yhteenveto LED-moduulien testauksesta:

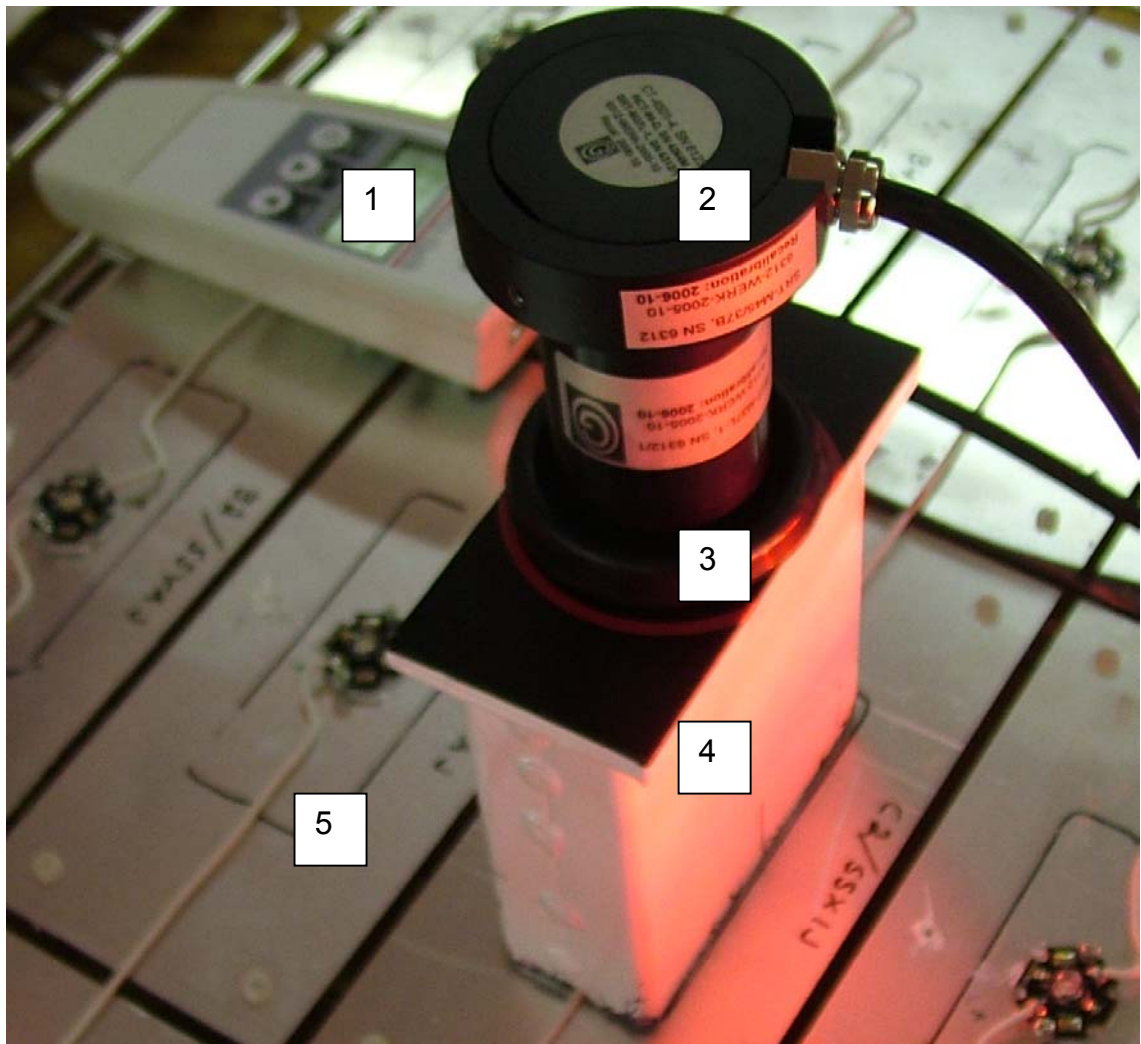
ympäristötestikaappi	Vötsch VC 4034	
lämpötila	(-38 °C) – (60 °C)	
suhteellinen kosteus	85 % RH @ 60 °C	
kesto	1000 h (n.126 sykliä)	
nousu- ja laskunopeus	n. + / - 2,4 °C / min	
tasausaika	3 h	
testattavat kappaleet	1 W LED	40 kpl
	3 W LED	72 kpl
	3 W LED-moduuli	12 kpl
	1 W LED-moduuli	32 kpl
	LED moduuli II	4 kpl
	teholähde I	18 kpl
	teholähde II	3 kpl
	BAG – liitäntälaite	1 kpl

LEDin tuottaman valon luminanssi ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) ja värikoordinaatit (x,y) mitattiin kuvan 18 mukaisesti Gigahertz Optic HCT-99 (1) luminanssimittarilla, johon on liitetty 1 asteen luminanssidapteri (2) kumitiivisteellä varustettuna (3). Mittausta varten rakennettiin ns. koelaatikko (4), joka asettuu moduuli I rakenteeseen linssikanteen siten, ettei valo pääse karkaamaan koelaatikon reunoilta. Koelaatikko asettuu moduuli-rakenteen päälle aina samalla tavalla.

LEDien kohdalla tarkasti toistettava mittaus varmistettiin piirtämällä aluslevyyn koelaatikon muoto (5), jotta mittaaminen tapahtui aina samasta kohdasta. Luminanssimittari kalibroitiin valmistajan toimesta Saksassa ennen mittauksia (6.10.2005).

Kuvassa 18 esitetään kirkkauden ja värikoordinaattien mittaaminen luminanssimittarilla. Kuvassa nähdään myös testauslevyjen merkintöjen toteutusperiaate.





*Kuva 18. Mittaaminen Gigahertz Optic -luminanssimittarilla*

#### Koelaatikon dimensiot

- korkeus 100 mm
- leveys 35 mm
- pituus 90 mm
- etupinta 2 mm opaali, valonläpäisy 45 % (Plexiglas XT 01670)
- teippaus adapterille sopivaksi (3M valkoliimainen block-out)
- sisäpinta maalattu valkoiseksi (Teknos, RAL9003)

Luminanssi- ja värikoordinaattiarvot kirjattiin mitattavista kohteista, kun luminanssiarvo oli suurimmillaan. Luminanssimittauksiin vaikutti hieman LEDien lämpeneminen ja mittausepä-tarkkuudet. Aloitusermittauksen yhteydessä raken-

nettiin referenssikokoonpano, jolla varmistettiin mittalaitteiden luotettavuus eri testien yhteydessä. Referenssikokoonpanoa pidettiin päällä kaksi tuntia ennen mittauksia, muutoin referenssikomponentteja ei rasitettu lainkaan kokeiden aikana. Mittausten aikana ympäristölämpötilat olivat vakioita kaikissa testeissä. LED-kokoonpanojen lämpötilojen annettiin tasaantua vähintään kaksi tuntia päällekytkennän jälkeen huoneen lämpötilassa.

LEDien muut muuttujat (lämpötila, jännite ja virta) mitattiin Fluke 189 -yleismittarilla. Taulukoissa esiintyvä jännite LEDin yli-sarake on mitattu jännitteellisestä kytkennästä LEDin negatiivisen- ja positiivisen nastan väliltä (VDC). LEDin ja jäähdytyslementin välisiä jännitteitä on mitattu tasa- ja vaihtosähkön alueilla 9,6 kOhm suuruisen kuorman rinnalla olleen vastuksen kanssa. Rinnakkaisvastuksen avulla mittaustuloksiin mahdollisesti vaikuttavat hajakapasitanssit saatiin eliminoitua.

Mittaus suoritettiin kytkemällä yleismittarin negatiivinen johto LEDin jäähdytyslementtiin ja positiivinen johto LEDin +-potentiaaliin. LEDin jäähdytysrivan lämpötila mitattiin käyttämällä Fluken lanka-anturia (Fluke 80BK). Anturia varten jäähdytyslementtiin porattiin n. 2 mm syvyinen reikä, joka täytettiin lämmönsiirtotahnalla (Electrolube HTC-99). Lämpötila MCPCB tarkoittaa LEDin alustasta (alumiininen jäähdytyslevy) mitattua lämpötilaa.

Mittausten jälkeen testilevyt aseteltiin kuvan 19 mukaisesti sääkaappiin. Osaan levyistä asennettiin korotintapit (kuva20), jotta kaikki kokoonpanot saatiin sopimaan sääkaappiin ilmankierron häiriintymättä. Lämpötilajakauma sääkaapissa oli kokeiden ajan tasainen, koska kaapin sisäilman kiertoa on tehostettu suurikokoisella puhaltimella.



*Kuva 19. Testauslevyt sääkaapissa*



*Kuva 20. Korotintappi*

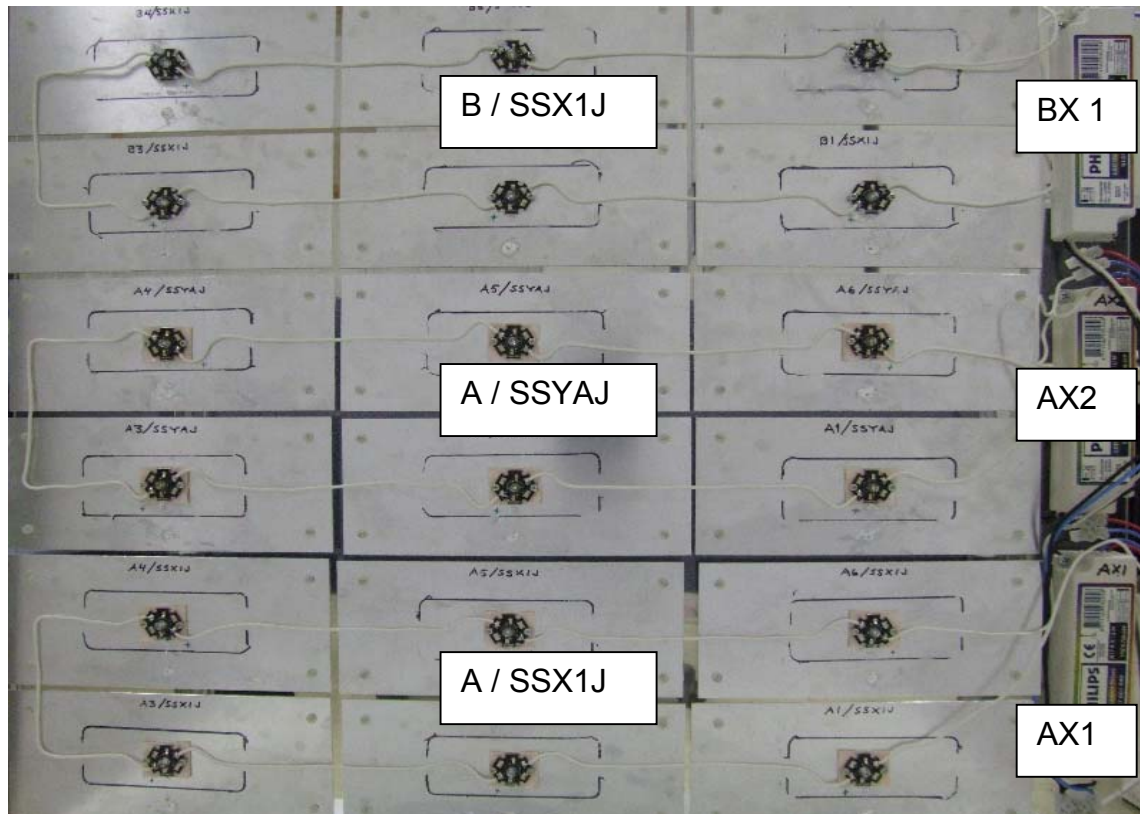
## 10 TULOSTEN ARVIOINTI

### Koekokoonpano A

Testissä A havaittiin SSX1J LEDeillä noin  $10 \text{ cd/m}^2$  kirkastuminen, kun vastavalla tavalla kuormitetut SSYAJ LEDit himmenivät yhtä paljon. LEDien elinkaarren alkuvaiheessa niiden valovirta voi lisääntyä hieman eli ilmiö ei ole täysin epänormaali. Tämä ilmiö on havaittu mm. Nadarajah Narendranin (Lighting Research Center) tutkimuksissa [10]. Prosentuaalisesti muutokset ovat mitättömiä ja lähestulkoon mahdollisen mittausvirheen suuruisia ( $\pm 1 \%$ ). Jotta kirkastumisilmiön vaikutukset voidaan eliminoida luotettavan eliniän määrittämisessä, tulisi noudattaa ASSIST-suosituksia [10]. Niiden perusteella tarvitaan vähintään muutamien tuhansien tuntien ( $>6000 \text{ h}$ ) kestotesti, jotta elinikä voidaan määrittää luotettavasti [10]. Tämän opinnäytetyön yhteydessä voitiin toteuttaa vain 1000 tunnin testijakso, jonka perusteella voidaan tehdä vasta alustavia arvioita eri ratkaisujen toiminnasta.

