



LEDIEN TUTKIMINEN VALOMAINOSTEN VALONLÄHTEENÄ

Opinnäytetyö

Mika Markkanen

**Sähkötekniikan koulutusohjelma
Energiahuolto**

Hyväksytty ____ . ____ . ____ _____

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU TEKNIikka KUOPIO

Koulutusohjelma

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Tekijä

Mika Markkanen

Työn nimi

Ledien tutkiminen valomainosten valonlähteenä

Työn laji

Opinnäytetyö

Päiväys

23.4.2010

Sivumäärä

40 + 12

Työn valvoja

lehtori Heikki Laininen

Yrityksen yhdyshenkilö

dipl. ins. Kari Väänänen

Yritys

Kuopion Neon 2 Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön aiheena oli suorittaa luotettavuustestaus valomainoksissa käytettäville LEDeille sekä muuntajille. Testauksen avulla pyrittiin hankkimaan tietoa LEDien ja muuntajien luotettavuudesta valomainoskäytössä. Työn teoriaosuudessa käsitellään LEDien sekä muuntajien luotettavuutta ja käyttöä valomainoksissa. Tutkimusosiossa esitellään työssä käytetty testausmenetelmä, suoritettut mittaukset sekä saadut tulokset. Työ sisältää myös tilasuunnitelman mahdollisesta Kuopion Neon 2 Oy:n tiloihin sijoitettavasta testahuoneesta, joka mahdollistaisi tuotteiden tutkimisen ja testaamisen omissa tuotantotiloissa.

Testausmenetelmänä käytettiin ympäristötestausta Savonia-ammattikorkeakoulun sääkaapissa. Valo- ja sähkötekniset mittaukset suoritettiin luminanssi- sekä yleismittarilla.

Tutkimuksen tuloksena saatiin tietoa LEDien himmenemisistä ja luotettavuudesta rasituksessa. Lisäksi tehtiin havaintoja lämpötilan vaihteluiden vaikutuksista LEDien kestävyYTEEN. Testaus osoitti Kuopion Neon 2 Oy:n käyttämien LEDien sekä muuntajien olevan luotettavia valomainoskäytössä.

Avainsanat

valomainos, led, ympäristötestaus

Luottamuksellisuus

julkinen

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme

Electrical Engineering

Author

Mika Markkanen

Title of Project

Testing LEDs as Light Source in Neon Signs

Type of Project

Final Project

Date

23 April 2010

Pages

40 + 12

Academic Supervisor

Mr. Heikki Laininen, Lecturer

Company Supervisor

Mr. Kari Väänänen

Company

Kuopion Neon 2 Oy

Abstract

The aim of this thesis was to perform reliability testing on LEDs used neon signs and transformers. The testing was designed to give information about the reliability of LEDs and transformers. The thesis includes a theoretical part about the reliability of LEDs and transformers. A practical part presents the used research method, measurements and the results. The test method was the environmental test carried out at the climate test chamber in Savonia University of Applied Sciences. The measurements were made by using a luminance and multimeter.

As a result, new information was obtained on the dimming and reliability of LEDs during environmental stress. Changing temperatures had an effect on the strength of LEDs. The tested LEDs and transformers are reliable in neon sign use.

Keywords

neon sign, LED, environmental test

Confidentiality

public

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on tehty Kuopion Neon 2 Oy:lle. Haluan kiittää diplomi-insinööri Kari Väänästä ja toimitusjohtaja Jukka Väänästä mahdollisuudesta tehdä haastava ja mielenkiintoinen opinnäytetyö. Kiitokset myös Savonia-ammattikorkeakoulun henkilökunnalle tarvittavien laitteiden ja tilojen järjestämisestä. Kiitos ohjaavalle opettajalleni lehtori Heikki Lainiselle rakentavasta ja rohkaisevasta palautteesta sekä työn ohjauksesta.

Kiitos!

Suonenjoella 23.4.2010

Mika Markkanen

Sisälllys

1	Johdanto	7
2	Kuopion Neon 2 Oy	8
3	Valomainokset	9
4	Valomainoksien sähkötyöt	10
	4.1 valomainosalan oikeudet ja ammattitaito	10
	4.2 valomainostöiden johtaja	10
	4.3 valomainostöiden tekijät	11
	4.4 tarpeelliset tilat ja työvälineet	12
	4.5 tarpeelliset säännökset ja määräykset sekä standardit	13
5	Valodiodi (LED)	15
6	Muuntajat	17
7	Elektroniikan komponentit ja liitostekniikat	19
8	Ilmaston vaikutukset ja luotettavuus	21
9	Vikaantuminen	23
10	Testausmenetelmät	24
11	Testausjärjestelyt	27
	11.1 sääkaappi Vötsch VC 4034	27
	11.2 optomittari Gigahertz-Optik X1-1	28
	11.3 testauskokoontimet	30
12	Tulokset	35
13	Tilasuunnitelma	38
14	Yhteenveto	39
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Valo- ja sähkötekniiset arvot liitteet A – J	

Kokoonpanot 1A ja 1B, aloitus- ja loppumittaus

Kokoonpanot 1C ja 2A, aloitus- ja loppumittaus

Kokoonpanot 2B ja 2C, aloitus- ja loppumittaus

Kokoonpanot 3A ja 3B, aloitus- ja loppumittaus

Kokoonpano 3C, aloitus- ja loppumittaus

Kokoonpano 4, aloitus- ja loppumittaus

Kokoonpano 5, aloitus- ja loppumittaus

Kokoonpano 6, aloitus- ja loppumittaus

Kokoonpanot 7A ja 7B, aloitus- ja loppumittaus

Kokoonpano 7C, aloitus- ja loppumittaus

Lämpötila-arvot liitteet K - L

Kokoonpanot 1B, 1C, 2B, 2C, 3B, 3C, 7A, 7B ja 7C, aloitus- ja loppumittaus

Kokoonpanot 4, 5 ja 6, aloitus- ja loppumittaus

1. Johdanto

LED valomainosten valonlähteenä syrjäyttää täysin perinteisen neonputken lähivuosina. Kuopion Neon 2 Oy:n LEDeissä on käyttöiän aikana huomattu selvää himmenemistä sekä muuntajissa rikkoontumisia. Työn tarkoituksena on suorittaa luotettavuustesti valomainoksissa käytettäville LEDeille sekä muuntajille. Tutkimuksissa käytetään apuna Savonia-ammattikorkeakoulun sääkaappia, jossa suoritetaan ympäristöolosuhdetesti kaikille testattaville LED-moduuleille ja muuntajille. Mittausarvoista tutkitaan LEDin himmenemistä, väriarvojen muuttumista sekä LEDien ja muuntajien sähköisten ominaisuuksien muuttumista.

Insinööriyön yhtenä osana on laatia suunnitelma Kuopion Neon 2 Oy:n tiloihin mahdollisesti tulevaisuudessa sijoitettavasta testaushuoneesta sekä sinne sijoitettavasta laitteistosta ja järjestelmästä.

2. Kuopion Neon 2 Oy

Kuopion Neon 2 Oy sai alkunsa pienestä yhden miehen yrityksestä vuonna 1994. Kari Väänänen aloitti liiketoiminnan yhdessä mainostoimisto MAT:n kanssa toimenkuvana huoltaa, korjata sekä asentaa alihankintana ostettuja valomainoksia. Jukka Väänänen liittyi toimintaan mukaan noin viisi kuukautta myöhemmin, ja vuonna 1995 Neon 2:n osakekanta ostettiin mainostoimisto MAT:lta. Vanhojen valomainosten huolto- ja korjaustehtävät työllistivät mutta liiketoimintaa pyrittiin kehittämään, jotta valomainokset voitaisiin valmistaa itse alihankinnan sijaan. /1/

Toimintaa kehitettiin koko 1990-luvun ajan palkkaamalla työntekijöitä ja hankkimalla laitteita valomainosten valmistukseen. Kuopion Neon 2 Oy:n ensimmäiset uudet toimitilat valmistuivat vuonna 2000. Tuotantokapasiteetin lisäyksen myötä palkattiin lisää työntekijöitä. Vuonna 2007 valmistuivat Kuopion Neon 2 Oy:n edellisiä suuremmat ja kehittyneemmät toimitilat. Vuonna 2008 toimitiloissa työskenteli jo 18 henkilöä. /1/

Nykyään Kuopion Neon 2 Oy:n tuotteita ovat erilaiset valomainokset, ikkunateippaukset sekä neliväriset suurkuvataulut ja tarrat. Ammattitaitoinen henkilökunta auttaa kohteiden kartoituksissa, mitoituksissa, toimenpidelupa-asioissa sekä suunnittelussa aina mainosrakenteiden rakenne- ja lujuuslaskentoihin asti. Tuotannosta löytyvät alan uusimmat koneet, ja asennuspalvelut hoituvat valtakunnallisesti. Nämä tekijät yhdessä takaavat korkean laadun, monipuolisen tuotevalikoiman sekä nopeat toimitukset asiakassuhteita unohtamatta. /1/

3. Valomainokset

Valomainos on helppo tapa luoda yritykselle sen tarvitsemaa mainosta. Kuopion Neon 2 Oy tarjoaa erilaisia valomainoksia, joita ovat perinteiset valomainokset, kotelo- ja muotokotelovalomainokset (kuva 3.1) sekä irtokirjainmainokset. Valomainoksia ovat myös erilaiset liikepaikkapylväät (pylonit) sekä mainostornit. Nykyisin LED valonlähteenä on korvannut jo lähes täysin neonputken. Kuitenkin perinteisiä loisteputkia käytetään yleisesti suuremmissa liikepylväissä sekä mainostorneissa elohopeahöyrylampujen lisäksi. Mainokset voidaan valaista eteen, taakse tai molempiin suuntiin. Mainosten etupintojen materiaaleina käytetään akryylia, joustovinyyliä tai alumiinia. /2/



Kuva 3.1. Tyypillinen kotelovalomainos.

Kuopion Neon 2 on ollut mukana LED-valaistuksen kehitystyössä jo vuosia. LED-tekniikan kehittyminen mahdollistaa energiatehokkaampien ja pitkäikäisten mainosten valmistamisen. Tulevaisuuden tekniikkaa ovat myös pienemmät koteloiden koot sekä pienjännitteen mukanaan tuoma parantunut sähköturvallisuus. /2/

4. Valomainoksien sähkötyöt

4.1 Valomainosalan oikeudet ja ammattitaito

Valomainoslaitteistoja on suunniteltava, valmistettava, käytettävä ja huollettava siten että niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa. Tästä syystä edellä mainittuja toimenpiteitä saa tehdä seuraavilla edellytyksillä: /3/

1. Töitä johtamaan nimetään valomainostöiden johtaja (sähkötöiden johtaja), jolla on riittävä kelpoisuus eli vähintään sähköpätevyys 3.
2. Itsenäisesti töitä suorittavalla ja valvovalla luonnollisella henkilöllä on riittävä kelpoisuus tai muuten riittävä ammattitaito, eli valomainos asentaja (sähköasentaja) tai valomainosten korjaus- ja huoltotöiden tekijä täyttää oman työnsä osalta itsenäiseen sähkötyöhön kykenevän henkilön ammattitaitovaatimukset.
3. Käytössä on töiden tekemisen kannalta tarpeelliset tilat ja työvälineet sekä sähköturvallisuutta koskevat säännökset ja määräykset.

Valomainoksia asentavan, korjaavan ja huoltotöitä tekevän yrityksen on sähköturvallisuusviranomaisen suorittamaa valvontaa varten tehtävä ilmoitus Turvatekniikan keskukselle (TUKES). Ohjeet ilmoituksen tekemisestä on annettu TUKES:n ohjeessa S7-98. Suunnittelussa ja valmistuksessa tulee myös noudattaa sähköturvallisuuslainsäädäntöä ja annettuja suosituksia. Näistä toimista ei kuitenkaan tarvitse tehdä ilmoitusta TUKES:lle. Suunnitelmien mukaan valmistettavien laitteiden sekä laitteistojen tulee kuitenkin olla turvallisia ja rakennevaatimusten mukaisia. /3/

4.2 Valomainostöiden johtaja

Valomainostöitä tekevän on sähkötöitä varten nimettävä valomainostöiden johtaja (sähkötöiden johtaja). Töiden johtaja on nimettävä aina ennen toiminnan aloittamista. Jos kyseinen töiden johtaja vaihtuu tai on estynyt tehtävästään muuten kuin lyhytaikaisen poissaolon vuoksi, on uusi valomainostöiden johtaja nimettävä 3 kuukauden kuluessa. Töiden johtajalta edellytetään vähintään sähköpätevyyttä 3 (S3). S3 oikeuttaa toimimaan töiden johtajana enintään 1000 V:n vaihtojännitteeseen ja 1500 V:n tasajännitteeseen sähköverkkoon liitettäväksi tarkoitettujen valomainoslaitteiden ja valomainoslaitteistojen korjaustöissä. /3/

Valomainostöiden johtajan tulee huolehtia seuraavista asioista: /3/

1. Valomainostöissä noudatetaan sähköturvallisuuslakia, annettuja säännöksiä ja määräyksiä.
2. Valomainoslaitteistot ja -laitteet ovat sähköturvallisuuslaissa ja sen nojalla annetuissa säännöksissä ja määräyksissä edellytetyssä kunnossa ennen käyttöönottoa tai toiselle luovutusta.
3. Valomainostöitä tekevät henkilöt ovat ammattitaitoisia ja riittävästi opastettuja tehtäviinsä.