### Koekokoonpano B

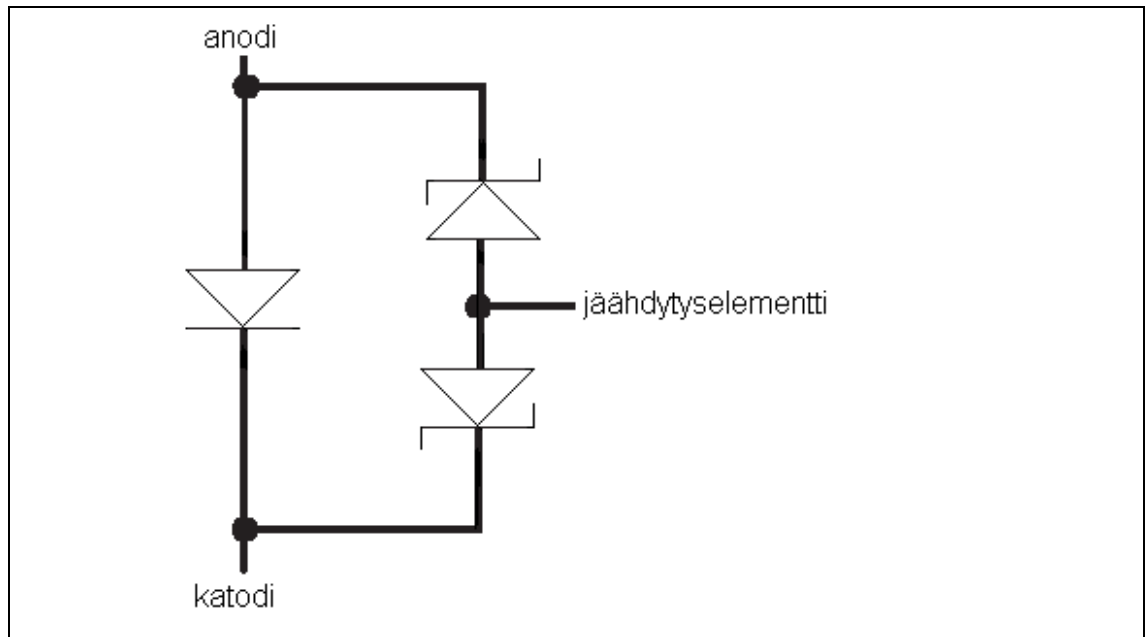
Testissä B rikkoontui vakiovirtalähde (BX1, kuva 21), jonka vuoksi LEDien luminanssi putosi testijakson aikana lähes puoleen alkutilanteesta. Teholähteen vaihdolla LEDien valoteho nousi kuitenkin lähes aloitustilanteen tasalle (liite B/4). Testissä B oli lämmönjohtomateriaalina piitahna, josta johtuen LEDit ovat sähköisesti yhteydessä jäähdytyslementtiin ( $U_{dc}/V$  arvo korkeampi). Alustan ja LEDien kontaktoinnin johtavuudella voi olla vaikutusta teholähteen rikkoontumiseen. Testin SSX1J-komponenttien perusteella ei voida tehdä vertailuja tai arvioida LEDien himmenemisestä.



*Kuva 21. Hylly numero 1*

### Koekokoonpano C

LED-moduulien teholähteeseen nähden estosuuntaisella kytkennällä LEDien käyttöönottovaiheessa on vaikutusta pitkäaikaiseen luotettavuuteen. Testissä C havaittiin jopa 20 % himmentymä kahdella komponentilla (liite C/3), joita rasi-  
ttiin testin alussa estosuuntaisella kytkennällä. Himmentyneestä LEDistä C2/SSX1J yleismittarin diodialueella mitattu kynnyksjännite oli 1,0 voltia ja vastaavasti LEDissä kynnyksjännite oli C3/SSX1J 0,04 voltia. LEDistä C1/SSX1J mitattu kynnyksjännite oli 2,45 voltia. Oletettavaa on, että estosuuntaisella kytkennällä rikotaan osittain Luxeon III LEDin sisäinen zenerkytkentä (kuva22). LEDin sisäisen zenerkytkentä suojaa LEDin sirua staattisen sähköön (ESD) purkauksilta.

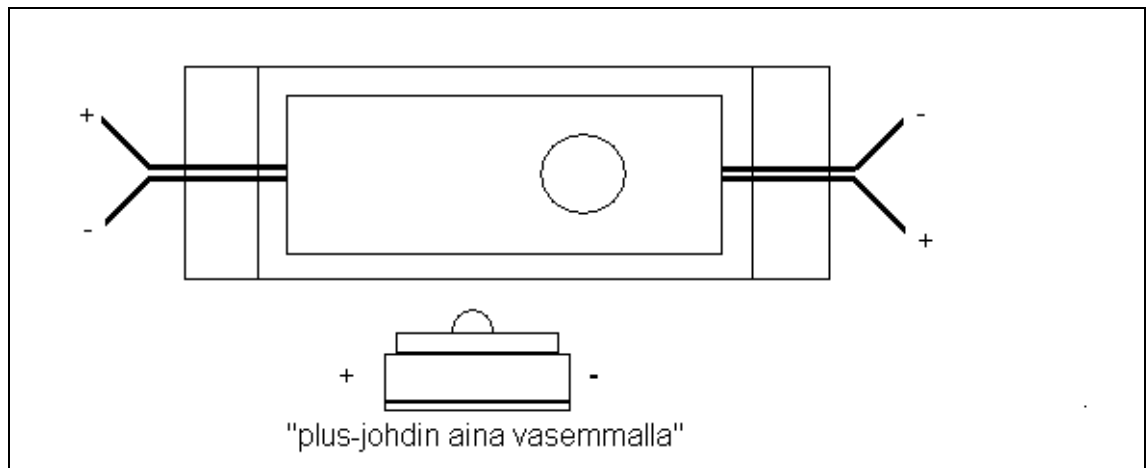


Kuva 22. LEDin sisäinen zenerkytkentä [7, s.11]

Zenerkytkennän vioittuessa virta pääsisi kulkemaan osittain LEDin valoa tuottavan sirun ohitse, jolloin LEDin tuottama luminanssiarvo pienenee. Vaihtoehtoisesti itse LEDin puolijohde voi vaurioitua siten, että komponentin valovirta alenee.

Tässä opinnäytetyössä saatiin osoitettua, että estosuuntaisella kytkennällä on kuitenkin selkeästi merkitystä LEDien himmenemiseen ja sitä tulee kaikin tavoin välttää LEDien käyttöönotto vaiheessa. Jännitelähteeseen estosuuntaan kytkettäessä LEDien vikaherkkyys riippuu myötäjänniteluokasta ja sarjakytkettyjen LEDien määrästä. Lisätutkimuksissa saatiin yksittäinen LED hajoamaan välittömästi kytkettäessä se jännitelähteeseen estosuuntaisesti.

Tuotannossa LEDien kytkennän asian tekee ongelmalliseksi sama väri (valkoinen) kummassakin johtimessa(+/-). Lisäksi moduuli I:n sisäisestä johdotuksesta johtuen johdon polariteetti riippuu siitä, kummasta päästä tarkastellen moduulin kytkentä suoritetaan. Kuvassa 23 esitetään yksinkertainen muistisääntö moduulin napaisuudelle. Moduuli I:n positiivinen johdin on aina vasemmalla katsottaessa moduulia kummasta päästä tahansa.



Kuva 23. Moduuli I:n johdotus

#### Koekokoonpano D

Testissä AlInGaP -LEDit vaikuttavat himmenevän enemmän kun InGaN -LEDit (liite D3-1 ja liite D 3-2) ja. Prosentuaalisesti tarkasteltaessa ero on kuitenkin olematon. Näin lyhyen testijakson perusteella (ASSIST) ei voida sanoa varmasti kumpi puolijohdemateriaali todellisuudessa vanhenee testattavassa systeemissä nopeammin. Teoriaosuudessa tuotiin esille, että AlInGaP -LEDit vanhenevat nopeammin kuin InGaN -LEDit samalla puolijohteen lämpötilalla.

Testiä jatketaan, jotta voidaan varmistua todellisesta vanhenemisestä ja eliniästä. Huomattava on testissä olleiden vihreiden (P4KG) LEDien muihin komponentteihin verrattuna suuret värikoordinaattien muutokset testijakson aikana. Vihreitä LEDejä syöttävissä vakiovirtalähteissä lähtöjännite aleni suuresti muita komponentteja syöttäviin vakiovirtalähteisiin verrattuna. Lähtöjännitteen alenema viittaa siihen, että komponenttien ominaisuudet muuttuvat. Tämän testijakson perusteella asialla ei kuitenkaan ole käytännön merkitystä.

Testeissä D-systeemin P4KG-komponenttien värikoordinaattien keskiarvo muuttui x-värikkydessä 0,01 ja y-värikkydessä -0.02 yksikköä. Suurinta muutos oli komponentissa D1/P4KG, jossa muutos oli x-värikkydessä 0,0241 yksikköä ja y-värikkydessä -0,0683 yksikköä. Mittausepä-tarkkuutena voidaan kui-

tenkin olettaa referenssimittauksen perusteella oleva +/- 0,01 yksikköä (liite R-3). Muutos ei ole lainkaan paljain silmin havaittavaa. Värikkyysskoordinaattien muuttumista tullaan seuraamaan jatkotesteissä.

#### Koekokoonpano E

Testin perusteella puolijohdemateriaalilla ei ole vaikutusta himmenemiseen estosuuntaan kytkettäessä. Testin C tulosten yhteydessä on esitetty LEDin estosuuntaisen kytkennän seuraamuksena vikaantumiseen mahdollisesti vaikuttavat tekijät. Lumileds ilmoittaa AlInGaP-LEDin kestävän 16 V estosuuntaisen jännitteen, InGaN-LEDille vastaava raja-arvo on 7 V [7,s10-11]. Tästä voidaan päätellä, että InGaN-LED rikkoontuu herkemmin estosuuntaisesta jännitteestä. InGaN-LEDin alhaisempi estosuuntaisen jännitteen kesto johtuu ESD:ltä suojaavasta zenerkytkennästä. AlInGaP-LEDissä ei ole vastaavaa kytkentää. Huomattavaa on, että vihreitä LEDejä (P4KG) syöttävän vakiovirtalähteen kytkennän yli vaikuttava lähtöjännite aleni tässä testissä 1 V.