Töiden johtajalle tulee antaa riittävät mahdollisuudet johtaa ja valvoa tehtäviä töitä.

Turvatekniikan keskus valvoo sähköpäteyyksiä ja voi vaatia selvitystä valomainostöiden johtajan edellytyksistä hoitaa tehtävänsä. Todetessaan valomainostöiden johtajan hoitavan tehtäviään puutteellisesti tai virheellisesti, voi TUKES kieltää henkilöä toimimasta töiden johtajana tai rajoittaa hänen oikeuksiaan. TUKES:n on ilmoitettava välittömästi asettamastaan kiellosta tai rajoituksesta toiminnan harjoittajalle. /3/

4.3 Valomainostöiden tekijät

Valomainoslaitteistoihin liittyvät sähkötyöt edellyttävät aina valomainosalan ammattilaista niitä tekemään. Valomainoslaitteistoihin liittyviä sähkötöitä ovat valomainosten sähköjärjestelmien ja sähkölaitteiden

- asennuspaikalla tapahtuvat asennustyöt: uusien asennukset, laajennukset, muutokset, perusparannukset. Asennustyöhön kuuluu yleensä kiinteänä osana myös asennusten käyttöönottotarkastukset, jotka sisältävät silmämääräiset tarkastukset sekä tarvittavat mittaukset ja testaukset. /3/
- asennuspaikalla, korjaamotiloissa tms. tapahtuvat korjaus- ja huoltotyöt. /3/

Valomainosasennuksiin rinnastettavia käyttötöitä ovat niiden hoito- ja kunnossapitotyöt.

Hoitotöitä ovat ennako- ja määräaikaishuollot, tarkastukset ja vastaavat. Kunnossapitotöihin luetaan korjaukset, huollot, vaihtotyöt sekä siivoukset ja puhdistukset. Opastettujen henkilöiden toimenpiteet eivät ole sallittuja, kun kyseessä on hoito- tai kunnossapitotyö, joka kohdistuu jännitteeseen laitteistoon, jossa on kosketussuojaamattomia osia. /3/

Riittävän ammattitaitoiseksi tekemään itsenäisesti valomainosalan sähkö- ja käyttötöitä ja valvomaan niitä, katsotaan henkilö, joka on kyseisiin töihin opastettu ja jolla on lisäksi /3/

1. valomainosalan töihin soveltuva diplomi-insinöörin, insinöörin, tai teknikon tutkinto
2. sähköalan ammattitutkinto tai erikoisammattitutkinto taikka vastaava valomainosalan töihin soveltuva tutkinto
3. hyväksytysti suoritettu sähkö- tai valomainosalan oppisopimuskoulutus,
4. sähköalan kolmivuotinen ammatillinen perustutkinto tai soveltuvan valomainosalan koulutus ja sen jälkeen hankittu vuoden työkokemus vastaavista töistä
5. sähköalan kaksivuotinen ammatillinen perustutkinto tai soveltuvan valomainosalan koulutus ja sen jälkeen hankittu kahden vuoden työkokemus vastaavista töistä
6. sähköalan yhden vuoden pituinen sähköalan koulutus tai soveltuvan valomainosalan koulutus ja sen jälkeen hankittu kolmen vuoden työkokemus vastaavista töistä tai
7. hankittu kuuden vuoden työkokemus kyseisistä valomainosalan töistä ja valomainosalan perustiedot.

4.4 Tarpeelliset tilat ja työvälineet

Sähköturvallisuuslaki edellyttää, että valomainoslaitteistojen rakennus-, korjaus- ja huoltotöissä, siis myös sähkötöissä, on käytössä töiden tekemisen kannalta tarpeelliset työvälineet.

Turvatekniikan keskus on omassa ohjeessaan S7-98 määritellyt, miten sähköturvallisuuslain vaatimukset täytetään. Töitä harjoittavalla yrityksellä tulee myös olla toiminnan laajuuden edellyttämät toimitilat sekä yhteydenpitoa varten kiinteä toimipiste. /3/

Turvatekniikan keskukselle sähkötöistä ilmoituksen tehneeltä valomainosurakoitsijalta vaaditaan myös tarpeellisia työvälineitä sekä riittävästi mittalaitteita. Näitä ovat: /3/

- yleismittari
- jännitteenkoetin
- pihtiampeerimittari
- eristysresistanssin mittauslaite
- vaihejärjestyksen ilmaisim
- ryhmäjohtoalueen tai laajempien töiden osalta suojajohdinsiirien kunnon toteamiseen soveltuvat mittalaitteet
- oikosulkuvirran toteamiseen soveltuvat mittalaitteet.

Valomainosurakoitsijalla tulee olla käytössään myös muut toiminnan kannalta tarpeelliset mittalaitteet. Jännitteisten osien kanssa kosketuksiin jouduttaessa on suojalaitteena käytettävä tarpeen mukaan suojaerotusmuuntajaa tai vikavirtasuojakytkintä sekä erilaisia irrallisia eristeaineisia suoja. Mittalaitteiden mittapäiden tulee olla tarkoitukseen soveltuvia ja turvallisia. Jännitekokeen suorittamiseen korjaustoiminnassa voi tarvita koejännitelaitetta. /3/

Sähköturvallisuutta koskevassa standardissa SFS 6002 on oma kohtansa (4.6) työkaluille, varusteille ja laitteille. Niiden tulee täyttää eurooppalaisten, kansainvälisten ja kansallisten standardien vaatimukset niiltä osin kuin standardeja on olemassa. Standardien puuttuminen ei poista vaatimusta siitä, että työt tulee suorittaa turvallisuusvaatimukset täyttävillä välineillä. /3/

Kaikkia työvälineitä tulee käyttää valmistajan ohjeiden tai opastuksen mukaisesti. Työvälineiden tulee olla työskentelevälle henkilölle sopivia työskentelyolosuhteista riippumatta, jotta ne eivät haittaa työskentelyä. Jännitetoissa tulee aina käyttää asianmukaisia jännitetyövälineitä. Välineitä, varusteita ja laitteita tulee myös huoltaa, käsitellä, säilyttää ja kuljettaa asianmukaisesti. /3/

Esimerkkejä muista työvälineistä, varusteista ja laitteista kuin mittalaitteista ovat: /3/

- sopivat suojavaatteet
- silmien ja kasvojen suojaimet
- päänsuojaimet
- eristävät saappaat, käsineet ja suojakengät
- eristetyt ja eristävät työkalut
- käyttö- ja ohjaussauvat
- jännitteen koettimet ja jännitteen ilmaisujärjestelmät
- kaapelien paikantamisvälineet
- työmaadoitusvälineet
- lukot, varoituskilvet ja merkit
- suojukset, liput ja tuet
- eristävät, joustavat ja jäykät suojamateriaalit
- eristävät matot, työtasot ja telineet.

Käytettäville välineille, varusteille ja laitteille on tehtävä silmämääräisiä tarkastuksia ja tarvittavia sähköisiä testejä, jotta ne pysyvät käyttökunnossa. Sähköisen kestävyuden ja mekaaniset ominaisuudet varmistavia testejä ja tarkastuksia tulisi tehdä säännöllisesti sekä tarpeen mukaan aina ennen työn aloittamista. /3/

4.5 Tarpeelliset säännökset ja määräykset sekä standardit

Valomainosurakointia harjoittavalla tulee olla käytettävissään sähköpätevyyden 3 sähköturvallisuustutkinnossa vaaditut julkaisut, säännökset, määräykset sekä standardit. Näiden lisäksi tulee käytettävissä olla valomainosalan erityisjulkaisut, kuten valomainoksia koskevat asennus- ja rakennestandardit. /3/

Valomainoksia koskevia asennus- ja rakennestandardveja ovat: /3/

- Sähköturvallisuuslaki (410/1996 muutos 634/1999, 913/2002, 220/2004 ja 1465/2007)
- Sähköturvallisuusasetus (498/1996 muutos 323/2004 ja 402/2008)
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköalan töistä (516/1996 muutos 1194/1999, 28/2003, 1253/2003 ja 693/2005)
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteiden turvallisuudesta (1694/1993, muutos 922/1994, 1216/1995, 216/1996, 650/1996 ja 29/2003)
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta (1466/2007)
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen turvallisuudesta (1193/1999).

Valomainoksia koskevia erityisjulkaisuja ovat: /3/

- Turvatekniikan keskuksen ohje S7-98 toimintailmoitus sähkötöistä
- Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry:n julkaisema D1-käsikirja rakennusten sähköasennuksista (2009)
- Sähkötarkastuskeskuksen julkaisema ST-ohjeisto 6 sähkölaitteiden korjaajan opas
- Öljy- ja Kaasulämmitys Yhdistys ry:n teknillinen suositus TS-2 lämmityslaitteistojen sähköasennukset.

Muita valomainoksia koskevia standardeja: /3/

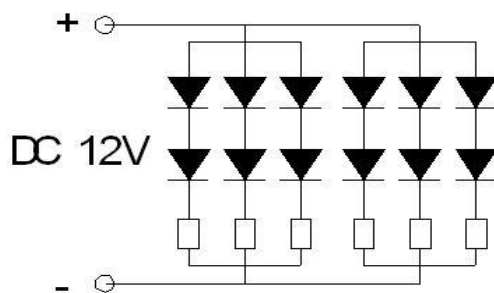
- SFS-käsikirja 600
- SFS-6000 Pienjännitesähköasennukset
- SFS-6002 Sähkötyöturvallisuus
- SFS-EN 60439-1 Jakokeskukset
- SFS-EN 60079-14 Räjähdyksenvaaralliset tilat
- SFS-EN 50107 Valomainokset ja valopurkausputkien asennukset yli 1 kV mutta alle 10 kV tyhjäkäyntijännitteellä
- SFS-EN 60598 Valaisimet.

5. Valodiodi (LED)

LED eli *Light Emitting Diode* on valoa säteilevä diodi eli puolijohdekomponentti. Kun myötäsuumainen virta pääsee kulkemaan diodin läpi, LED syttyy valaisemaan. Päästösuuntaisen jännitteen (kynnysjännitteen) suuruus riippuu LEDien koosta ja väristä. LEDien emittoivan valon väri riippuu valmistukseen käytetystä puolijohdemateriaalista. Valkoiset, siniset ja vihreät LEDit valmistetaan yleensä indium-gallium-nitridi-puolijohdeesta (InGaN). Keltaiset, punaiset ja oranssit tehdään yleisimmin alumiini-gallium-indium-fosfaatti-puolijohdeesta (AlGaInP). LEDin lähettämää valon värin sävyä voidaan muuttaa sen pintaan sijoitetuilla erivärisillä kalvoilla ja pinnoitteilla. Kuitenkin LEDin emittoivan valon spektri on lähes monokromaattista. /4/

Kuopion Neon 2 Oy:n käyttämiä LED-moduuleja kutsutaan tässä työssä nimillä LED-moduuli 1 ja LED-moduuli 2.

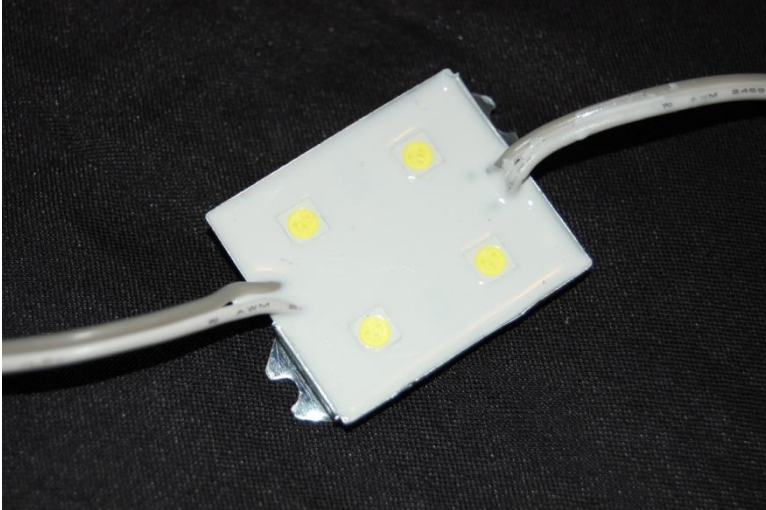
LED-moduuli 1 on SMD-tekniikalla (pintaliitostekniikka) toteutettu erittäin kirkas 4 LEDiä sisältävä LED-moduuli. Yksi LED koostuu kolmesta sirusta. Moduuli on valmistettu käyttäen LEDin kanssa sarjavastusta (kuva 5.1).



Kuva 5.1. LED-moduuli 1:n kytkentäkuva.