#### Koekokoonpano F

Tässä testissä komponentit olivat sähköisesti yhteydessä toisiinsa. Komponentista F1/SSYAJ mitattu tasajännitearvo pieneni melkein 16 V testijakson aikana. Muutos ei kuitenkaan oleellisesti vaikuttanut LEDin koelaatikosta mitattuun luminanssiarvoon (+3 cd/m<sup>2</sup>). Kaikki SSX1J-komponentit kirkastuivat testijakson testijakson aikana.

#### Koekokoonpano G

Moduulit SSX1J asennettiin lämpöä johtamattomalle PC-levylle. Tästä johtuen SSX1J-komponentit toimivat selkeästi kuumempana testijakson ajan, mikä näkyy niiden nopeampana himmenemisenä. Testin perusteella voidaan sanoa, ettei valuaine vaikuta mitenkään moduulien luotettavuuteen.



## Koekokoonpano O

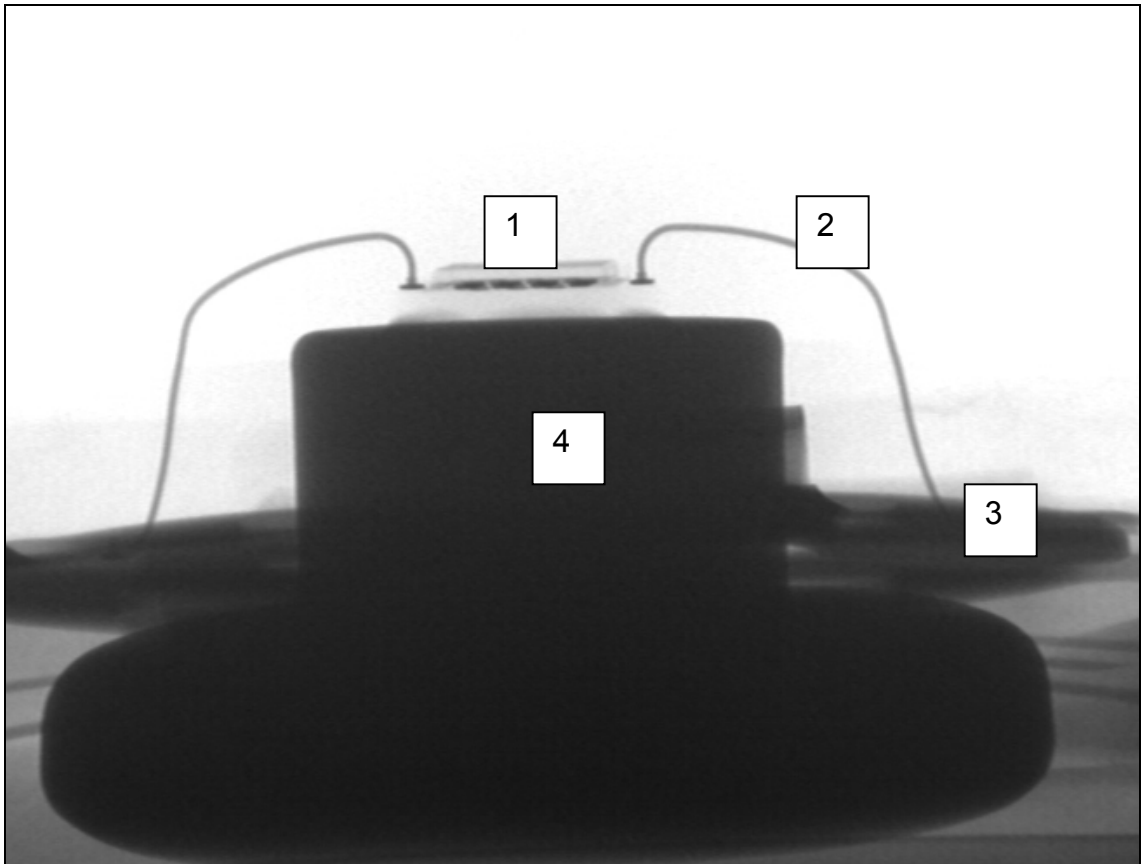
Testeissä tutkittu moduulirakenteessa käytettävä lämmönsiirtomateriaali on riittävä sähköiseltä eristekyvyltään ja lämmönjohtavuudeltaan LED-kokoonpanoissa. Tähän asti käytetyn thermal padin sähköinen eristyskyky alenee huomattavasti lämmönsiirtomaton puristuessa kokoon enemmän kuin 30 % paksuudesta [11]. Moduuli rakenteessa eristelevy levy puristuu jopa yli 40 % kokoon LEDin kohdalta. Tässä testisarjassa käytetyillä kiinnitysmomenteilla ilmiötä ei saatu näkyviin. Puristumisesta seuraavasta eristyksen heikkenemisestä huolimatta nykyisellä thermal padillä tehdyt kokoonpanot ovat luotettavia ja pitkäikäisiä teholähteen pienjännitteen ansiosta.

## Testikokoonpano P

Moduuli II-rakenteessa ei ilmennyt lainkaan muutoksia testijakson aikana. Tulokset ovat lupaavia, joten työnperusteella aloitetaan laajemman nollasarjan tekeminen. Testausta jatketaan edelleen nollasarjan moduuleilla.

## Röntgenkuvaukset

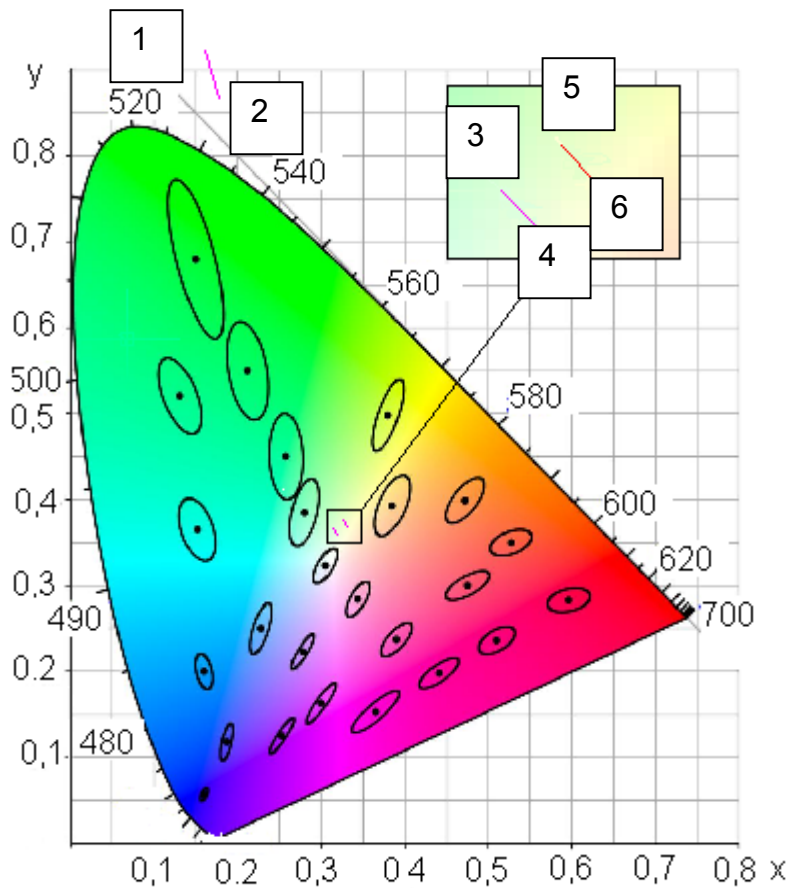
Kuvassa 24 nähdään testatusta moduulista puretusta LEDistä röntgenillä otettu kuva. Kuvattaessa sääkaapissa rasiitettuja komponentteja ei havaittu sirussa (1) ja sen liitoksissa muutoksia. Bondauslangat (2) olivat edelleen tukevasti kiinni sirussa ja juotospadeissa (3). Lämmönsiirtotie sirusta jäähdytyslementtiin (4) oli edelleen yhtenäinen, eikä muitakaan muutoksia ollut havaittavissa.



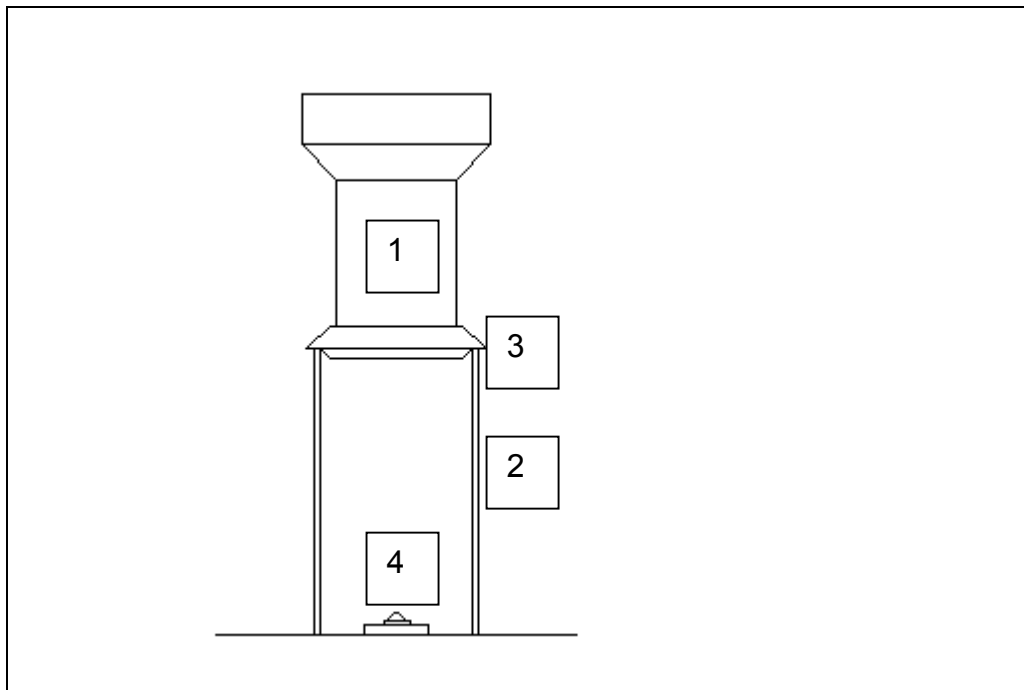
*Kuva 24. Röntgenkuva*

#### Värikoordinaattimittaus

Tehdyissä värikoordinaatti ( $x, y$ ) mittauksissa mittausvirhettä aiheutti valkoiseksi maalattu koelaatikon sisäpinta sekä valkoinen etupinta. Väriillisillä LEDeillä saadut värikoordinaattiarvot ( $x, y$ ) eivät asettuneet CIE 1931-diagrammiin (kuva26). Kuvaan 26 on merkitty LEDin E7/SP4KG aloitusmittauksessa (1) sekä loppumittauksessa (2) mitatut värikoordinaattipisteet ( $x,y$ ). Mitatut värikoordinaatti eivät vastaa todellisuutta, koska valkoinen etupinta suodatti (muutti) värikoordinaatteja. Kuvaan 25 on merkitty myös valkoisen LEDin C6/SSX1J mittauksessa havaittu muutos aloitusmittauksen (3) ja loppumittauksen (4) välillä. Muutos oli likimain sama kuin referenssimittauksesta laskettu keskiarvo ( $x+0,004, y-0,006$ ) värikoordinaattien muutokselle aloitusmittauksen (5) ja loppumittauksen (6) välillä. Tarkkojen värikoordinaattien saamiseksi olisi täytynyt rakentaa esimerkiksi kuvan 26 mukaiset mittausjärjestelyt.



Kuva 25. Mitattuja värikoordinaattiarvoja (x, y) CIE 1931 -diagrammissa



Kuva 26. Parannusehdotus jatkon mittausjärjestelyihin [12]

Parannetussa järjestelyssä luminanssiadapteri (1) asennetaan koelaatikkoon (2), joka on maalattu sisäpinnaltaan mattamustaksi. Koelaatikossa olisi aukko, johon kumitiiviste (3) asettuu. Tällöin LEDistä (4) lähtevä valo ei muutu heijastuessaan koelaatikon sisäpinoista tai suodattuisi kulkiessaan etupinnan lävitse. Koelaatikon korkeus on 85 mm.[12.]