Kotelo on valmistettu alumiinista ja valuaaineena käytetään epoksia. Moduuli on tarkoitettu toimimaan 12 V:n jännitteellä, jolloin se ottaa 0,12 A:n virran ja 1,44 W:n tehon. Sirun puolijohdekomponenttien materiaali on InGaN (Indium Gallium Nitridi), ja moduulia on saatavissa punaisena, vihreänä, sinisenä, keltaisena, puhtaana valkoisena sekä lämpimänä valkoisena. Pintaliitostekniikka mahdollistaa korkean suojausluokan IP65:n (kuva 5.2).

Kiinnitystä varten moduulin takaosassa on kaksipuoleinen teippi. Moduulit on pakattu 20 kappaleen nauhaksi, joka on helppo käyttää tuotannossa.



Kuva 5.2. LED-moduuli 1.

LED-moduuli 2 on Kuopion Neon 2 Oy:n suunnittelema teho-LED-moduuli, jossa keraamisella alustalla on pintaliitostekniikalla toteutettu yhden sirun sisältävä LED (kuva 5.3). Moduuli toimii 350 mA:n virralla, joten se vaatii muuntajaksi vakiovirtalähteen, koska sarjavastuksia ei käytetä. Puolijohdekomponentin materiaali on InGaN ja moduulin väri vaihtoehtoja ovat valkoinen, sininen ja vihreä. Moduulit on pakattu viiden kappaleen nauhoiksi, joita yhdessä paketissa on neljä kappaletta.



Kuva 5.3. LED-moduuli 2.

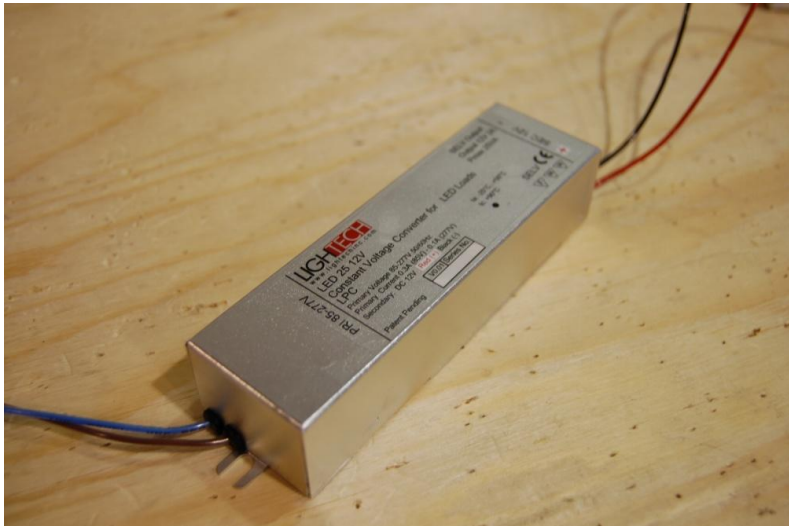
Moduuli luovuttaa lämpönsä aluslevyn pohjassa olevan lämpöä johtavan teipin kautta. Riittävän kiinnittymisen varmistamiseksi moduulin saa asentaa vain hyvin puhdistetulle pinnalle.

LED-moduuli 2 on kehitysvaiheessa oleva tuote, eikä sen mittaustuloksiin oteta tässä työssä kantaa. Moduulille suoritettiin kuitenkin samat testit kuin muillekin tuotteille.

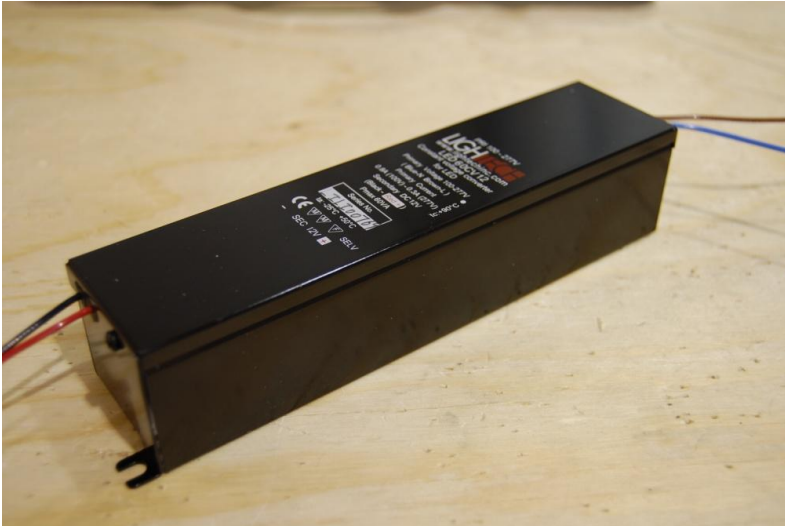
6. Muuntajat

LEDeissä käytetään joko tasajännite- tai tasavirtajärjestelmällä toteutettua muuntajaa. LED on hyvin herkkä käyttöjännitteen ja virran vaihteluille. Normaali-tehoisissa LEDeissä virta rajoitetaan sopivaksi LED-moduuliin kytketyllä sarjavastuksella. Teho-LED-moduuleissa, joissa sarjavastusta ei käytetä, on virta rajoitettava käyttämällä vakiovirtalähdettä, joka pitää antovirran vakiona kuormituksen vaihdellessa.

Kuopion Neon 2 Oy käyttää valomainoksissa vakiojännitelähteen 25 VA:n (kuva 6.1) ja 60 VA:n malleja (kuva 6.2). Komponentit on valettu alumiinikoteloon, joka takaa korkean IP-luokan 67. Tämä on tärkeää ottaen huomioon muuntajien käyttöolosuhteet, jotka voivat olla hyvinkin vaihtelevia valomainoskoteloiden sisällä.



Kuva 6.1. 25 VA:n muuntaja.



Kuva 6.2. 60 VA:n muuntaja.

Muuntaja sisältää myös ylijännite-, ylivirta- ja lämpötilasuojauksen sekä oikosulkusuojan, mikä lisää muuntajan luotettavuutta ja suojaa sitä rikkoontumisilta.

Seuraavassa on esitetty muuntajien tekniset tiedot:

Malli:	25 VA: LED-25-8 V/12 V/24 V DC P 60 VA: LED-60 W DC 12 V/24 V
Teho:	25 VA: 1-25 VA 60 VA: 1-60 VA
Jännite:	25 VA: 100-277 V, 50/60 Hz 60 VA: 100-277 V, 50/60 Hz
Antojännite:	25 VA: 8 V/12 V/24 V 60 VA: 12 V/24 V
Kotelon maksimilämpötila (Tc):	25 VA: 90 °C 60 VA: 90 °C
Ympäristön maksimilämpötila (Ta):	25 VA: 50 °C 60 VA: 50 °C
Paino:	25 VA: 300 g 60 VA: 570 g
Mitat:	25 VA: 133 X 40 X 30,5 mm 60 VA: 198 X 44 X 40 mm

7. Elektroniikan komponentit ja liitostekniikat

Elektroniikkalaitteiden perustan luovat piirilevy ja sille ladottavat komponentit. Käytettävät komponentit määräävät laitteen suorituskyvyn sekä käyttöolosuhteet. Elektroniikan kehittyessä on komponenttien valinnoilla entistä suurempi merkitys valmiin tuotteen laadun ja edullisuuden suhteen. Tuottavuutta sekä valmistukseen käytettävää aikaa voidaan parantaa komponenttien huolellisella suunnittelulla ja valinnalla. Komponenttivalinnat ohjaavat myös valmistuksessa käytettäviä ladontamenetelmiä, jotka vaikuttavat valmistuksen tehokkuuteen ja edullisuuteen. /5/

Komponentit jaotellaan liitostekniikan mukaan, joko läpivienti- tai pintaliitoskomponentteihin eli SMD-komponentteihin (Surface Mount Device). Läpivientitekniikassa komponentin jalat tai johtimet viedään piirilevyn rei'istä lävitse. Komponentit syötetään läpi levyn latoviin koneisiin nauhalta. Läpivientikomponentteja kutsutaan myös langallisiksi komponenteiksi. Läpiladontatekniikan tulee kuitenkin syrjäyttämään tulevaisuudessa pintaliitostekniikka. Investointi uuteen tekniikkaan on kuitenkin liian kallista yrityksille, joissa ladonta tapahtuu osittain vielä käsin. /5/

Pintaliitostekniikassa piirilevyn ei tehdä mitään reikiä vaan komponentit ladotaan levyn pinnalle. Komponentit ovat paljon pienempiä ja lopputuotteesta saadaan myös pienempi. Komponenttien liittimien saattaa kuitenkin kohdistua ulkoisia voimia koska komponentti ei saa enää tukea piirilevyn rei'istä. Pintaliitostekniikka on paljon yksinkertaisempaa kuin komponenttien jalkojen taivuttelu piirilevyn reikiin. Lisäksi käyttöön saadaan piirilevyn molemmat puolet. Samalle piirille voidaan myös asentaa sekä pintaliitos- että läpivientikomponentteja. Kuvassa 7.1 on esitetty LED-nauha, jossa toisella puolella nauhaa on komponentit pintaliitostekniikalla asennettuna ja toisella puolella on nauhan kiinnittävä teippi. Nauha on täysin joustavaa ja voidaan kiinnittää kaarevasti kohteeseen. /5/



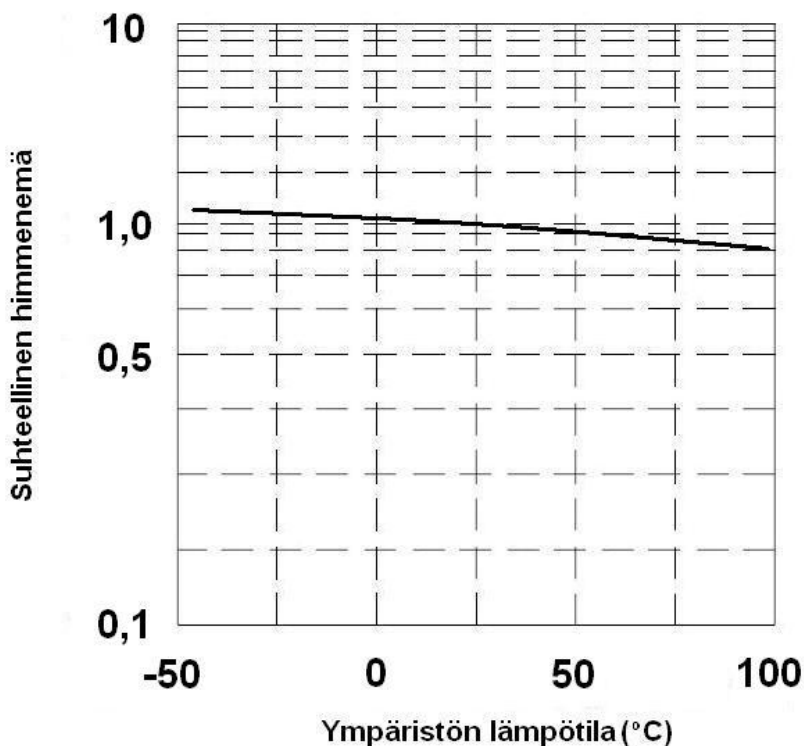
Kuva 7.1. Pintaliitostekniikalla toteutettu LED-nauha.

Kuopion Neon 2:n on siirtynyt käyttämään valomainoksissaan ainoastaan pintaliitos- eli SMD-tekniikalla valmistettuja LED-moduuleja. LED-moduuli 1 ja LED-moduuli 2 ovat molemmat toteutettu pintaliitostekniikalla. Moduulit kestävät läpivientekniikalla toteutettuja komponentteja paremmin sekä tuotannossa että valmiissa valomainoksessa.

8. Ilmaston vaikutukset ja luotettavuus

Valmistus- ja asennusvirheet eivät ole ainoa syy komponenttien vikaantumiseen. Muut vaikuttavat tekijät kuten vesi, lämpö, aika, kemikaalit, pöly, eliöt sekä auringon säteily aiheuttavat elektroniikan komponentteihin ja kytkentöihin toimintahäiriöitä sekä ulkonäön muutoksia. Hetkelliset toimintahäiriöt johtuvat yleisimmin mekaanisista muutoksista, vuotovirroista tai oikosuluista. Pieniin toimintahäiriöihin ei edes välttämättä löydetä syytä ja laitetta huoltoon toimitettaessa vika on voinut jo poistua. Laitteiden käyttöolosuhteet voivat paljastaa vian aiheuttajan erittäin voimakkaissa olosuhteissa mutta lievissä olosuhteissa ongelmaksi muodostuu monen vikatekijän yhteisvaikutus. Huolellisella suunnittelulla ja testauksella on tärkeä rooli, jotta kaikki vikoihin vaikuttavat tekijät otetaan huomioon. /6/

Valomainoskäytössä LED-moduuleja rasittaa pääasiassa suuri lämpötilanvaihtelu ja kosteus. Pahimmassa tapauksessa vaihtelu vuoden aikana voi olla jopa 85 °C ja vuorokauden aikana yli 20 °C. Ympäristön lämpötila vaikuttaa puolijohteen liitoslämpötilaan aiheuttaen komponenttien tai laitteiden vaurioitumisen jos valmistajan suosittelemat turvalliset arvot ylitetään. Lämpötilan vaikutukset heikentävät myös komponenttien suorituskykyä, elinaikaa ja luotettavuutta. LEDeissä värin muodostukseen puolijohdemateriaalin lisäksi käytettävät pinnoitteet ja kalvot myös himmenevät ympäristön lämpötilan kasvaessa (kuva 8.1). /6/, /7/



Kuva 8.1. Valkoisen InGaN LED-moduuli 1:n suhteellinen himmenemä ympäristön lämpötilan funktiona.