LEDin elinikä

Tehdyllä testisarjalla ei voida siis laskea LEDin elinikää (ASSIST). Voidaan kuitenkin laatia ennusteita LEDien eliniästä esimerkiksi Veikkaus-projektin perusteella. Veikkauksen mainokset (kuva27) ovat olleet kentällä noin 1,5 vuotta ilman LED rikkoja.



Kuva 27. Veikkaus-mainos

Veikkaus-mainoksia on 1500 kappaletta, joissa on yhteensä 7500 LEDiä (5 LEDiä/mainos). Mainos on keskimäärin 10 tuntia päällä vuorokaudessa. Näiden tietojen perusteella voidaan laskea vikaantumisen todennäköisyys seuraavasti.

$$\text{käyttöaika} = 1,5a * 365d / a * 10h / d = 5475h$$

Vikaantumistaajuuden (MTTF) laskemisessa käytetään jakajana ykköstä, koska yhtään LEDiä ei ole mennyt rikki.

$$MTTF = \frac{7500kpl * 5475h}{1kpl} = 41062500$$

Tästä voidaan edelleen laskea kaavalla 1 todennäköisyys sille, että yksittäinen LED ei rikkoonnu 50 000 tunnissa.

$$R(50000) = \exp\left[-\frac{50000}{41062500}\right] \approx R(50000) = \exp[-0,001]$$

LED kestää siis kenttäkokemusten perusteella rikkoontumatta 50 000 tuntia 99,9 % todennäköisyydellä [7, s.15].

## 11 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää Luxeon LEDien ja käytettävän moduuli-rakenteen luotettavuus. Työn tuloksena saatiin paljon uutta tietoa LEDien ja tehonlähteiden kestävydestä. Tuloksia käytetään tuotteiden jatkokehitykseen ja mahdollisesti markkinointiin.

Kokonaisuutena Imagonin käyttämät Luxeon LED -tuotteet ovat luotettavia ja niiden toiminta näyttäisi vastaavan Lumiledsin LEDeille ilmoittamia arvoja. LED-moduulille on kuitenkin mahdotonta määrittää todellista kestoikää näin lyhyen testinjakson perusteella. Yhtään LEDiä ei saatu testeissä himmenemään riittävästi, jotta LED voitaisiin katsoa rikkoontuneeksi.

Lumileds on ilmoittanut Luxeon-tuotteiden kestävän viisikymmentätuhatta tuntia alle kolmenkymmenen prosentin himmentymällä alkuperäiseen kirkkauteen verrattuna. Valomainoskäytössä LEDit joutuvat kuitenkin alltiiksi ankarille ympäristörasituksille. Tästä johtuen on oletettavaa, ettei valmistajan ilmoittamia eliniän odotusarvoja täysin saavuteta.

Ilmaston epäpuhtaudet, lämpötilan vaihtelut, lämmönjohtavuuden heikkeneminen ja mahdolliset virtapiikit lyhentävät LEDien elinikää. Testeissä havaittiin muutamia rakenteellisia yksityiskohtia, joiden korjaaminen auttaa parantamaan luotettavuutta edelleen. Testejä varten valmistettujen kokoonpanojen vanhenusta jatketaan. Kokoonpanot tulevat toimimaan jatkuvasti ASSISTin LED-systeemien eliniän määrittystä varten annetuissa olosuhteissa. Kun testi on jatkunut 6000 tuntia, voidaan elinikä määrittää luotettavasti 1000h...6000h välisen toiminnan perusteella. Moduulien jatkotarkkailusta saadaan edelleen arvokasta tietoa tulevaa tuotekehitystä varten.

## LÄHDELUETTELO

- 1 Imagon yritys (13.2.2006) [WWW -dokumentti]  
<http://www.imagon.com/fi/yritys.htm>
- 2 Imagon tuotteet LED -valomainos (13.2.2006) [ WWW-dokumentti]  
[http://www.imagon.com/fi/tuotteet\\_led.htm](http://www.imagon.com/fi/tuotteet_led.htm)
- 3 Kinnunen, A. Elektroniikan testaustekniikka. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2001. Moniste
- 4 ESD-opas (21.2.2006) [WWW-dokumentti]  
<http://elektroniikka.turkuamk.fi/7050077/tuote06/tuote06.htm>
- 5 Pöyhönen, V. Juotostapahtuma (21.2.2006) [WWW-dokumentti]  
<http://www.kolumbus.fi/mikko.esala/juotostapahtuma.pdf>
- 6 Lyijytön pintaliitosprosessi-projekti. Lyijytön juote (21.2.2006) [WWW -dokumentti]  
<http://www.proessori.fi/es99/Unleaded.htm>
- 7 Luxeon reability (22.2.2006) [WWW-dokumentti]  
<http://www.lumileds.com/pdfs/RD25.PDF>
- 8 Tampereen teknillinen yliopisto. Elektroniikan komponentit ja piirit. Luotettavuus ja käyttövarmuus (25.2.2006) [WWW-dokumentti]  
[http://www.ele.tut.fi/teaching/74521/Luotettavuus\\_ja\\_kayttovarmuus.pdf](http://www.ele.tut.fi/teaching/74521/Luotettavuus_ja_kayttovarmuus.pdf)
- 9 Nevalainen, O. Ympäristövaikutusten huomioonottaminen ja testaus (26.2.2006). VTTT. [WWW-dokumentti]  
[http://www.machina.hut.fi/kurssit/41/199/TKK\\_YMP\\_TEST01.pdf](http://www.machina.hut.fi/kurssit/41/199/TKK_YMP_TEST01.pdf)

- 10 LEDs in lighting and lighting -seminaari (1.9.2005)  
Luento, Nadarajah Narendran, Lighting Research Center
- 11 Lehtinen, J. Q-flex OY. Puhelin keskustelu (31.3.2006).
- 12 Riipinen, L. Mitaten OY. Gigahertx optik –luminassimittarin edustaja  
Puhelin keskustelu (31.3.2006)



## LIITTEET

Liite A/1	Testikokoonpano A aloitusmittaus
Liite A/2	Testikokoonpano A loppumittaus
Liite A/3	Testikokoonpano A mitatut muutokset
Liite B/1	Testikokoonpano B aloitusmittaus
Liite B/2	Testikokoonpano B loppumittaus
Liite B/3	Testikokoonpano B mitatut muutokset
Liite B/3	Testikokoonpano B loppumittaus vakiovirta lähteen vaihdon jälkeen
Liite C/1	Testikokoonpano C aloitusmittaus
Liite C/2	Testikokoonpano C loppumittaus
Liite C/3	Testikokoonpano C mitatut muutokset
Liite D/1-1	Testikokoonpano D/SQ4FR aloitusmittaus
Liite D/1-2	Testikokoonpano D/SP4KG aloitusmittaus
Liite D/2-1	Testikokoonpano D/SQ4FR loppumittaus
Liite D/2-2	Testikokoonpano D/SP4KG loppumittaus
Liite D/3-1	Testikokoonpano D/SQ4FR mitatut muutokset
Liite D/3-2	Testikokoonpano D/SP4KG mitatut muutokset
Liite E/1-1	Testikokoonpano E/SQ4FR aloitusmittaus
Liite E/1-2	Testikokoonpano E/SP4KG aloitusmittaus
Liite E/2-1	Testikokoonpano E/SQ4FR loppumittaus
Liite E/2-2	Testikokoonpano E/SP4KG loppumittaus
Liite E/3-1	Testikokoonpano E/SQ4FR mitatut muutokset
Liite E/3-2	Testikokoonpano E/SP4KG mitatut muutokset
Liite F/1	Testikokoonpano F aloitusmittaus
Liite F/2	Testikokoonpano F loppumittaus
Liite F/3	Testikokoonpano F mitatut muutokset
Liite G/1	Testikokoonpano G aloitusmittaus
Liite G/2	Testikokoonpano G loppumittaus
Liite G/3	Testikokoonpano G mitatut muutokset
Liite O/1	Testikokoonpano O aloitusmittaus
Liite O/2	Testikokoonpano O loppumittaus
Liite O/3	Testikokoonpano O mitatut muutokset
Liite P/1	Testikokoonpano P aloitusmittaus
Liite P/2	Testikokoonpano P loppumittaus
Liite P/3	Testikokoonpano P mitatut muutokset
Liite R/1	Referenssi aloitusmittaus
Liite R/2	Referenssi loppumittaus
Liite R/3	Referenssi mitatut muutokset

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	A
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	10.1.2006
-------------------	-----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23,4
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysriipa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
A1	SSX1J	0,3145	0,3635	6217	691	43,8	39,2	3,30	-0,001	0,66
A2	SSX1J	0,3139	0,3621	6247	700	45,2	41,1	3,34	-0,001	0,64
A3	SSX1J	0,3210	0,3743	5924	686	45,3	41,1	3,32	-0,001	0,61
A4	SSX1J	0,3219	0,3741	5890	703	47,1	42,0	3,31	-0,001	0,68
A5	SSX1J	0,3114	0,3645	6340	670	46,8	42,7	3,35	-0,001	0,70
A6	SSX1J	0,3246	0,3849	5783	668	45,6	41,5	3,30	-0,001	0,70
A1	SSYAJ	0,3138	0,3492	6158	595	45,0	40,8	3,18	-0,001	1,03
A2	SSYAJ	0,3178	0,3157	6121	607	45,6	41,9	3,16	-0,001	0,97
A3	SSYAJ	0,3180	0,3521	6113	587	46,4	42,0	3,32	-0,001	0,99
A4	SSYAJ	0,3144	0,3456	6307	586	46,0	42,2	3,20	-0,001	0,89
A5	SSYAJ	0,3091	0,3386	6612	535	46,5	42,9	3,29	-0,001	0,97
A6	SSYAJ	0,3159	0,3479	6223	588	44,6	41,1	3,17	-0,001	1,14

KA	SSX1J	0,3179	0,3706	6067	686	45,6	41,3	3,32	-0,001	0,67
KA	SSYAJ	0,3148	0,3415	6256	583	45,7	41,8	3,22	-0,001	1,00

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
AX1	19,96	733	SSX1J
AX2	19,37	722	SSYAJ

TESTIKOKOONPANO	A
-----------------	---

PÄIVÄMÄÄRÄ	2.3.2006
------------	----------

HUONEEN LÄMPÖTILA	22,7
-------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysripa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
A1	SSX1J	0,3189	0,3622	6038	710	41,7	38,5	3,25	-0,001	1,15
A2	SSX1J	0,3178	0,3643	6078	709	43,5	39,8	3,28	-0,001	1,15
A3	SSX1J	0,3238	0,3717	5824	691	42,1	38,7	3,29	-0,001	1,15
A4	SSX1J	0,3252	0,3691	5773	706	45,5	41,7	3,28	-0,001	1,30
A5	SSX1J	0,3163	0,3625	6145	680	46,1	42,7	3,28	-0,001	1,30
A6	SSX1J	0,3293	0,3788	5615	678	44,2	41,1	3,27	-0,001	1,20
A1	SSYAJ	0,3193	0,3430	6084	583	41,7	39,5	3,17	-0,001	1,40
A2	SSYAJ	0,3234	0,3450	5892	603	45,3	42,3	3,14	-0,001	1,30
A3	SSYAJ	0,3218	0,3520	5945	556	43,9	41,8	3,27	-0,001	1,30
A4	SSYAJ	0,3295	0,3344	5627	581	44,4	41,3	3,18	-0,001	1,30
A5	SSYAJ	0,3094	0,3402	6582	534	45,0	41,8	3,25	-0,001	1,30
A6	SSYAJ	0,3202	0,3435	6044	590	42,7	40,0	3,15	-0,001	1,40
KA	SSX1J	0,3219	0,3681	5912	696	43,9	40,4	3,28	-0,001	1,21
KA	SSYAJ	0,3206	0,3430	6029	575	43,8	41,1	3,19	-0,001	1,33