Kuvasta voi nähdä, että 50 °C nousu aiheuttaa yli 10 %:n heikentävän vaikutuksen suhteelliseen himmenemään. Ympäristön lämpötilan ollessa alle 25 °C, moduuli kirkastuu.

Korkeat lämpötilat voivat vaikuttaa LEDeihin eri materiaalien lämpölaajenemiskertoimien vaikutuksesta. Lämpötilan vaihdellessa eri materiaalit aiheuttavat keskenään mekaanisia jännityksiä, jotka voivat aiheuttaa säröilyä, ulkoisten johtimien irtoamisia sekä sisäisten langoitusten katkeamisia. Nämä tekijät johtavat yleensä LEDin rikkoontumiseen. /6/

Ympäristötekijät ja vikatiheyden arvo vaikuttavat LEDien luotettavuuteen. Luotettavuus ilmaistaan todennäköisyytenä, jolla laite toimii tietyn ajan. Luotettavuus voidaan laskea kaavalla 8.1 /7/

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (8.1)$$

jossa

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

λ = vikaantumistaajuus (1/MTTF)

t = laitteen/tuotteen käyttöaika

Vikaantumistaajuus saadaan laskettua kun käyttöaika jaetaan rikkoontuneiden laitteiden määrällä. /7/

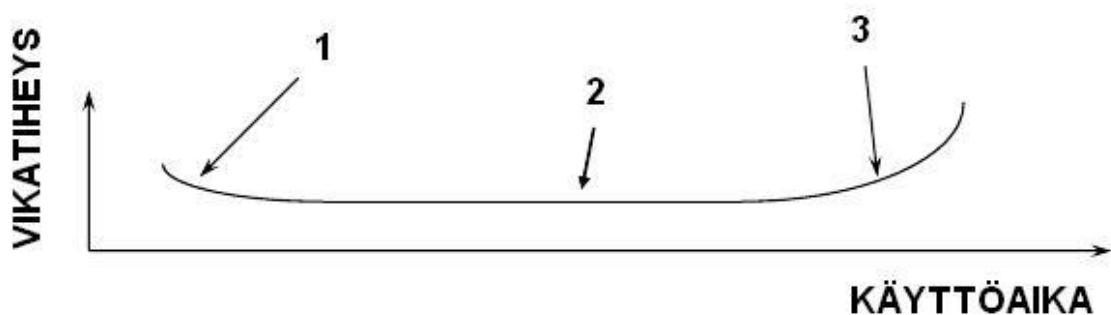
9. Vikaantuminen

Laitteiden mitoitus suunnitteluvaiheessa vaatii tuekseen arvioita komponenttien ja laitteiden vikaantumistodennäköisyyksistä. Ennakoiva kunnossapito käsittää komponentin vaihdon ennen sen vikaantumista. Näin voidaan välttää myös tuotannonmenetyksiä. Komponenttien vaihtohetki voi määräytyä /8/

1. ennalta määrätyn käyttöjakson jälkeen, joka on käytännössä hyväksi todettu tai suunnittelija on suunnitellut
2. kunnonvalvonnan perusteella, mikä vaatii jatkuvaa komponenttien seuranta ja mittauksia. Saaduista valvontatiedoista voidaan määrittää komponenttien oikea vaihtohetki.

Yksittäiselle komponentille voidaan ilmoittaa vikatiheys, jonka yksikkönä käytetään vikojen määrää miljoonaa käyttötuntia kohden ($1/10^6$ h). Kuitenkin on tärkeää huomioida, että ilmoitettu vikatiheys pitää paikkansa vain silloin, kun käyttöolosuhteet ovat komponenteille suunnitellun mukaiset. Jos komponenttien sallitut toiminta-arvot ylitetään, vikaantuvat ne nopeammin. /8/

Komponenttien vikatiheyttä verrataan käyttöaikaan ns. ammekäyrällä (kuva 9.1).



Kuva 9.1. Komponenttien vikatiheys käyttöajan funktiona.

Käyttöaika voidaan jakaa kolmeen osaan vikatiheyksien mukaan: /8/

1. Käyttöajan alussa vikatiheys on suuri komponenttien rikkoontuessa valmistusvirheiden vuoksi
2. Toisessa vaiheessa ns. käyttöalueella vikoja esiintyy vähiten ja komponenttien luotettavuus on hyvä. Vikatiheys pysyy alhaisena ja vakiona
3. Käyttöajan lopussa vikatiheys kasvaa. Komponenttien elinikä alkaa olla lopussa.

10. Testausmenetelmät

Tuotteiden testaaminen, ottaen huomioon lopulliset käyttöolosuhteet, saattaa olla vaikeaa. Luotettavan tiedon aikaansaamiseksi on otettava huomioon testausolosuhteiden ja käyttöolosuhteiden vastaavuus. Kuitenkin testauksen suunnittelu siten, että se vastaisi kaikkia käyttöolosuhteita maapallolla, on mahdotonta. Tuotteen käyttöolosuhteet vaikuttavat testauksen suunnitteluun. Tuotteen ominaisuudet ja materiaalivalinnat kertovat jo ennen testejä, onko tuote valmistettu kestävästi käyttötarkoituksen mukaisia olosuhteita. Suojausluokat, materiaalivalinnat sekä pinnoitteiden kestävyys olisi otettava selville ennen testausta. Testaustuloksia olisi pystyttävä analysoimaan sen lisäksi, että esittää päätelmän laitteen toimivuudesta. Ennen ja jälkeen testien suoritettavilla mittaus- ja tarkastustoimenpiteillä on pyrittävä osoittamaan muutokset tuotteessa. /9/

Ympäristötestaukseen sisältyvät lämpötilatestit jakaantuvat seuraaviin menetelmiin:

Korkea lämpötila

Tarkoituksena on testata tuotteen toimivuutta ja materiaalien kestävyttä korkeissa lämpötiloissa. Korkean lämpötilan lisäksi samanaikainen sähköinen kuormittaminen tuo esille liitoksien rappeutumisesta ja hapettumisesta koituvia vikoja. /9/

Matala lämpötila

Testauksen aikana käytetään matalia lämpötiloja, jotka testaavat tuotteen toimivuutta alhaisissa lämpötiloissa sekä varastoinnin aikana /9/.

Lämpötilashokki

Testataan tuotteen kestävyttä erittäin nopeassa lämpötilan muutoksessa käyttämällä esimerkiksi nestemäistä kylpyä, josta tuote siirretään toiseen nestemäiseen kylpyyn /9/.

Lämpötilanvaihtelu

Lämpötilanvaihtelua eli lämpösyklausta käytetään, kun halutaan selvittää tuotteiden juotosten jännityskorroosiota ja liittimien hiertymiskorroosioita. Testaus paljastaa myös tuotteiden vikaantumisherkkyden, joka riippuu eri materiaalien lämpölaajenemiskertoimista. Lämpötilanvaihtelulla voidaan simuloida todellisia käyttöolosuhteita, ja siksi se soveltuu lyhyenä testinä toteutettuna alkuvaiheen vikojen paljastamiseen. /9/

Tässä työssä testausmenetelmänä käytettiin lämpötilanvaihtelua sääkaapissa eli lämpösyklausta. Tämä testausmenetelmä mahdollistaa todellisia käyttöolosuhteita vastaavan testauksen lyhyessä testausajassa. Pitkä testausaika paljastaa alkuvaiheiden vikojen lisäksi myös moduulien himmenemät pitkällä aikavälillä.

Moduuleista mitattiin valotekniset arvot, joita olivat luminanssi L (kcd/m^2), värikoordinaatit (x,y) sekä värilämpötila T (K).

Luminanssi L kertoo jonkin pinnan valovoiman tiheyden katselusuuntaan. Toisin sanoen se kertoo, kuinka kirkkaalta jokin pinta katselijasta näyttää. Luminanssin yksikkö on cd/m^2 , ja se saadaan laskettua kaavasta 10.1 valovirran avulla. Vertaamalla moduuleiden luminanssiarvoja keskenään voidaan tehdä johtopäätöksiä moduuleiden himmenemisistä ajan suhteen ja vertailla moduuleja keskenään. /10/, /11/

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\omega dA \cos\theta} \quad (10.1)$$

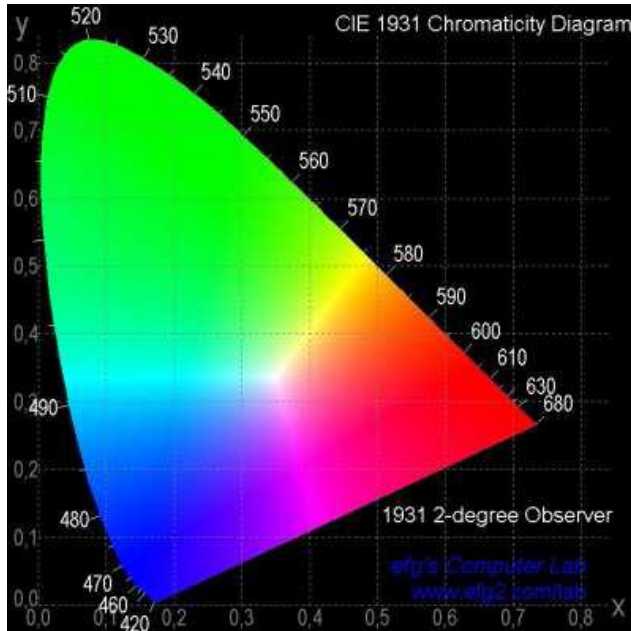
jossa

Φ = valovirta

ω = avaruuskulma

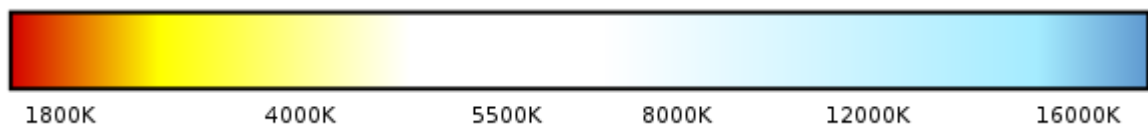
$dA \cos\theta$ = valonsäteiden projektiopinnan pinta-ala, katselukulmasta θ katsottuna.

Värikoordinaattien (x,y) avulla voidaan esittää ihmisen näkemä väri kahden luvun avulla. Värikoordinaatit voidaan esittää halutussa väriavaruudessa. Tässä työssä käytettiin CIE 1931-väriavaruutta moduulien värien muutosten tutkimisessa. Kuvassa 10.1 on esitetty CIE 1931-väriavaruus koordinaatistossa, jossa jokaista väriä vastaa tietty x,y -koordinaattiarvo. /10/, /11/



Kuva 10.1. CIE 1931-värikoordinaatisto.

Väriämpötila T on valkoisen valon mitattava ominaisuus. Väriämpötilan yksikkö on kelvin (K). Väriämpötila on se lämpötila, jonka lämpöiseksi musta kappale, yleisimmin metalli, täytyy lämmittää, jotta se hohtaisi kyseistä väriä. Puhekielessä väreistä kuulee käytettävän ilmaisuja "lämmin" sekä "kylmä sävy". Värillisillä valoilla ei ole väriämpötilaa, joten se on vain valkoisen valon ominaisuus. Kuvassa 10.2 on esitetty väriämpötila-asteikko 1800 K – 16 000 K. Ihmisen silmä pystyy havaitsemaan väriämpötiloja vain n. 2790 K – 11 000 K. /10/, /11/



Kuva 10.2. Väriämpötila-asteikko 1800 K – 16 000 K.

Kaikista testattavista LED-moduuleista mitattiin luminanssi ja värikoordinaatit sekä valkoisista LED-moduuleista myös väriämpötila.