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
AX1	19,68	733	SSX1J
AX2	19,19	721	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	A
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	22,7
--------------------------	------

NRO	LED	Muutos X - värikkyys	Muutos Y - värikkyys	Muutos Väriämpötila T ( K )	Muutos cd / m2 ( % )
A1	SSX1J	0,0044	-0,0013	-179	3
A2	SSX1J	0,0039	0,0022	-169	1
A3	SSX1J	0,0028	-0,0026	-100	1
A4	SSX1J	0,0033	-0,0050	-117	0
A5	SSX1J	0,0049	-0,0020	-195	1
A6	SSX1J	0,0047	-0,0061	-168	1
A1	SSYAJ	0,0055	-0,0062	-74	-2
A2	SSYAJ	0,0056	0,0293	-229	-1
A3	SSYAJ	0,0038	-0,0001	-168	-5
A4	SSYAJ	0,0151	-0,0112	-680	-1
A5	SSYAJ	0,0003	0,0016	-30	0
A6	SSYAJ	0,0043	-0,0044	-179	0

Muutos KA	SSX1J	0,0040	-0,0025	-155	1
Muutos KA	SSYAJ	0,0058	0,0015	-227	-1

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
AX1	-0,28	0	SSX1J
AX2	-0,18	-1	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	B
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	10.1.2006
-------------------	-----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23,4
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysripa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
B1	SSX1J	0,3190	0,3717	6006	607	43,2	42,8	3,23	0,860	0,60
B2	SSX1J	0,3160	0,3667	6141	644	43,8	43,8	3,27	0,930	0,55
B3	SSX1J	0,3164	0,3685	6122	636	42,9	41,9	3,30	0,850	0,58
B4	SSX1J	0,3146	0,3667	6198	631	40,2	39,5	3,28	0,570	0,70
B5	SSX1J	0,3167	0,3747	6086	704	41,0	39,6	3,36	0,860	0,59
B6	SSX1J	0,3136	0,3617	6264	695	40,8	39,7	3,33	0,880	0,58
B1	SSYAJ	0,3015	0,3287	7130	523	40,8	40,4	3,27	-0,001	0,80
B2	SSYAJ	0,3027	0,3284	7062	546	41,5	41,1	3,30	-0,001	0,72
B3	SSYAJ	0,3104	0,3450	6500	594	40,8	40,2	3,20	-0,001	0,74
B4	SSYAJ	0,3064	0,3385	6750	547	43,9	43,3	3,26	-0,001	0,80
B5	SSYAJ	0,3033	0,3375	6927	543	44,5	44,1	3,32	-0,001	0,80
B6	SSYAJ	0,2981	0,3179	7506	544	43,0	42,6	3,25	1,160	0,47

KA	SSX1J	0,316	0,368	6136	653	42,0	41,2	3,30	0,825	0,60
KA	SSYAJ	0,304	0,333	6979	550	42,4	42,0	3,27	0,193	0,72

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
BX1	19,8	739	SSX1J
BX2	19,6	720	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	B
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23,2
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m <sup>2</sup>	Lämpötila MPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytsriipa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
B1	SSX1J	0,3314	0,3762	5542	347	32,1	31,8	3,00	0,440	0,47
B2	SSX1J	0,3215	0,3698	5916	360	32,8	32,5	3,00	0,400	0,40
B3	SSX1J	0,3223	0,3761	5874	360	32,5	32,3	3,00	0,850	0,30
B4	SSX1J	0,3205	0,3745	5942	352	31,4	31,2	3,00	0,050	0,50
B5	SSX1J	0,3251	0,3799	5763	396	31,8	31,4	3,08	0,400	0,40
B6	SSX1J	0,3214	0,3705	5918	387	31,0	30,7	3,07	0,600	0,40
B1	SSYAJ	0,3043	0,3256	7004	511	37,1	36,0	3,24	-0,010	0,80
B2	SSYAJ	0,3059	0,3251	6914	544	38,0	37,2	3,25	-0,010	0,70
B3	SSYAJ	0,3146	0,3417	6316	574	37,1	36,5	3,17	-0,010	0,70
B4	SSYAJ	0,3096	0,3352	6615	539	40,1	39,7	3,22	-0,010	0,70
B5	SSYAJ	0,3069	0,3334	6774	555	41,4	40,6	3,26	-0,010	0,70
B6	SSYAJ	0,2996	0,3152	7455	549	39,6	39,3	3,21	-0,010	0,70

KA	SSX1J	0,3237	0,3745	5826	367	31,9	31,7	3,03	0,457	0,41
KA	SSYAJ	0,3068	0,3294	6846	545	38,9	38,2	3,23	-0,010	0,72

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
BX1	18,12	302	SSX1J
BX2	19,4	719	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	B
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23,2
--------------------------	------

NRO	LED	Muutos X - värikkyys	Muutos Y - värikkyys	Muutos Väriämpötila T ( K )	Muutos cd / m2 ( % )
B1	SSX1J	0,0124	0,0045	-464	-43
B2	SSX1J	0,0055	0,0031	-225	-44
B3	SSX1J	0,0059	0,0076	-248	-43
B4	SSX1J	0,0059	0,0078	-256	-44
B5	SSX1J	0,0084	0,0052	-323	-44
B6	SSX1J	0,0078	0,0088	-346	-44
B1	SSYAJ	0,0028	-0,0031	-126	-2
B2	SSYAJ	0,0032	-0,0033	-148	0
B3	SSYAJ	0,0042	-0,0033	-184	-3
B4	SSYAJ	0,0032	-0,0033	-135	-1
B5	SSYAJ	0,0036	-0,0041	-153	2
B6	SSYAJ	0,0015	-0,0027	-51	1

Muutos KA	SSX1J	0,0077	0,0062	-310	-44
Muutos KA	SSYAJ	0,0031	-0,0033	-133	-1

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
BX1	-1,68	-437	SSX1J
BX2	-0,2	-1	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	B
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23
--------------------------	----

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m2
B1	SSX1J	0,3227	0,3642	5880	621
B2	SSX1J	0,3202	0,3582	5998	639
B3	SSX1J	0,3207	0,3611	5966	611
B4	SSX1J	0,3193	0,3566	6042	609
B5	SSX1J	0,3200	0,3671	5980	699
B6	SSX1J	0,3180	0,3542	6104	684
B1	SSYAJ	0,3043	0,3256	7004	511
B2	SSYAJ	0,3059	0,3251	6914	544
B3	SSYAJ	0,3146	0,3417	6316	574
B4	SSYAJ	0,3096	0,3352	6615	539
B5	SSYAJ	0,3069	0,3334	6774	555
B6	SSYAJ	0,2996	0,3152	7455	549

Muutos KA	SSX1J	0,3202	0,3602	5995	644
Muutos KA	SSYAJ	0,3068	0,3294	6846	545

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
BX1	19,52	709	SSX1J
BX2	19,4	719	SSYAJ



<b>TESTIKOKOONPANO</b>	C
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	12.1.2006
-------------------	-----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23,2
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytsriipa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
C1	SSX1J	0,3190	0,3698	6014	628	41,3	40,9	3,17	0,32	0,60
C2	SSX1J	0,3184	0,3680	6040	618	43,0	42,8	3,16	0,80	0,32
C3	SSX1J	0,3182	0,3646	6060	624	42,4	42,1	3,16	0,85	0,40
C4	SSX1J	0,3184	0,3668	6044	636	42,6	42,1	3,18	0,90	0,30
C5	SSX1J	0,3095	0,3589	6453	684	43,7	43,5	3,35	0,55	0,40
C6	SSX1J	0,3163	0,3652	6137	594	41,7	41,3	3,18	0,83	0,38
C1	SSYAJ	0,3051	0,3377	6826	588	42,1	41,9	3,28	-0,001	0,80
C2	SSYAJ	0,3038	0,3383	6890	592	43,2	43,0	3,28	-0,001	0,90
C3	SSYAJ	0,3023	0,3377	6980	557	43,1	42,6	3,29	-0,001	0,90
C4	SSYAJ	0,3028	0,3278	7063	556	39,3	39,0	3,24	-0,001	0,82
C5	SSYAJ	0,3126	0,3426	6408	547	40,7	40,3	3,30	-0,001	0,78
C6	SSYAJ	0,3154	0,3456	6258	610	38,9	38,5	3,20	-0,001	0,73

KA	SSX1J	0,3166	0,3656	6125	631	42,5	42,1	3,20	0,708	0,40
KA	SSYAJ	0,3070	0,3383	6738	575	41,2	40,9	3,27	-0,001	0,82

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
CX1	19,24	722	SSX1J
CX2	19,63	723	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	C
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.32006
-------------------	---------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,3
------------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väri­lämpötila T ( K )	cd / m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysriipa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
C1	SSX1J	0,3220	0,3654	5904	638	39,2	38,7	3,13	0,00	0,48
C2	SSX1J	0,3221	0,3637	5906	514	40,2	39,8	3,12	-0,66	0,29
C3	SSX1J	0,3217	0,3640	5921	483	39,5	39,3	3,02	-0,54	0,31
C4	SSX1J	0,3221	0,3613	5910	653	39,8	39,4	3,14	-0,88	0,25
C5	SSX1J	0,3133	0,3544	6310	701	40,9	40,4	3,31	-0,56	0,33
C6	SSX1J	0,3211	0,3591	5958	601	39,6	39,2	3,14	-1,00	0,25
C1	SSYAJ	0,3096	0,3359	6610	572	40,4	40,1	3,23	-0,010	0,65
C2	SSYAJ	0,3071	0,3358	6739	596	41,0	40,5	3,23	-0,010	0,60
C3	SSYAJ	0,3074	0,3339	6740	542	40,6	40,0	3,23	-0,010	0,60
C4	SSYAJ	0,3049	0,3240	6990	561	39,5	39,0	3,20	-0,010	0,63
C5	SSYAJ	0,3178	0,3412	6166	536	40,4	40,1	3,26	-0,010	0,60
C6	SSYAJ	0,3171	0,3422	6194	614	38,9	38,4	3,19	-0,010	0,62

KA	SSX1J	0,3204	0,3613	5985	598	39,9	39,5	3,14	-0,607	0,32
KA	SSYAJ	0,3107	0,3355	6573	570	40,1	39,7	3,22	-0,010	0,62

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
CX1	18,9	721	SSX1J
CX2	19,38	723	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	C
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,3
--------------------------	------

NRO	LED	Muutos X - värikyys	Muutos Y - värikyys	Muutos Väriämpötila T ( K )	Muutos cd / m2 ( % )
C1	SSX1J	0,0030	-0,0044	-110	2
C2	SSX1J	0,0037	-0,0043	-134	-17
C3	SSX1J	0,0035	-0,0006	-139	-23
C4	SSX1J	0,0037	-0,0055	-134	3
C5	SSX1J	0,0038	-0,0045	-143	2
C6	SSX1J	0,0048	-0,0061	-179	1
C1	SSYAJ	0,0045	-0,0018	-216	-3
C2	SSYAJ	0,0033	-0,0025	-151	1
C3	SSYAJ	0,0051	-0,0038	-240	-3
C4	SSYAJ	0,0021	-0,0038	-73	1
C5	SSYAJ	0,0052	-0,0014	-242	-2
C6	SSYAJ	0,0017	-0,0034	-64	1

Muutos KA	SSX1J	0,0037	-0,0042	-140	-5
Muutos KA	SSYAJ	0,0037	-0,0028	-164	-1

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
CX1	-0,34	-1	SSX1J
CX2	-0,25	0	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	D
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	12.1.2006
-------------------	-----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23,2
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väri­lämpötila T (K)	cd / m2	Lämpötila MCPCB (°C)	Lämpötila jäähdytysriipa (°C)	LEDin yli (VDC)	Udc / V (+9,6)	Uac / V (+9,6k)
D1	SQ4FR	0,7101	0,3148	-	339	33,0	32,6	2,70	-0,001	0,48
D2	SQ4FR	0,7092	0,3143	-	362	34,4	34,2	2,76	-0,001	0,41
D3	SQ4FR	0,7105	0,3142	-	351	35,1	34,8	2,76	-0,001	0,44
D4	SQ4FR	0,7131	0,3155	-	310	34,7	34,5	2,66	-0,001	0,47
D5	SQ4FR	0,7100	0,3149	-	346	33,7	33,7	2,68	-0,001	0,47
D6	SQ4FR	0,7109	0,3152	-	338	34,6	34,5	2,72	-0,001	0,42
D7	SQ4FR	0,7104	0,3142	-	339	36,0	35,8	2,71	-0,001	0,42
D8	SQ4FR	0,7098	0,3160	-	336	36,2	35,9	2,71	-0,001	0,41
D9	SQ4FR	0,7099	0,3152	-	342	36,0	35,9	2,72	-0,001	0,44
D10	SQ4FR	0,7099	0,3166	-	341	34,5	34,3	2,70	-0,001	0,46

KA	SQ4FR	0,7104	0,3151	-	340	34,8	34,6	2,71	-0,001	0,44
----	-------	--------	--------	---	-----	------	------	------	--------	------

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
DX1	27,12	358	SQ4FR

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	D
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	12.1.2006
-------------------	-----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23,2
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysriipa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
D1	SP4KG	0,1596	0,9161	7262	295	42,1	41,9	3,30	-0,001	0,55
D2	SP4KG	0,1777	0,8452	7246	296	42,3	42,2	3,30	-0,001	0,55
D3	SP4KG	0,1767	0,8508	7242	273	41,8	42,0	3,30	-0,001	0,55
D4	SP4KG	0,1809	0,8404	7220	300	41,7	41,7	3,31	-0,001	0,55
D5	SP4KG	0,1756	0,8541	7246	282	40,4	40,3	3,30	-0,001	0,55
D6	SP4KG	0,1698	0,8569	7309	250	39,4	39,2	3,33	-0,001	0,55
D7	SP4KG	0,1685	0,8619	7310	259	39,7	39,6	3,35	-0,001	0,50
D8	SP4KG	0,1887	0,8440	7113	283	39,0	39,0	3,30	-0,001	0,50
D9	SP4KG	0,1673	0,8591	7334	256	39,9	39,9	3,29	-0,001	0,50
D10	SP4KG	0,1941	0,8349	7071	280	38,3	38,5	3,31	-0,001	0,50

KA	SP4KG	0,1759	0,8563	7235	277	40,5	40,4	3,31	-0,001	0,53
----	-------	--------	--------	------	-----	------	------	------	--------	------

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	( I/mA)	HUOM.
DX2	26,47	362	SP4KGD1 - D4;D7 - D10
DX3	6,65	356	SP4KG D5 JA D6

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	D
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,3
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m <sup>2</sup>	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysripa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	U <sub>dc</sub> / V ( +9,6 )	U <sub>ac</sub> / V ( +9,6k )
D1	SQ4FR	0,7194	0,3098	-	315	31,7	31,5	2,70	-0,01	0,40
D2	SQ4FR	0,7141	0,3071	-	350	32,9	32,7	2,77	-0,01	0,36
D3	SQ4FR	0,7154	0,3072	-	334	33,3	33,1	2,77	-0,01	0,38
D4	SQ4FR	0,7173	0,3073	-	287	33,0	32,4	2,66	-0,01	0,39
D5	SQ4FR	0,7138	0,3079	-	329	31,1	31,0	2,69	-0,01	0,40
D6	SQ4FR	0,7143	0,3071	-	321	32,0	32,0	2,73	-0,01	0,38
D7	SQ4FR	0,7146	0,3062	-	328	34,3	34,0	2,71	-0,01	0,38
D8	SQ4FR	0,7089	0,3113	-	333	34,3	34,2	2,72	-0,01	0,40
D9	SQ4FR	0,7147	0,3066	-	330	34,1	33,8	2,72	-0,01	0,39
D10	SQ4FR	0,7122	0,3103	-	336	32,7	32,4	2,70	-0,01	0,40

KA	SQ4FR	0,7145	0,3081	-	326	32,9	32,7	2,72	-0,010	0,39
----	-------	--------	--------	---	-----	------	------	------	--------	------

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
DX1	27,2	359	SQ4FR

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	D
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,3
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysripa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
D1	SP4KG	0,1837	0,8478	7164	292	37,3	37,0	3,10	-0,01	0,60
D2	SP4KG	0,1900	0,8219	7159	294	37,5	37,4	3,10	-0,01	0,60
D3	SP4KG	0,1873	0,8372	7149	273	37,4	37,4	3,10	-0,01	0,60
D4	SP4KG	0,1898	0,8284	7142	298	37,6	37,5	3,12	-0,01	0,60
D5	SP4KG	0,1850	0,8466	7152	281	36,5	36,1	3,13	-0,01	0,60
D6	SP4KG	0,1731	0,8356	7332	246	36,0	35,7	3,11	-0,01	0,65
D7	SP4KG	0,1814	0,8341	7232	262	37,0	36,9	3,13	-0,01	0,55
D8	SP4KG	0,1927	0,8328	7094	283	36,9	36,5	3,11	-0,01	0,56
D9	SP4KG	0,1780	0,8432	7248	257	36,2	36,1	3,11	-0,01	0,57
D10	SP4KG	0,2007	0,8317	6998	278	35,1	34,4	3,11	-0,01	0,65

KA	SP4KG	0,1862	0,8359	7167	276	36,8	33,1	3,11	-0,010	0,60
----	-------	--------	--------	------	-----	------	------	------	--------	------

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
DX2	24,91	362	SP4KGD1- D4 ; D7 - D10
DX3	6,25	356	SP4KG D5 JA D6

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	D
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,3
--------------------------	------

NRO	LED	Muutos X - värikkyys	Muutos Y - värikkyys	Muutos Väriämpötila T ( K )	Muutos cd / m2 ( % )
D1	SQ4FR	0,0093	-0,0050	-	-7
D2	SQ4FR	0,0049	-0,0072	-	-3
D3	SQ4FR	0,0049	-0,0070	-	-5
D4	SQ4FR	0,0042	-0,0082	-	-7
D5	SQ4FR	0,0038	-0,0070	-	-5
D6	SQ4FR	0,0034	-0,0081	-	-5
D7	SQ4FR	0,0042	-0,0080	-	-3
D8	SQ4FR	-0,0009	-0,0047	-	-1
D9	SQ4FR	0,0048	-0,0086	-	-4
D10	SQ4FR	0,0023	-0,0063	-	-1

Muutos KA	SQ4FR	0,0041	-0,0070	-	-4
--------------	-------	--------	---------	---	----

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
DX1	0,08	1	SQ4FR



<b>TESTIKOKOONPANO</b>	D
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,3
--------------------------	------

NRO	LED	Muutos X - värikkyys	Muutos Y - värikkyys	Muutos Väriämpötila T ( K )	Muutos cd / m2 ( % )
D1	SP4KG	0,0241	-0,0683	-98	-1
D2	SP4KG	0,0123	-0,0233	-87	-1
D3	SP4KG	0,0106	-0,0136	-93	0
D4	SP4KG	0,0089	-0,0120	-78	-1
D5	SP4KG	0,0094	-0,0075	-94	0
D6	SP4KG	0,0033	-0,0213	23	-2
D7	SP4KG	0,0129	-0,0278	-78	1
D8	SP4KG	0,0040	-0,0112	-19	0
D9	SP4KG	0,0107	-0,0159	-86	0
D10	SP4KG	0,0066	-0,0032	-73	-1
<b>Muutos KA</b>	<b>SP4KG</b>	0,0103	-0,0204	-68	0

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
DX2	-1,56	0	SP4KG D1-D4;D7-D10
DX3	-0,4	0	SP4KG D5 JA D6

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	E
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	12.1.2006
-------------------	-----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23,2
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m <sup>2</sup>	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysripa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
E1	SQ4FR	0,7095	0,3144	-	340	35,4	35,3	2,73	-0,001	0,38
E2	SQ4FR	0,7106	0,3145	-	343	36,7	36,5	2,68	-0,001	0,36
E3	SQ4FR	0,7116	0,3138	-	312	36,8	36,8	2,68	-0,001	0,37
E4	SQ4FR	0,7119	0,3151	-	306	36,8	36,8	2,66	-0,001	0,37
E5	SQ4FR	0,7097	0,3151	-	327	35,4	35,2	2,64	-0,001	0,38
E6	SQ4FR	0,7082	0,3168	-	326	34,7	34,5	2,64	-0,001	0,43
E7	SQ4FR	0,7083	0,3171	-	325	35,8	35,7	2,65	-0,001	0,41
E8	SQ4FR	0,7075	0,3167	-	340	37,1	36,8	2,65	-0,001	0,41
E9	SQ4FR	0,7093	0,3172	-	306	36,9	36,9	2,63	-0,001	0,43
E10	SQ4FR	0,7069	0,3165	-	332	35,7	35,7	2,67	-0,001	0,45

KA	SQ4FR	0,7094	0,3157	-	326	36,1	36,0	2,66	-0,001	0,40
----	-------	--------	--------	---	-----	------	------	------	--------	------

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
EX2	26,64	363	SQ4FR

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	E
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	12.1.2006
-------------------	-----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23,2
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysripa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
E1	SP4KG	0,1669	0,8954	7234	230	37,7	37,6	3,42	-0,001	0,36
E2	SP4KG	0,1565	0,8829	7392	251	38,3	38,1	3,31	-0,001	0,34
E3	SP4KG	0,1081	0,9280	7816	293	37,9	38,1	3,35	-0,001	0,32
E4	SP4KG	0,1633	0,8590	7385	275	39,8	39,6	3,36	-0,001	0,31
E5	SP4KG	0,1782	0,8580	7202	269	39,5	39,5	3,27	-0,001	0,30
E6	SP4KG	0,1832	0,8512	7161	248	38,4	38,3	3,33	-0,001	0,35
E7	SP4KG	0,1792	0,8661	7168	267	38,2	38,0	3,42	-0,001	0,34
E8	SP4KG	0,1695	0,8682	7280	265	36,4	36,4	3,42	-0,001	0,33
KA	SP4KG	0,1631	0,8761	7330	262	38,3	38,2	3,36	-0,001	0,33

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/ mA)	HUOM.
EX1	26,8	349	SP4KG

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	E
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,7
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysripa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
E1	SQ4FR	0,7169	0,3055	-	324	33,1	32,9	2,74	-0,001	0,40
E2	SQ4FR	0,7141	0,3071	-	330	33,9	33,6	2,69	-0,001	0,40
E3	SQ4FR	0,7157	0,3067	-	301	34,2	34,2	2,68	-0,001	0,40
E4	SQ4FR	0,7162	0,3070	-	290	34,4	34,2	2,66	-0,001	0,40
E5	SQ4FR	0,7131	0,3096	-	321	32,9	32,6	2,64	-0,001	0,40
E6	SQ4FR	0,7124	0,3113	-	327	33,1	32,8	2,65	-0,001	0,40
E7	SQ4FR	0,7134	0,3109	-	321	34,5	34,4	2,65	-0,001	0,40
E8	SQ4FR	0,7111	0,3098	-	344	34,6	34,2	2,65	-0,001	0,40
E9	SQ4FR	0,7129	0,3099	-	306	34,3	34,2	2,61	-0,001	0,40
E10	SQ4FR	0,7122	0,3101	-	339	33,8	33,5	2,67	-0,001	0,40