11. Testausjärjestelyt

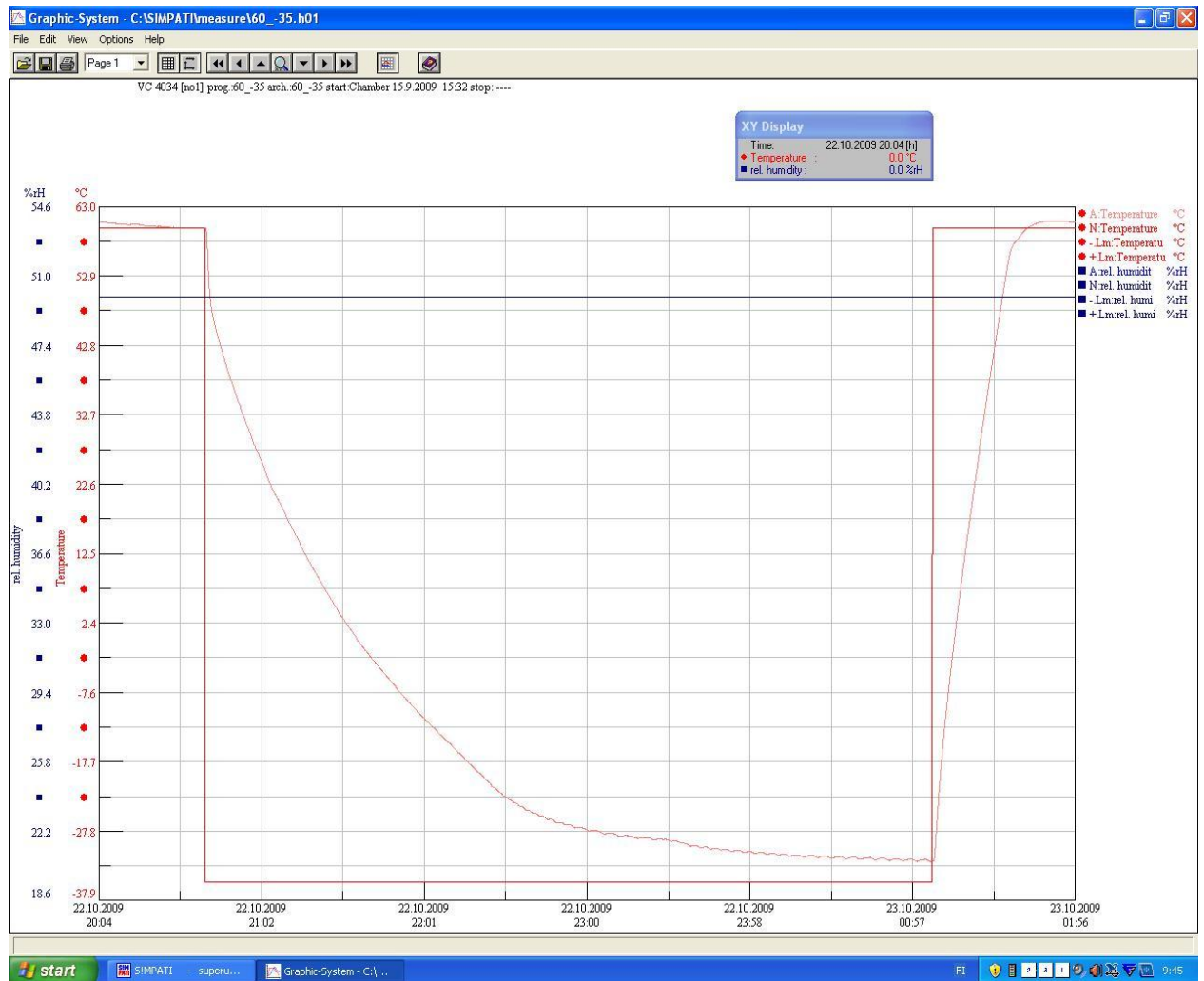
11.1 Sääkaappi Vötsch VC 4034

Testauksessa käytettiin Savonia-ammattikorkeakoulun Vötsch VC 4034 -sääkaapissa. Kaapin ominaisuudet on esitetty seuraavassa: /12/

Malli:	VC 4034
Tilavuus:	335 litraa
Lämpötila-alue:	(-40) – (+180) C°
Lämpötila-alue kosteustestissä:	10 – 80 astetta
Kosteusprosentti (säädettävä):	10 – 98 % RH.
Jäähdytysteho:	3,5 K/min
Lämmitysteho:	3,2 K/min
Sisämitat:	leveys 580 mm, syvyys 765 mm, korkeus 750 mm

Kaapin sivussa on myös kaksi liityntäaukkoa tarvittaville johtimille sekä sisäpuolella takaseinässä suuri tuuletin. Tuulettimen tarkoitus on kierrättää ilmaa kaapissa, jolloin saavutetaan tasainen lämpötila kaapin jokaisessa kulmassa. /12/

Testausohjelma laadittiin Simpati-ohjelmistolla, jolla sääkaapin hallinta on helppoa ja tulosten käsittely vaivatonta. Työssä käytettiin ainoastaan lämpötilanvaihtelua (-35) – (+60) C°. Kosteutta ei voida käyttää, jos testausohjelmassa määritetty alin lämpötila on alle +10 C°. Testauksessa käytettävä lämpötila-alue valittiin ottaen huomioon Suomen ilmasto. Talvella valomainoskotelon lämpötila voi alimmillaan olla jopa -35 C°. Kesällä mustaksi maalatun kotelon sisälämpötila voi nousta +60 C°:seen. Alemman ääriarvon kohdalla käytettiin ± 4 C° marginaalia ja korkeamman arvon kohdalla ± 3 C° marginaalia. Kun sääkaappi saavuttaa asetetun marginaaliarvon, alkaa tunnin mittainen tasoitus aika, jonka aikana kaappi pitää lämpötilan oloarvon asetetun marginaalin sisällä. Yhden syklin kesto oli keskimäärin 6,5 tuntia (kuva 11.1). Testin kokonaiskesto oli noin 1000 tuntia, joten kokonaisten syklien määrä on noin 150 kpl. Ennen olosuhdetestauksen aloittamista kaapin toimintaa kokeiltiin yhdellä syklillä. Sääkaapissa testissä olleet kokoonpanot eivät voi olla toiminnassa yhtä aikaa koska kytkennän kokonaislämpökuorma olisi liian suuri, jolloin asetettua -35 C° arvoa ei voitaisi saavuttaa.



Kuva 11.1. Simpati-ohjelman valvonta-ikkuna, jossa valittuna yksi sykli.

Kuvasta voi nähdä, kuinka testattavista tuotteista tuleva lämpökuorma hidastaa sääkaapin jäähtymistä. Tämän vuoksi testauksen aikana toiminnassa olivat ainoastaan kokoonpanot 1C, 2C, 3C, 4, 7C ja 8.

11.2 Optomittari Gigahertz Optik X1-1

Optisten ominaisuuksien tutkimista varten hankittiin Gigahertz-Optik:n valmistaman Gigahertz-Optik X1-1 - optomittarin. Mittari soveltuu luksien- ja luminanssien- ja tarvittaessa myös UV:n mittaukseen. Mittaustulokset voidaan siirtää PC:lle USB-liitännän kautta. Laite on paristokäyttöinen. Laitteen mukana hankittiin erillinen 1° avaruuskulmalla oleva sensori, joka mahdollistaa luminanssin, väriarvojen Yxy, värilämpötilan T sekä luksien mittaamisen. /13/

Tarkoituksena oli mitata LED-moduuli 1:n kokonaisluminanssi, jolloin yhden ledin tuottama pistemäinen valo ei saanut häiritä mittausta. Tätä varten rakennettiin 40 mm x 40 mm x 170 mm kokoinen adapterin, jonka korkeus vastasi valomainoksen korkeutta.

Adapteri asettuu tiiviisti suoraan moduulin reunojen sisäpuolelle. Adapterin päällä on metallilevy, jossa on halkaisijaltaan 40 mm:n kokoinen pyöreä reikä. Metallilevyn päällä on liimattuna valkoinen 2 mm:n opaalimuovi. Muovin tarkoituksena on kuvata valomainoksen etupintaa. Optomittarin sensori astellaan adapterin keskelle opaalimuovin päälle. Sensorin paikka on piirretty muoviin, jolloin sensori asettuu samalle paikalle joka mittaukselta. Tällä tavalla minimoidaan mittausvirheitä. Koko adapteri maalattiin mattamustaksi RAL9005 värillä heijastusten minimoimiseksi. Kuvassa 11.2 on esitetty LED-moduuli 1:n mittauksessa käytetty adapteri ja optomittari Gigahertz-Optik X1-1.



Kuva 11.2. LED-moduuli 1:n mittaukseen käytetty adapteri sekä Optomittari Gigahertz-Optik X1-1 ja sensori.

LED-moduuli 2:n valoarvojen mittauksissa ei käytetty erillistä adapteria vaan sensori asetettiin suoraan LED-moduulin päälle.

Muuntajien jännite ja virta mitattiin Fluke 179 -digitaalisella yleismittarilla. Digitaalisella yleismittarilla mitattiin myös LED-moduuli 1:n lämpötilat käyttämällä erillistä lämpötilamittapäätä. Mittapäätä varten mitattaviin moduuleihin porattiin keskelle noin 2 mm:n syvennys, joka täytettiin lämpöä johtavalla Arctic Silver 5 –hopeatahnalla. Näin saatiin mitattua valuaineen lämpötila eikä ainoastaan moduulin pintalämpötilaa.

11.3 Testauskokoontimet

Testauskokoontimet muodostettiin tuotannossa käytettävistä LED-moduuleista ja virtalähteistä yrityksen toiveiden mukaan. Kuitenkin niin, että jokainen testauksessa käytettävä LED-moduulin ja virtalähteen muodostama kokoonpano, on käytössä valomainoksissa samanlaisina kokonaisuuksina kuin testauksessakin. Taulukossa 11.1 on esitetty komponenttien kappalemäärät eri kokoonpanoissa.

Taulukko 11.1. Hyllyille sijoitettujen komponenttien kappalemäärät eri kokoonpanoissa.

Komponentti	Kokoonpano / kappalemäärä							
	1 A, B, C	2 A, B, C	3 A, B, C	4	5	6	7 A, B, C	8
LED-moduuli 1, valkoinen	45			40			15	
LED-moduuli 1, vihreä		45			40		15	
LED-moduuli 1, sininen			45			40	15	
LED-moduuli 2, valkoinen								48
muuntaja 25 VA	3	4	3				3	
muuntaja 60 VA				1	1	1		
muuntaja 350 mA, 1-24 V								2
muuntaja 700 mA, 12-58 V								1

Testattavat komponentit järjestettiin sääkaappiin kahdeksalle eri metallilevyille kahteentoista eri kokoonpanoon. Yksi levy sisältää 1 tai 3 kpl erilaisia kokoonpanoja. Testauksessa käytetyt aluslevyt, joille led-moduulien ja virtalähteiden muodostamat kokoonpanot asennettiin, ovat hyllyissä 1 - 6 ja 8 alumiinia (Al) ja hyllyssä 7 sinkkiä (Zn). Molemmat aluslevymateriaalit ovat valomainoksissa käytettyjä. Aluslevyjen etureuna prässättiin 20 mm:n matkalta 90° kulmaan alaspäin aluslevyn vahvistamiseksi. Lisäksi sinkkialuslevyn keskelle hitsattiin poikittainen aluslevyn levyinen 20 mm korkea sinkkilevyn kaistale vahvistamaan aluslevyä. Kaikki aluslevyt maalattiin valkoiseksi RAL9010-värillä, jota myös käytetään valomainoskoteloiden taustavärinä. Kokoonpanon numero kertoo millä hyllyllä komponentit sääkaapissa sijaitsevat.

LED-moduulit kiinnitettiin aluslevyyn moduuleiden omalla liimateipillä, joka toimii eristeenä, jolloin moduulista johtuu lämpöä hyvin vähän aluslevyyn. Virtalähde kiinnitettiin aluslevyyn porakärkiruuvilla sen omista kiinnitysrei'istä, jolloin sen lämpö pääsee johtumaan aluslevyyn.

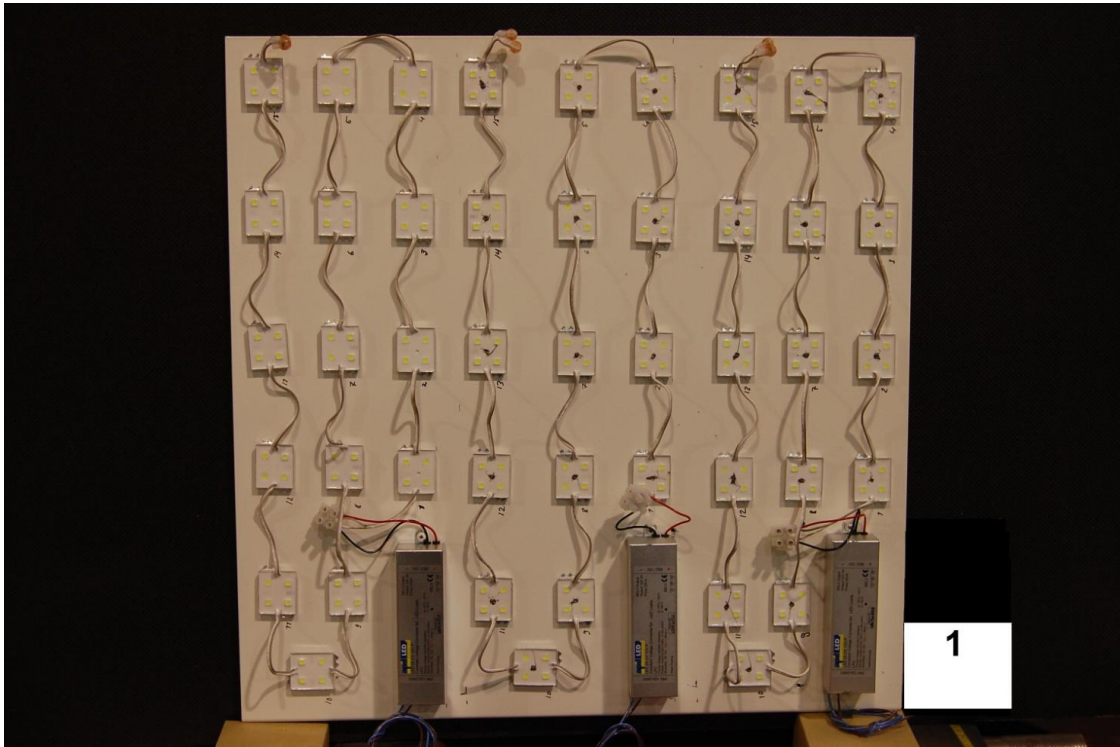
Johdinliitokset LED-moduulinauhan ja virtalähteen välillä tehtiin liitinrimalla koska se mahdollistaa kytkentöjen nopeat avaukset sähköisten arvojen mittauksia varten. Virtalähteiden jännitearvot on myös helpompi mitata liitinriman liitintaruveista purkamatta kytkentää. LED-moduulien väliset johdinkytkennät on tehty 3M:n valmistamalla Scotchlock-liittimillä. Liittimet ovat puristettavia ja sisältävät liitosta suojaavan silikonin.