KA	SQ4FR	0,7138	0,3088	-	320	33,9	33,7	2,66	-0,001	0,40
----	-------	--------	--------	---	-----	------	------	------	--------	------

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
EX2	26,66	363	SQ4FR

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	E
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,7
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m <sup>2</sup>	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysripa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	U <sub>dc</sub> / V ( +9,6 )	U <sub>ac</sub> / V ( +9,6k )
E1	SP4KG	0,1546	0,9719	7176	221	34,9	34,5	3,39	-0,001	0,40
E2	SP4KG	0,1637	0,9418	7151	246	34,4	34,2	3,11	-0,001	0,40
E3	SP4KG	0,1522	0,9337	7297	285	36,0	32,5	3,17	0,000	0,50
E4	SP4KG	0,1468	0,9281	7372	267	34,7	34,0	3,19	-0,001	0,40
E5	SP4KG	0,1682	0,9077	7187	265	35,3	35,1	3,1	-0,001	0,40
E6	SP4KG	0,1742	0,8981	7142	245	35,3	35,2	3,12	-0,001	0,50
E7	SP4KG	0,1633	0,9220	7205	253	34,8	34,7	3,4	-0,001	0,50
E8	SP4KG	0,1727	0,8530	7284	290	35,4	35,2	3,38	-0,001	0,50

KA	SP4KG	0,1620	0,9195	7227	259	35,1	34,4	3,23	-0,001	0,45
----	-------	--------	--------	------	-----	------	------	------	--------	------

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
EX1	25,88	350	SP4KG

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	E
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,7
--------------------------	------

<b>NRO</b>	<b>LED</b>	<b>Muutos X - värikkyys</b>	<b>Muutos Y - värikkyys</b>	<b>Muutos Väriämpötila T ( K )</b>	<b>Muutos cd / m2 ( % )</b>
E1	SQ4FR	0,0074	-0,0089	-	-5
E2	SQ4FR	0,0035	-0,0074	-	-4
E3	SQ4FR	0,0041	-0,0071	-	-4
E4	SQ4FR	0,0043	-0,0081	-	-5
E5	SQ4FR	0,0034	-0,0055	-	-2
E6	SQ4FR	0,0042	-0,0055	-	0
E7	SQ4FR	0,0051	-0,0062	-	-1
E8	SQ4FR	0,0036	-0,0069	-	1
E9	SQ4FR	0,0036	-0,0073	-	0
E10	SQ4FR	0,0053	-0,0064	-	2

<b>Muutos KA</b>	<b>SQ4FR</b>	0,0044	-0,0069	-	-2
------------------	--------------	--------	---------	---	----

#### JÄNNITELÄHDE

<b>MERKINTÄ</b>	<b>(U/V)</b>	<b>(I/mA)</b>	<b>HUOM.</b>
EX2	0,02	0	SQ4FR

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	E
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,7
--------------------------	------

<b>NRO</b>	<b>LED</b>	<b>Muutos X - värikyys</b>	<b>Muutos Y - värikyys</b>	<b>Muutos Väriämpötila T ( K )</b>	<b>Muutos cd / m2 ( % )</b>
E1	SP4KG	-0,0123	0,0765	-58	-4
E2	SP4KG	0,0072	0,0589	-241	-2
E3	SP4KG	0,0441	0,0057	-519	-3
E4	SP4KG	-0,0165	0,0691	-13	-3
E5	SP4KG	-0,0100	0,0497	-15	-1
E6	SP4KG	-0,0090	0,0469	-19	-1
E7	SP4KG	-0,0159	0,0559	37	-5
E8	SP4KG	0,0032	-0,0152	4	9

<b>Muutos KA</b>	<b>SP4KG</b>	-0,0012	0,0434	-103	-1
------------------	--------------	---------	--------	------	----

#### JÄNNITELÄHDE

<b>MERKINTÄ</b>	<b>(U/V)</b>	<b>(I/mA)</b>	<b>HUOM.</b>
EX1	-0,92	1	SP4KG

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	F
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	12.1.2006
-------------------	-----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23,1
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T (K)	cd / m <sup>2</sup>	Lämpötila MCPCB (°C)	Lämpötila jäähdytysriipa (°C)	LEDin yli (VDC)	Udc / V (+9,6)	Uac / V (+9,6k)
F1	SSX1J	0,3214	0,3785	5900	686	43,0	42,4	3,19	-3,30	0,39
F2	SSX1J	0,3202	0,3765	5949	620	43,4	42,6	3,20	0,12	0,23
F3	SSX1J	0,3200	0,3715	5972	605	43,4	42,9	3,24	3,13	0,07
F4	SSX1J	0,3137	0,3615	6260	600	43,0	42,8	3,19	6,31	0,09
F5	SSX1J	0,3196	0,3707	5988	597	42,8	42,7	3,21	9,52	0,24
F6	SSX1J	0,3203	0,3762	5948	552	43,6	43,0	3,25	12,76	0,40
F1	SSYAJ	0,2972	0,3172	7575	531	43,0	42,4	3,36	15,79	0,88
F2	SSYAJ	0,2980	0,3288	7337	555	43,4	42,6	3,35	12,93	0,73
F3	SSYAJ	0,3031	0,3302	7018	557	43,4	42,8	3,34	10,01	0,58
F4	SSYAJ	0,3040	0,3378	6884	583	43,2	42,6	3,32	7,15	0,46
F5	SSYAJ	0,3045	0,3320	6917	554	43,0	42,6	3,28	4,2	0,36
F6	SSYAJ	0,3054	0,3350	6838	555	43,1	42,4	3,29	1,7	0,35
KA	SSX1J	0,3192	0,3725	6003	610	43,2	42,7	3,21	4,757	0,24
KA	SSYAJ	0,2265	0,2476	5321	417	32,4	31,9	2,49	6,473	0,42

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
FX1	19,32	736	SSX1J
FX2	20,01	729	SSYAJ



<b>TESTIKOKOONPANO</b>	F
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,2
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysripa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
F1	SSX1J	0,3260	0,3751	5738	705	36,6	35,7	3,10	-2,43	0,20
F2	SSX1J	0,3245	0,3673	5803	651	36,0	35,3	3,17	0,76	0,06
F3	SSX1J	0,3238	0,3642	5837	641	36,1	35,5	3,18	3,92	0,09
F4	SSX1J	0,3186	0,3555	6074	639	36,2	35,8	3,14	7,09	0,25
F5	SSX1J	0,3233	0,3637	5858	611	36,2	35,7	3,14	9,70	0,35
F6	SSX1J	0,3233	0,3704	5845	591	37,6	36,9	3,18	12,84	0,50
F1	SSYAJ	0,3102	0,3154	7346	537	37,7	37,1	3,29	-0,07	0,40
F2	SSYAJ	0,3013	0,3255	7182	546	37,9	37,1	3,26	13,31	0,70
F3	SSYAJ	0,3063	0,3274	6870	546	38,0	37,4	3,25	10,35	0,60
F4	SSYAJ	0,3074	0,3350	6730	595	37,8	37,3	3,27	7,38	0,50
F5	SSYAJ	0,3075	0,3284	6788	561	37,8	37,2	3,24	-0,01	0,70
F6	SSYAJ	0,3089	0,3317	6678	558	37,4	36,9	3,24	1,72	0,30

KA	SSX1J	0,3233	0,3660	5859	640	36,5	35,8	3,15	5,313	0,24
KA	SSYAJ	0,2302	0,2454	5199	418	28,3	27,9	2,44	4,085	0,40

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
FX1	18,88	736	SSX1J
FX2	19,62	730	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	F
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,2
--------------------------	------

NRO	LED	Muutos X - värikkyys	Muutos Y - värikkyys	Muutos Väriämpötila T ( K )	Muutos cd / m2 ( % )
F1	SSX1J	0,0046	-0,0034	-162	3
F2	SSX1J	0,0043	-0,0092	-146	5
F3	SSX1J	0,0038	-0,0073	-135	6
F4	SSX1J	0,0049	-0,0060	-186	7
F5	SSX1J	0,0037	-0,0070	-130	2
F6	SSX1J	0,0030	-0,0058	-103	7
F1	SSYAJ	0,0130	-0,0018	-229	1
F2	SSYAJ	0,0033	-0,0033	-155	-2
F3	SSYAJ	0,0032	-0,0028	-148	-2
F4	SSYAJ	0,0034	-0,0028	-154	2
F5	SSYAJ	0,0030	-0,0036	-129	1
F6	SSYAJ	0,0035	-0,0033	-160	1

Muutos KA	SSX1J	0,0041	-0,0064	-144	5
Muutos KA	SSYAJ	0,0037	-0,0022	-122	0

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
FX1	-0,44	0	SSX1J
FX2	-0,39	1	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	G
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	12.1.2006
-------------------	-----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23,9
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd/m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytsripa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
G1	SSX1J	0,3149	0,3521	6252	394	-	48,1	3,22	-0,001	0,83
G2	SSX1J	0,3160	0,3521	6199	378	-	51,2	3,29	-0,001	0,82
G3	SSX1J	0,3169	0,3551	6149	394	-	51,1	3,21	-0,001	0,82
G4	SSX1J	0,3157	0,3534	6207	397	-	51,0	3,17	-0,001	0,78
G5	SSX1J	0,3157	0,3507	6218	404	-	48,0	3,15	-0,001	0,90
G6	SSX1J	0,3153	0,3505	5239	370	-	48,1	3,22	-0,001	0,94
G1	SSYAJ	0,3159	0,3503	6211	387	-	34,2	3,32	-0,001	0,94
G2	SSYAJ	0,3123	0,3439	6364	391	-	34,6	3,22	-0,001	0,94
G3	SSYAJ	0,3105	0,3392	6534	415	-	35,1	3,21	-0,001	0,94
G4	SSYAJ	0,3072	0,3347	6746	391	-	35,1	3,31	-0,001	0,93
G5	SSYAJ	0,3131	0,5050	6338	394	-	34,4	3,26	-0,001	0,94
G6	SSYAJ	0,3123	0,3502	6379	423	-	33,8	3,17	-0,001	0,95
KA	SSX1J	0,3158	0,3523	6044	390	-	49,6	3,21	-0,001	0,85
KA	SSYAJ	0,2339	0,2779	4822	300	-	25,9	2,44	-0,001	0,71

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
GX1	19,4	728	SSX1J
GX2	19,6	727	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	G
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,9
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd/m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysriipa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
G1	SSX1J	0,3136	0,3611	6266	380	-	42,3	3,20	-0,010	0,80
G2	SSX1J	0,3172	0,3569	6129	360	-	44,5	3,25	-0,010	0,80
G3	SSX1J	0,3179	0,3582	6092	386	-	45,0	3,18	-0,010	0,80
G4	SSX1J	0,3209	0,3586	5965	387	-	44,1	3,15	-0,010	0,80
G5	SSX1J	0,3148	0,3577	6230	394	-	42,9	3,14	-0,010	0,90
G6	SSX1J	0,3161	0,3585	6167	360	-	43,0	3,19	-0,001	0,90
G1	SSYAJ	0,3169	0,3459	6185	380	-	31,4	3,26	-0,010	0,70
G2	SSYAJ	0,3171	0,3415	6197	372	-	32,0	3,19	-0,010	0,70
G3	SSYAJ	0,3129	0,3340	6448	413	-	32,0	3,19	-0,010	0,70
G4	SSYAJ	0,3109	0,3293	6594	392	-	31,9	3,26	-0,010	0,70
G5	SSYAJ	0,3161	0,3443	6230	390	-	31,9	3,2	-0,010	0,90
G6	SSYAJ	0,3167	0,3438	6207	425	-	31,9	3,15	-0,010	0,90

KA	SSX1J	0,3168	0,3585	6142	378	0,000	43,6	3,19	-0,009	0,83
KA	SSYAJ	0,2363	0,2549	4733	297	0,000	23,9	2,41	-0,008	0,58

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
GX1	19,25	727	SSX1J
GX2	19,4	730	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	G
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,9
--------------------------	------

NRO	LED	Muutos X - värikkyys	Muutos Y - värikkyys	Muutos Väriämpötila T ( K )	Muutos cd / m2 ( % )
G1	SSX1J	-0,0013	0,0090	14	-4
G2	SSX1J	0,0012	0,0048	-70	-5
G3	SSX1J	0,0010	0,0031	-57	-2
G4	SSX1J	0,0052	0,0052	-242	-3
G5	SSX1J	-0,0009	0,0070	12	-2
G6	SSX1J	0,0008	0,0080	928	-3
G1	SSYAJ	0,0010	-0,0044	-26	-2
G2	SSYAJ	0,0048	-0,0024	-167	-5
G3	SSYAJ	0,0024	-0,0052	-86	0
G4	SSYAJ	0,0037	-0,0054	-152	0
G5	SSYAJ	0,0030	-0,1607	-108	-1
G6	SSYAJ	0,0044	-0,0064	-172	0

Muutos KA	SSX1J	0,0010	0,0062	98	-3
Muutos KA	SSYAJ	0,0024	-0,0231	-89	-1

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
GX1	-0,15	-1	SSX1J
GX2	-0,2	3	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	O
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	12.1.2006
-------------------	-----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23
--------------------------	----

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd/m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysriipa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
O1	SSX1J	0,3274	0,3813	5681	651	41,7	37,7	3,26	-0,001	0,55
O2	SSX1J	0,3269	0,3832	5698	659	42,4	38,0	3,23	-0,001	0,55
O3	SSX1J	0,3296	0,3822	5604	644	42,6	38,8	3,17	-0,001	0,55
O4	SSX1J	0,3228	0,3819	5844	646	42,2	38,5	3,32	-0,001	0,55
O5	SSX1J	0,3239	0,3860	5800	652	43,3	39,1	3,32	-0,001	0,55
O6	SSX1J	0,3220	0,3774	5881	635	43,0	39,2	3,34	-0,001	0,55
O1	SSYAJ	0,3143	0,3524	6275	565	47,5	42,3	3,21	-0,001	0,58
O2	SSYAJ	0,3168	0,3505	6172	544	46,0	42,5	3,28	-0,001	0,58
O3	SSYAJ	0,3188	0,3565	6060	556	46,5	42,3	3,18	-0,001	0,57
O4	SSYAJ	0,3165	0,3513	6182	542	47,6	42,3	3,27	-0,001	0,57
O5	SSYAJ	0,3146	0,3515	6264	564	45,9	41,8	3,16	-0,001	0,57
O6	SSYAJ	0,3160	0,3540	6190	549	46,1	41,6	3,25	-0,001	0,56

KA	SSX1J	0,3254	0,3820	5751	648	42,5	38,6	3,27	-0,001	0,55
KA	SSYAJ	0,2371	0,2645	4643	415	35,0	31,6	2,42	-0,001	0,43

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
OX1	19,69	727	SSX1J
OX2	19,4	727	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	O
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,9
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysriipa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
O1	SSX1J	0,3311	0,3789	5552	666	38,0	35,0	3,17	-0,001	0,60
O2	SSX1J	0,3314	0,3805	5554	675	38,0	35,0	3,15	-0,001	0,60
O3	SSX1J	0,3379	0,3828	5320	660	38,7	35,2	3,11	-0,001	0,60
O4	SSX1J	0,3253	0,3836	5752	661	38,0	35,4	3,28	-0,001	0,60
O5	SSX1J	0,3263	0,3845	5718	665	38,2	35,3	3,29	-0,001	0,60
O6	SSX1J	0,3262	0,3741	5733	645	38,2	35,1	3,24	-0,001	0,60
O1	SSYAJ	0,3172	0,3476	6166	565	40,3	36,3	3,19	-0,001	0,60
O2	SSYAJ	0,3194	0,3459	6074	541	38,8	36,4	3,25	-0,001	0,60
O3	SSYAJ	0,3235	0,3513	5876	559	39,1	36,0	3,16	-0,001	0,60
O4	SSYAJ	0,3186	0,3442	6118	556	40,3	36,2	3,24	-0,001	0,60
O5	SSYAJ	0,3162	0,3389	6251	567	40,1	36,2	3,14	-0,001	0,60
O6	SSYAJ	0,3197	0,3468	6054	551	41,0	36,1	3,22	-0,001	0,60

KA	SSX1J	0,3297	0,3807	5605	662	38,183	35,167	3,207	-0,001	0,600
KA	SSYAJ	0,2393	0,2593	4567	417	29,950	27,150	2,400	-0,001	0,450

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
OX1	19,3	730	SSX1J
OX2	19,25	727	SSYAJ

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	O
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,9
--------------------------	------

<b>NRO</b>	<b>LED</b>	<b>Muutos X - värikkyys</b>	<b>Muutos Y - värikkyys</b>	<b>Muutos Väriämpötila T ( K )</b>	<b>Muutos cd / m2 ( % )</b>
O1	SSX1J	0,0037	-0,0024	-129	2
O2	SSX1J	0,0045	-0,0027	-144	2
O3	SSX1J	0,0083	0,0006	-284	2
O4	SSX1J	0,0025	0,0017	-92	2
O5	SSX1J	0,0024	-0,0015	-82	2
O6	SSX1J	0,0042	-0,0033	-148	2
O1	SSYAJ	0,0029	-0,0048	-109	0
O2	SSYAJ	0,0026	-0,0046	-98	-1
O3	SSYAJ	0,0047	-0,0052	-184	1
O4	SSYAJ	0,0021	-0,0071	-64	3
O5	SSYAJ	0,0016	-0,0126	-13	1
O6	SSYAJ	0,0037	-0,0072	-136	0

<b>Muutos KA</b>	<b>SSX1J</b>	0,0043	-0,0013	-147	2
<b>Muutos KA</b>	<b>SSYAJ</b>	0,0022	-0,0052	-76	0

#### JÄNNITELÄHDE

<b>MERKINTÄ</b>	<b>(U/V)</b>	<b>(I/mA)</b>	<b>HUOM.</b>
OX1	-0,39	3	SSX1J
OX2	-0,15	0	SSYAJ



<b>TESTIKOKOONPANO</b>	P
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	12.1.2006
-------------------	-----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	25,7
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytsriipa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
P1	MOD II, GREEN	0,1847	0,8739	7084	264	-	48,7	3,39	-0,001	0,54
P2	MOD II, GREEN	0,1312	0,8586	7790	355	-	47,8	3,37	-0,001	0,40
P3	MOD II, GREEN	0,1390	0,8590	7688	345	-	48,5	3,48	-0,001	0,55
P4	MOD II, GREEN	0,1437	0,9207	7428	240	-	48,1	3,48	-0,001	0,55

KA	mod II	0,1497	0,8781	7498	301	-	48,3	3,43	-0,001	0,51

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
PX1	13,78	349	MOD II

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	P
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,8
--------------------------	------

NRO	LED	X	Y	Väriämpötila T ( K )	cd / m2	Lämpötila MCPCB ( °C )	Lämpötila jäähdytysriipa ( °C )	LEDin yli ( VDC )	Udc / V ( +9,6 )	Uac / V ( +9,6k )
P1	MOD II, GREEN	0,1862	0,8847	7039	264	-	44,0	3,13	-0,010	0,30
P2	MOD II, GREEN	0,1327	0,8676	7736	344	-	43,5	3,21	-0,010	0,30
P3	MOD II, GREEN	0,1468	0,8640	7572	338	-	43,5	3,36	-0,010	0,30
P4	MOD II, GREEN	0,1433	0,9515	7346	232	-	44,0	3,39	-0,010	0,30

KA	mod II	0,152	0,892	7423,250	294,500	-	43,750	3,273	-0,010	0,300

#### JÄNNITELÄHDE

MERKINTÄ	(U/V)	(I/mA)	HUOM.
PX1	13,3	349	MOD II

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	P
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	21,8
--------------------------	------

<b>NRO</b>	<b>LED</b>	<b>Muutos X - värikkyys</b>	<b>Muutos Y - värikkyys</b>	<b>Muutos Väriämpötila T ( K )</b>	<b>Muutos cd / m2 ( % )</b>
P1	MOD II, GREEN	0,0015	0,0108	-45	0
P2	MOD II, GREEN	0,0015	0,0090	-54	-3
P3	MOD II, GREEN	0,0078	0,0050	-116	-2
P4	MOD II, GREEN	-0,0004	0,0308	-82	-3

<b>Muutos KA</b>	<b>mod II</b>	0,0026	0,0139	-74	-2

#### JÄNNITELÄHDE

<b>MERKINTÄ</b>	<b>(U/V )</b>	<b>(I/mA)</b>	<b>HUOM.</b>
PX1	-0,48	0	SSX1J

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	R
------------------------	---

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	12.1.2006
-------------------	-----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23,2
--------------------------	------

<b>NRO</b>	<b>LED</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Väriämpötila T ( K )</b>	<b>cd / m2</b>
RA1	STYAL	0,3128	0,3818	6212	270
RA2	STYAL	0,2975	0,3534	7058	266
RB1	SSXOJ	0,3123	0,3696	6282	324
RB2	SSXOJ	0,3092	0,3714	6398	320
RC1	SSX1J	0,3238	0,3960	5792	309
RC2	SSX1J	0,3248	0,3995	5754	329
RD1	STWOK	0,3310	0,3982	5553	329
RD2	STWOK	0,328	0,398	5649	339
RE1	LSXOK	0,311	0,360	6386	411
RE2	LSXOK	0,308	0,355	6542	422

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	REFERENSSI
------------------------	------------

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23
--------------------------	----

<b>Rivi Nro</b>	<b>LEDin lajittelukoodi</b>	<b>X - värikkyys</b>	<b>Y - värikkyys</b>	<b>Väriämpötila T ( K )</b>	<b>Koelaatikon L ( cd / m2 )</b>
RA1	STYAL	0,3169	0,3692	6096	272
RA2	STYAL	0,3020	0,3473	6896	266
RB1	SSXOJ	0,3165	0,3635	6133	326
RB2	SSXOJ	0,3127	0,3673	6275	318
RC1	SSX1J	0,3280	0,3889	5654	307
RC2	SSX1J	0,3291	0,3936	5616	328
RD1	STWOK	0,3349	0,3938	5428	328
RD2	STWOK	0,332	0,392	5484	339
RE1	LSXOK	0,315	0,357	6220	409
RE2	LSXOK	0,311	0,351	6420	419

<b>TESTIKOKOONPANO</b>	REFERENSSI
------------------------	------------

<b>PÄIVÄMÄÄRÄ</b>	2.3.2006
-------------------	----------

<b>HUONEEN LÄMPÖTILA</b>	23
--------------------------	----

<b>NRO</b>	<b>LED</b>	<b>Muutos X – värikkyys(%)</b>	<b>Muutos Y – värikkyys(%)</b>	<b>Muutos Väriämpötila T ( K )</b>	<b>Muutos cd / m2 ( % )</b>
RA1	STYAL	1	-3	-2	1
RA2	STYAL	2	-2	-2	0
RB1	SSXOJ	1	-2	-2	1
RB2	SSXOJ	1	-1	-2	-1
RC1	SSX1J	1	-2	-2	-1
RC2	SSX1J	1	-1	-2	0
RD1	STWOK	1	-1	-2	0
RD2	STWOK	1	-1	-3	0
RE1	LSXOK	1	-1	-3	0
RE2	LSXOK	1	-1	-2	1