Ennen kokoonpanojen kaappiin laittoa kaikille kokoonpanoille suoritettiin aloitusmittaukset ja loppumittaukset taulukon 11.2 mukaan.

Taulukko 11.2. Kokoonpanoille suoritettut mittaukset aloitus- ja loppumittauksessa.

Kokoonpano	Mittaus			
	Luminanssi	Värikoordinaatti	Väriämpötila	Lämpötila
1A	X	X	X	
1B	X	X	X	X
1C	X	X	X	X
2A	X	X		
2B	X	X		X
2C	X	X		X
3A	X	X		
3B	X	X		X
3C	X	X		X
4	X	X	X	X
5	X	X		X
6	X	X		X
7A	X	X		X
7B	X	X		X
7C	X	X	X	X
8	X	X		

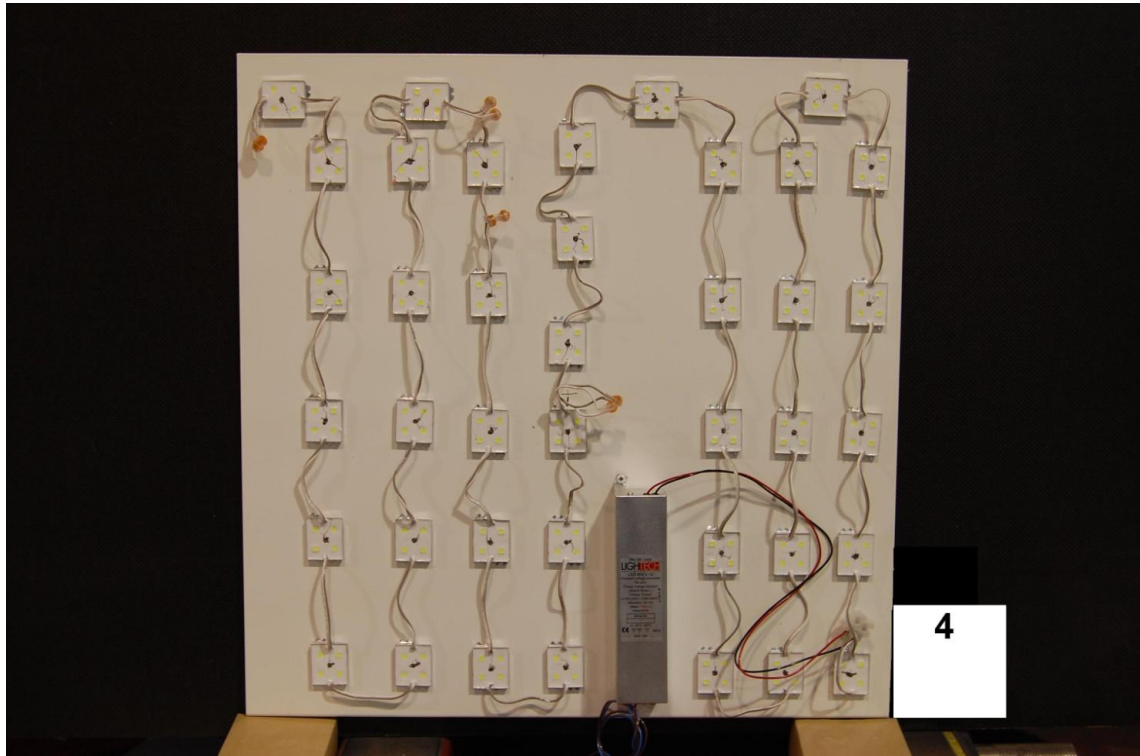
Hyllyt 1,2,3 ja 7 sisältävät jokainen saman määrän komponentteja eri väreissä. Kyseiset kokoonpanot on kytketty hyllyille kuvan 11.3 osoittamalla tavalla.



Kuva 11.3. Vasemmalta lukien kokoonpanot 1A, 1B ja 1C sekä kytkennät aluslevyllä.

Kuvasta 11.3 voi nähdä lämpötilan mittausta varten LED-moduuleihin tehdyt syvennykset, jotka ovat täytetty lämpöä johtavalla hopeatahnalla.

Hyllyt 4,5 ja 6 sisältävät jokainen saman määrän komponentteja eri väreissä. Kyseiset kokoonpanot on kytketty hyllyille kuvan 11.4 osoittamalla tavalla.



Kuva 11.4. Hylly 4:n kokoonpano ja kytkentä aluslevyllä.

Hylly 8 sisältää LED-moduuli 2:n kytkennät, joihin tässä työssä ei oteta kantaa.

Kuvassa 11.5 on esitetty kokoonpanot sijoitettuina sääkaappiin. Ylimpänä on hylly numero 1 ja seuraavana alaspäin hylly numero 2, jatkuen numerojärjestyksessä alimpaan hyllyyn numero 8 saakka.



Kuva 11.5. Sääkaappi Vötsch VC 4034 ja testattavat kokoonpanot.

Kokoonpanot on kytketty sähköverkkoon liityntäaukkojen kautta, joissa on kumista valmistetut läpivientitiivisteet. Kaapin paikalliseen ohjaukseen käytettävä hallintapaneeli sijaitsee kuvassa oikealla. Hyllyjen takaa on nähtävissä suuri tuuletin, joka pitää lämpötilan tasaisena kaapin sisällä.

12. Tulokset

Ympäristöolosuhdetestauksen tarkoituksena oli testata LED-moduuleja ja muuntajia. Testien tulosten perusteella voitaisiin arvioida tuotteiden luotettavuutta valomainoskäytössä. Kaikille LED-moduuleille ja muuntajille tehtiin samat mittaukset ennen ja jälkeen sääkaappitestin. Mittaustulokset on esitetty liitteissä A-L. Ennalta tehdyt arviot tuotteiden kestävydestä osoittautuivat pääosin oikeiksi.

Testauskokoontennoille, jotka eivät olleet toiminnassa testauksen aikana, lämmönvaihtelu aiheutti suurimmat rasitukset. Jokaisessa kokoonpanossa havaittiin toimimattomia siruja tai jopa kokonaisia LEDejä. Huomattavaa kuitenkin on, että LEDin saattoi saada syttymään painamalla sormella LEDin päältä. Tästä päätellen vikaantumisen saattaa johtua moduulin sisäisten langoitusten katkeamisista lämpölaajenemisen seurauksena. Tarkastelu esimerkiksi röntgenkuvauksen avulla saattaisi paljastaa todellisen vian. Testin aikana toiminnassa olleista kokoonpanoista havaittiin vain vähän toimimattomia siruja.

Testauskokoontennot 1A, 1B ja 1C

Testissä toiminnassa ollut valkoinen testauskokoontenno 1C himmentyi noin 14 cd/m^2 . Kokoonpanosta rikkoontui neljä sirua, jotka osaltaan vaikuttavat kokonaishimmenemään. Ero moduulien lämpötiloissa aloitus- ja loppumittauksen välillä on suurimmillaankin vain noin 2 C° lämpimämpään, mikä osoittaa moduulien tasaisen toiminnan testin aikana. Kuitenkin valkoisille LED-moduuleille tehty väriämpötilamittaus osoitti kokonaisväriämpötilan muuttuneen noin 230 kelviniä kylmemmäksi. Muutosta on kuitenkin erittäin vaikea havaita ulkopuolisella tarkastelulla, eikä se vaikuta valkoisen LED-moduulin käyttöön valomainoksissa. Kokoonpanon 1C 25 VA:n muuntajan mitta-arvoissa ei havaittu käyttöön vaikuttavia muutoksia. Muuntaja säilytti antojännitteen tason testin aikana hyvin. Kokoonpanoista 1A ja 1B rikkoontui yli puolet siruista testin aikana.

Testauskokoontennot 2A, 2B ja 2C

Kaikista testissä olleista vihreistä LEDeistä vikaantui vain 2 sirua kokoonpanosta 2A. Kuitenkin vihreiden led-moduulien muita värejä korkeammat lämpötilat saattavat vaikuttaa käyttöikäen lyhentäen sitä. Pidempiaikainen testaus voisi paljastaa lämpötilan vaikutukset LED-moduulien käyttöikäen. Tässä testissä ei havaittu korkeiden moduulien lämpötilojen vaikuttavan vihreän LEDin kokonaishimmenemään testin aikana toiminnassa olleessa kytkennässä 2C. Korkean lämpötilan vaikutus näkyi myös moduulin valuaineen tummumisena sarjavastusten kohdalta, jota ei valkoisessa samaa valuainetta sisältävässä moduulissa havaittu ollenkaan.

Testauskokoonten 3A, 3B ja 3C

Testauksen aikana toiminnassa olleessa sinisiä LED-moduuleja sisältävässä kokoonpanossa 3C ei havaittu himmenemistä lainkaan. Testauksen aikana toimimattomina olleissa kokoonpanoissa 3A ja 3B oli vikaantuneita siruja tai jopa kokonaisia LEDejä. Lämpötilamittauksissa siniset LED-moduulit olivat lämpimämpiä kuin valkoiset moduulit mutta kylmempiä kuin vihreät. Kokoonpanojen muuntajissa ei havaittu toimintaa heikentäviä muutoksia.

Testauskokoonten 4, 5 ja 6

Kokoonpanot muodostuivat vakiojännitelähteen 60 VA:n versiosta ja 40 kappaleesta LED-moduuleja. Kaikista kokoonpanoista voi havaita lämpötilamittauksesta saadut arvot, jotka osoittavat että ensimmäiset muuntajan jälkeen tulevat LED-moduulit ovat noin 20 C° lämpimämpiä kuin viimeiset moduulit. Muuntajan kokoonpanoon syöttämä virta on jokaisessa kytkennässä noin 3,7 – 3,9 A. Ottaen huomioon että moduulien johdotukset kulkevat valuaineen sisässä, virran aiheuttama lämpörasitus on suurimmillaan ensimmäisessä moduulissa. Lämpötilaräsitusta voitaisiin vähentää käyttämällä valomainoksien kytkennöissä 25 VA:n muuntajia, jolloin kytkennän virta-arvot pysyisivät alhaisempina.

Kytken 4 valkoiset LED-moduulit säilyttivät väriarvonsa hyvin verrattuna kytkennän 6 sinisiin moduuleihin, joiden X,Y - koordinaattiarvojen X-arvossa havaittiin noin 0,01 yksikön muutos. Vihreiden moduuleiden värimuutos oli suurempi. Tämä saattaa vaikuttaa vihreiden moduulien käyttöön valomainoksissa, jos oletetun käyttöiän aikana havaitaan suuria värimuutoksia.

Testauskokoonten 7A, 7B ja 7C

Kokoonpanoilla pyrittiin selvittämään, onko aluslevyn materiaalilla merkitystä LED-moduulien himmenemiseen ja lämpötiloihin. Sinkin huonompi lämmönjohtavuus voisi vaikuttaa moduulien lämpötilanvaihteluihin testin aikana, mikä rasittaisi moduuleja enemmän. Mittauksissa ei kuitenkaan havaittu poikkeamia verrattuna alumiinilevyillä tehtyihin mittauksiin.

Testillä oli myös vaikutusta moduulien sisäisiin langoituksiin. Suuri lämpötilanvaihtelu aiheutti moduulin eri materiaaleissa jännityksiä, jotka riippuvat kunkin moduulin materiaalien lämpölaajenemiskertoimista. Jännitykset aiheuttivat sisäisten langoitusten katkeilemista, mistä syystä suuri määrä siruja ei toiminut enää testin jälkeen. Yksittäisen LEDin saattoi saada toimimaan painamalla sitä sormella, mikä viittaa vikaan liitosten välillä. Mittaustuloksissa on nähtävissä selvä himmeneminen mittausten välillä tai loppumittauksen arvo on nolla. Suurin rasiutus kohdistui kokoonpanoihin, jotka eivät olleet toiminnassa testin aikana. Tämä johtuu siitä, että toiminnassa olevan moduulin lämpötilanmuutokset ovat paljon hitaampia kuin toimimattoman moduulin. Varsinkin lämpötilan kylmetessä moduulin tuottama lämpö hidastaa muutosta. On kuitenkin huomioitava, että todellisissa käyttöolosuhteissa muutokset ympäristön lämpötiloissa eivät välttämättä ole yhtä nopeita kuin testissä. Ongelmia saattaa esiintyä, kun käytetään kello-ohjattuja valomainoksia kylmissä olosuhteissa. Mainos voi syttyä usean tunnin tauon jälkeen -30 C° :n kylmyydestä, ja yksittäinen moduuli voi lämmitessään saavuttaa yli 0 C° lämpötilan.

Sisäisten langoitusten vaurioitumista voitaisiin estää käyttämällä pehmeämpää ja joustavampaa moduulin valuainetta esimerkiksi silikonipohjaisia muoveja. Silikoni soveltuu käytettäväksi valuaaineena erittäin hyvin sen sähköneristävyyden, lujuuden ja vesitiiviyyden vuoksi. Joustavampi valuaaine mahdollistaisi langoitusten heilahtelut valuaineessa lämpötilan vaihdellessa. Suunnittelussa tulisi ottaa huomioon mahdollinen lämpötilojen aiheuttama metallisten lankojen supistuminen ja laajeneminen jättämällä langat tarpeeksi pitkiksi valuaineen sisään. Lankojen koostumus voisi mahdollisuuksien mukaan olla monisäikeistä, joka kestäisi heilahteluja yksisäikeiseen lankaan verrattuna paljon paremmin.

Lämpötilamittauksissa huomattiin, että muuntajaa lähimpänä olevat moduulit lämpenivät enemmän kuin kauempana olevat. Muuntajasta säteilevä lämpö vaikuttaa alle 100 mm:n päässä oleviin moduuleihin nostaten niiden lämpötilaa noin $1 - 3\text{ C}^{\circ}$. Pienikin lämpötilan nousu saattaa pidemmällä aikavälillä aiheuttaa ennen aikaista moduulin himmenemistä. Moduulien sijoittamista muuntajan läheisyyteen tulisikin välttää, jos se valomainoksen rakenne huomioon ottaen on mahdollista. Koteloiden ilmanvaihto tulisi maksimoida esimerkiksi mahdollisimman isoilla rei'illä koteloiden pohjassa, jolloin sekä ilma että vesi pääsevät niistä virtaamaan.

13. Tilasuunnitelma

Yhtenä osana työtä oli tehdä suunnitelma Kuopion Neon 2 Oy:n omiin tiloihin myöhemmin rakennettavasta testaushuoneesta. Testaushuoneen suunnittelussa käytettiin hyväksi led-moduulien ja muuntajien testauksessa saatuja havaintoja. Suunnittelussa otettiin myös huomioon, millaisia tuotteita tiloissa tullaan testaamaan.

Testattavat tuotteet, kuten LED-moduulit ja muuntajat, eivät vaadi välttämättä erittäin suuria tiloja. Testaushuoneen sopiva koko olisi noin 25 m². Huoneen äänieristyksille ei tarvitse asettaa vaatimuksia, mutta lämpöeristyksen tulisi olla riittävä, jotta huone olisi koko ajan tasalämpöinen ja lämpötila noin 21 °C. Ilmanvaihdon tulee toimia siten, ettei se aiheuta tarpeetonta vedon tunnetta ja tuotteiden jäähtymistä, joita ollaan mittaamassa tai testaamassa. Testaushuoneeseen mahdollisesti sijoitettava sääkaappi tuottaa paljon lämpöä ympäristöön ja tarvitsee toimiessaan riittävän ilmanvaihdon. Ilmanvaihdon ohjaaminen huonekohtaisesti mahdollistaisi sen, että testaaja voisi säätää ilmanvaihtoa testaustilanteen mukaan. Työtasojen yhteenlaskettu pinta-ala tulisi olla noin 10 m², jotta testattavat tuotteet voidaan asettaa yhtä aikaa mitattaviksi ja tarkasteltaviksi keskinäistä vertailua varten.

Valaistuksen määrittäminen tulisi tehdä työtasolle asetettujen valaistusvoimakkuuksien mukaisesti. Valaisimiksi voidaan valita normaalit loisteputkivalaisimet. Työtasot tulisi sähköistää pistorasioilla, jotka voidaan sijoittaa johtokanavaan seinälle, aivan työtasojen yläpuolelle. Pistorasioita tulisi olla vähintään yhden metrin välein, jotta kaikki tutkittavat ja mitattavat tuotteet voidaan liittää sähköverkkoon mittalaitteiden lisäksi.

Tarvittavat mittalaitteet riippuvat testattavista tuotteista ja niille tehtävistä mittauksista. Ledien ja muuntajien mittauksia varten tarvitaan seuraavat laitteet:

- sääkaappi (esim. Vötsch 4034 ja kaapin ohjaukseen tarvittavat ohjelmat)
- yleismittari ja lämpötilamittapää (esim. Fluke 179)
- luminanssimittari (esim. Gigahertz-Optik X1-1)
- tarvittava määrä muita työkaluja kytkentöjen ja kokoonpanojen tekemiseen.

14. Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli suorittaa luotettavuustestejä Kuopion Neon 2 Oy:n valomainoksissa käyttämille led-moduuleille sekä muuntajille. Työ oli ensimmäinen suuri testauskokonaisuus yritykselle ja antoi paljon uutta sekä vahvisti jo oletettua tietoa moduulien luotettavuudesta ja kestävydestä. Lisäksi saatiin tietoa tulevaisuudessa omissa testaustiloissa tehtäviä testauksia varten. Työstä saatuja tuloksia käytetään moduulien kehitykseen tulevaisuudessa. Käytetyistä testausmenetelmistä, -laitteistoista ja -tiloista saatuja tietoja ja havaintoja on käytetty apuna laadittaessa työn yhtenä osana olevaa tilasuunnitelmaa. Testattujen moduulien testausta jatketaan ulkotiloissa lähes normaaleissa käyttöolosuhteissa.

Lyhyellä testijaksolla voidaan tarkastella tuotteiden alkuvaiheen vikoja ja luotettavuutta mutta todellisen eliniän määrittämiseen tarvittaisiin useita tuhansia tunteja kestävä testijakso. Ledit selvisivät testistä hyvin ja ovat tämän testin perusteella luotettavia. Valomainoskäyttöön ne soveltuvat hyvin luotettavuuden, helppokäyttöisyyden ja rakenteellisen kestävyuden ansiosta. Rajut lämpötilan muutokset saattavat kuitenkin vaikuttaa moduulin sisäisten langoitusten kestävyteen heikentäen niitä.

Lähteet

- 1 Väänänen, Jukka, Kuopion Neon 2 Oy, suullinen tiedonanto. 18.8.2009.
- 2 Kuopion Neon 2 Oy [verkkosivut]. [viitattu 27.5.2009]. Saatavissa: <http://www.neon2.com>
- 3 Suomen Valomainosliitto ry, *Valomainos käsikirja*. Forssa: Painotalo Auranen Oy. 2001.
- 4 Silvonen, Kimmo, *Elektroniikka ja puolijohdekomponentit*. Otatieto. 2009.
- 5 Kähkönen, Toni, *Elektroniikan komponenttiladonta* [verkkodokumentti]. Tampereen teknillinen yliopisto, Porin yksikkö 2003 [viitattu 3.6.2009]. Saatavissa: www.pori.tut.fi/~jusa/students/ett/Komponenttiladonta.pdf
- 6 Hienonen, Risto – Lahtinen, Reima. *Korroosio ja ilmastolliset vaikutukset elektroniikassa* [verkkodokumentti]. VTT 2007. [viitattu 3.6.2009]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2007/P623.pdf>
- 7 Tolonen, Pasi, *Ledien ympäristötestaus*. Opinnäytetyö. Kajaani: Kajaanin ammattikorkeakoulu. 2006.
- 8 Honkanen H, *Oppimateriaali: Luotettavuustekniikka* [verkkodokumentti]. Kajaani: Kajaanin ammattikorkeakoulu. [viitattu 17.6.2009]. Saatavissa: <http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/HonHar/ma/LUOTETTAVUUSTEKNIikka.pdf>
- 9 Elektroniikan tutkimuksen ja kehityksen yhteistyöelin KOTEL ry, *Ympäristötestauskäsikirja*, 1989
- 10 Jaakkola, Janne, *Mittausepävarmuuden määrittäminen mobiilinäyttöjen mittausprosessissa*. Opinnäytetyö. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. 2007.
- 11 ABB, TTT-käsikirja 2000-07: Valaistustekniikka [verkkodokumentti]. [viitattu 9.10.2009]. Saatavissa: <http://www.abb.fi/cawp/fiabb255/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B.aspx?>
- 12 Tekniset tiedot, Vötsch VC 4034 -sääkaappi [verkkodokumentti]. Saksa. 2009. [viitattu 20.6.2009]. Saatavissa: <http://www.v-it.com/en/vit/start>
- 13 Tekniset tiedot, Gigahertz-Optik X1-1 –optomittari [verkkodokumentti]. Saksa. 2009. [viitattu 20.6.2009]. Saatavissa: <http://www.gigahertz-optik.de/?/92-1-2-2-0-x1.htm>

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: **1A**

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: **1A**

Muuntaja: U = 12,3 (VDC) I = 1,595 (ADC)

Muuntaja: U=13,26 (VDC) I = 0,398 (ADC)

Moduuli	X ; Y	T (°K)	L (kcd/m2)
1	0,332 ; 0,339	5451	0,180
2	0,335 ; 0,339	5354	0,183
3	0,337 ; 0,343	5282	0,190
4	0,335 ; 0,340	5366	0,194
5	0,334 ; 0,347	5418	0,191
6	0,336 ; 0,331	5300	0,172
7	0,333 ; 0,333	5436	0,172
8	0,341 ; 0,342	5129	0,180
9	0,331 ; 0,334	5542	0,174
10	0,334 ; 0,344	5393	0,183
11	0,334 ; 0,332	5412	0,170
12	0,340 ; 0,336	5118	0,170
13	0,343 ; 0,341	5045	0,177
14	0,334 ; 0,330	5374	0,169
15	0,340 ; 0,341	5148	0,184

Moduuli	X ; Y	T (°K)	L (kcd/m2)
1	0	0	0
2	0,330 ; 0,352	5560	0,046
3	0	0	0
4	0,333 ; 0,350	5435	0,140
5	0,333 ; 0,405	5482	0,033
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0,338 ; 0,340	5244	0,031
9	0,333 ; 0,330	5428	0,096
10	0,341 ; 0,347	5127	0,034
11	0,343 ; 0,320	5330	0,033
12	0,335 ; 0,317	4912	0,031
13	0,340 ; 0,335	5145	0,100
14	0	0	0
15	0,347 ; 0,355	4908	0,102

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: **1B**

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: **1B**

Muuntaja: U=12,08 (VDC) I = 1,590 (ADC)

Muuntaja: U=13,26 (VDC) I = 0,309 (ADC)

Moduuli	X ; Y	T (°K)	L (kcd/m2)
1	0,338 ; 0,343	5220	0,187
2	0,341 ; 0,335	5071	0,183
3	0,342 ; 0,341	5072	0,188
4	0,340 ; 0,353	5183	0,186
5	0,339 ; 0,341	5186	0,184
6	0,343 ; 0,344	5062	0,184
7	0,337 ; 0,344	5290	0,191
8	0,339 ; 0,334	5188	0,187
9	0,336 ; 0,331	5284	0,178
10	0,341 ; 0,340	5121	0,186
11	0,342 ; 0,339	5045	0,183
12	0,339 ; 0,338	5197	0,181
13	0,337 ; 0,338	5269	0,185
14	0,338 ; 0,334	5238	0,183
15	0,335 ; 0,342	5344	0,179

Moduuli	X ; Y	T (°K)	L (kcd/m2)
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0,330 ; 0,336	5592	0,037
4	0	0	0
5	0,346 ; 0,346	4910	0,072
6	0,334 ; 0,323	5318	0,034
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0,339 ; 0,343	5176	0,106
10	0,342 ; 0,344	5076	0,073
11	0	0	0
12	0	0	0
13	0,335 ; 0,346	5379	0,105
14	0,338 ; 0,323	5203	0,035
15	0,326 ; 0,344	5744	0,033

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: **1C**

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: **1C**

Muuntaja: U=12,32 (VDC) I = 1,592 (ADC)

Muuntaja: U=12,39 (VDC) I = 1,567 (ADC)

Moduuli	X ; Y	T (°K)	L (kcd/m2)
1	0,341 ; 0,342	5118	0,194
2	0,337 ; 0,338	5276	0,190
3	0,339 ; 0,340	5208	0,186
4	0,337 ; 0,339	5264	0,188
5	0,335 ; 0,342	5378	0,179
6	0,339 ; 0,346	5196	0,188
7	0,338 ; 0,344	5247	0,181
8	0,342 ; 0,340	5072	0,185
9	0,342 ; 0,348	5107	0,184
10	0,340 ; 0,345	5179	0,184
11	0,340 ; 0,336	5152	0,181
12	0,341 ; 0,345	5136	0,183
13	0,343 ; 0,337	5012	0,181
14	0,335 ; 0,342	5349	0,181
15	0,343 ; 0,344	5023	0,183

Moduuli	X ; Y	T (°K)	L (kcd/m2)
1	0,335 ; 0,332	5373	0,181
2	0,332 ; 0,334	5484	0,182
3	0,336 ; 0,337	5305	0,179
4	0,327 ; 0,337	5731	0,175
5	0,332 ; 0,340	5472	0,173
6	0,334 ; 0,337	5398	0,184
7	0,334 ; 0,334	5384	0,174
8	0,331 ; 0,342	5536	0,147
9	0,339 ; 0,348	5214	0,149
10	0,336 ; 0,343	5321	0,177
11	0,333 ; 0,336	5459	0,147
12	0,334 ; 0,341	5396	0,177
13	0,336 ; 0,343	5322	0,177
14	0,336 ; 0,338	5324	0,175
15	0,332 ; 0,330	5494	0,169

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: **2A**

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: **2A**

Muuntaja: U=12,24 (VDC) I = 1,660 (ADC)

Muuntaja: U=12,24 (VDC) I = 1,660 (ADC)

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,138 ; 0,693	0,090
2	0,139 ; 0,690	0,093
3	0,151 ; 0,704	0,087
4	0,166 ; 0,694	0,088
5	0,157 ; 0,673	0,087
6	0,146 ; 0,696	0,085
7	0,156 ; 0,682	0,085
8	0,146 ; 0,704	0,090
9	0,149 ; 0,716	0,087
10	0,149 ; 0,707	0,087
11	0,151 ; 0,707	0,088
12	0,173 ; 0,650	0,086
13	0,198 ; 0,642	0,070
14	0,158 ; 0,681	0,089
15	0,147 ; 0,705	0,088

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,141 ; 0,715	0,088
2	0,135 ; 0,718	0,093
3	0,144 ; 0,721	0,086
4	0,151 ; 0,708	0,088
5	0,147 ; 0,723	0,086
6	0,144 ; 0,707	0,083
7	0,148 ; 0,701	0,085
8	0,142 ; 0,706	0,088
9	0,142 ; 0,712	0,085
10	0,149 ; 0,697	0,087
11	0,168 ; 0,688	0,087
12	0,159 ; 0,688	0,085
13	0,143 ; 0,707	0,071
14	0,148 ; 0,714	0,087
15	0,137 ; 0,719	0,087

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: **2B**

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: **2B**

Muuntaja: U=12,19 (VDC) I = 1,648 (ADC)

Muuntaja: U=12,20 (VDC) I = 1,651 (ADC)

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,159 ; 0,684	0,093
2	0,155 ; 0,677	0,090
3	0,156 ; 0,671	0,092
4	0,157 ; 0,689	0,091
5	0,159 ; 0,673	0,087
6	0,172 ; 0,658	0,089
7	0,162 ; 0,672	0,085
8	0,160 ; 0,683	0,088
9	0,158 ; 0,686	0,087
10	0,163 ; 0,650	0,085
11	0,174 ; 0,662	0,091
12	0,165 ; 0,650	0,089
13	0,165 ; 0,657	0,090
14	0,171 ; 0,658	0,089
15	0,159 ; 0,667	0,087

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,133 ; 0,743	0,092
2	0,124 ; 0,725	0,089
3	0,132 ; 0,718	0,092
4	0,130 ; 0,735	0,088
5	0,125 ; 0,737	0,085
6	0,140 ; 0,720	0,086
7	0,140 ; 0,719	0,083
8	0,142 ; 0,715	0,087
9	0,146 ; 0,724	0,087
10	0,124 ; 0,741	0,083
11	0,144 ; 0,722	0,089
12	0,141 ; 0,715	0,087
13	0,142 ; 0,721	0,088
14	0,139 ; 0,730	0,088
15	0,130 ; 0,746	0,086

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: **2C**

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: **2C**

Muuntaja: U=12,33 (VDC) I = 1,704 (ADC)

Muuntaja: U=12,33 (VDC) I = 1,707 (ADC)

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,164 ; 0,694	0,089
2	0,160 ; 0,688	0,087
3	0,161 ; 0,697	0,086
4	0,160 ; 0,697	0,087
5	0,155 ; 0,684	0,087
6	0,166 ; 0,681	0,086
7	0,167 ; 0,669	0,086
8	0,164 ; 0,658	0,085
9	0,156 ; 0,676	0,082
10	0,173 ; 0,650	0,086
11	0,169 ; 0,644	0,087
12	0,154 ; 0,672	0,085
13	0,169 ; 0,671	0,084
14	0,169 ; 0,664	0,080
15	0,156 ; 0,714	0,084

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,144 ; 0,734	0,084
2	0,157 ; 0,699	0,083
3	0,142 ; 0,711	0,082
4	0,128 ; 0,743	0,082
5	0,131 ; 0,723	0,083
6	0,136 ; 0,714	0,080
7	0,125 ; 0,712	0,081
8	0,140 ; 0,729	0,079
9	0,139 ; 0,717	0,080
10	0,136 ; 0,730	0,081
11	0,123 ; 0,739	0,083
12	0,130 ; 0,727	0,077
13	0,140 ; 0,703	0,081
14	0,141 ; 0,749	0,073
15	0,129 ; 0,755	0,076

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: **3A**

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: **3A**

Muuntaja: U=12,22 (VDC) I = 1,687 (ADC)

Muuntaja: U=12,57 (VDC) I = 1,281 (ADC)

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,145 ; 0,046	0,019
2	0,142 ; 0,047	0,022
3	0,145 ; 0,046	0,022
4	0,143 ; 0,047	0,023
5	0,148 ; 0,047	0,019
6	0,147 ; 0,045	0,021
7	0,146 ; 0,047	0,020
8	0,142 ; 0,048	0,023
9	0,144 ; 0,049	0,021
10	0,149 ; 0,047	0,022
11	0,148 ; 0,047	0,020
12	0,146 ; 0,045	0,018
13	0,144 ; 0,045	0,018
14	0,147 ; 0,045	0,018
15	0,150 ; 0,045	0,019

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,130 ; 0,043	0,018
2	0,132 ; 0,043	0,014
3	0,134 ; 0,042	0,013
4	0	0
5	0,131 ; 0,044	0,018
6	0,135 ; 0,040	0,013
7	0,133 ; 0,046	0,010
8	0,144 ; 0,046	0,010
9	0,132 ; 0,043	0,009
10	0,142 ; 0,048	0,004
11	0,136 ; 0,044	0,019
12	0,134 ; 0,043	0,017
13	0,143 ; 0,043	0,018
14	0,135 ; 0,041	0,016
15	0,138 ; 0,041	0,018

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: **3B**

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: **3B**

Muuntaja: U=12,35 (VDC) I = 1,650 (ADC)

Muuntaja: U=12,36 (VDC) I = 1,648 (ADC)

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,139 ; 0,043	0,018
2	0,145 ; 0,042	0,02
3	0,146 ; 0,042	0,019
4	0,145 ; 0,045	0,019
5	0,143 ; 0,045	0,018
6	0,146 ; 0,046	0,02
7	0,146 ; 0,044	0,019
8	0,143 ; 0,044	0,019
9	0,141 ; 0,044	0,019
10	0,142 ; 0,043	0,019
11	0,147 ; 0,042	0,018
12	0,144 ; 0,045	0,019
13	0,143 ; 0,044	0,019
14	0,148 ; 0,046	0,019
15	0,142 ; 0,045	0,02

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,138 ; 0,044	0,019
2	0,144 ; 0,040	0,019
3	0,137 ; 0,043	0,019
4	0,146 ; 0,043	0,019
5	0,134 ; 0,043	0,017
6	0,143 ; 0,044	0,019
7	0,144 ; 0,042	0,015
8	0,144 ; 0,043	0,019
9	0,143 ; 0,041	0,018
10	0,144 ; 0,043	0,019
11	0,136 ; 0,040	0,017
12	0,139 ; 0,043	0,018
13	0,145 ; 0,041	0,018
14	0,143 ; 0,043	0,017
15	0,143 ; 0,043	0,017

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: **3C**

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: **3C**

Muuntaja: U=12,17 (VDC) I = 1,624 (ADC)

Muuntaja: U=12,17 (VDC) I = 1,630 (ADC)

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,135 ; 0,041	0,018
2	0,142 ; 0,041	0,018
3	0,143 ; 0,044	0,019
4	0,137 ; 0,043	0,018
5	0,137 ; 0,045	0,019
6	0,141 ; 0,047	0,020
7	0,139 ; 0,048	0,019
8	0,141 ; 0,046	0,019
9	0,144 ; 0,043	0,018
10	0,145 ; 0,041	0,016
11	0,145 ; 0,041	0,019
12	0,145 ; 0,044	0,019
13	0,137 ; 0,044	0,018
14	0,145 ; 0,044	0,018
15	0,143 ; 0,044	0,019

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,139 ; 0,041	0,018
2	0,144 ; 0,040	0,017
3	0,139 ; 0,041	0,018
4	0,137 ; 0,041	0,017
5	0,135 ; 0,044	0,017
6	0,140 ; 0,044	0,019
7	0,136 ; 0,045	0,019
8	0,142 ; 0,043	0,019
9	0,145 ; 0,043	0,018
10	0,148 ; 0,042	0,018
11	0,140 ; 0,044	0,017
12	0,145 ; 0,042	0,018
13	0,142 ; 0,042	0,018
14	0,147 ; 0,042	0,018
15	0,142 ; 0,041	0,018

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: 4

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: 4

Muuntaja: U=13,02 (VDC) I = 3,825 (ADC)

Muuntaja: U=13,03 (VDC) I = 3,589 (ADC)

Moduuli	X ; Y	T (°K)	L (kcd/m2)	Moduuli	X ; Y	T (°K)	L (kcd/m2)
1	0,337 ; 0,349	5301	0,218	1	0,343 ; 0,347	5036	0,215
2	0,344 ; 0,353	5039	0,230	2	0,342 ; 0,352	5100	0,149
3	0,339 ; 0,350	5220	0,209	3	0,334 ; 0,339	5408	0,204
4	0,341 ; 0,352	5152	0,216	4	0,333 ; 0,351	5450	0,177
5	0,341 ; 0,349	5117	0,213	5	0,333 ; 0,348	5462	0,177
6	0,340 ; 0,346	5166	0,207	6	0,336 ; 0,342	5327	0,205
7	0,341 ; 0,352	5150	0,215	7	0,334 ; 0,346	5410	0,174
8	0,343 ; 0,349	5062	0,209	8	0,341 ; 0,343	5109	0,204
9	0,345 ; 0,354	4977	0,206	9	0,340 ; 0,350	5157	0,199
10	0,343 ; 0,344	5026	0,198	10	0,335 ; 0,342	5350	0,161
11	0,341 ; 0,350	5133	0,197	11	0,339 ; 0,344	5210	0,128
12	0,343 ; 0,352	5076	0,198	12	0,335 ; 0,348	5380	0,157
13	0,341 ; 0,348	5140	0,196	13	0,337 ; 0,343	5288	0,194
14	0,342 ; 0,349	5083	0,196	14	0,336 ; 0,344	5319	0,191
15	0,339 ; 0,342	5188	0,189	15	0,340 ; 0,341	5156	0,185
16	0,344 ; 0,350	5030	0,188	16	0,340 ; 0,337	5149	0,091
17	0,346 ; 0,352	4956	0,195	17	0,333 ; 0,350	5452	0,158
18	0,342 ; 0,347	5084	0,188	18	0,346 ; 0,351	4957	0,156
19	0,344 ; 0,350	5026	0,186	19	0,347 ; 0,350	4893	0,178
20	0,339 ; 0,341	5196	0,177	20	0,324 ; 0,342	5864	0,168
21	0,338 ; 0,340	5226	0,162	21	0,333 ; 0,340	5460	0,157
22	0,344 ; 0,341	4969	0,168	22	0,349 ; 0,346	4789	0,110
23	0,341 ; 0,337	5102	0,164	23	0,333 ; 0,339	5444	0,132
24	0,339 ; 0,339	5170	0,162	24	0,334 ; 0,340	5402	0,159
25	0,346 ; 0,350	4957	0,167	25	0,340 ; 0,349	5177	0,163
26	0,341 ; 0,337	5105	0,154	26	0,338 ; 0,333	5204	0,148
27	0,342 ; 0,343	5080	0,158	27	0,340 ; 0,345	5172	0,151
28	0,342 ; 0,342	5071	0,154	28	0,331 ; 0,340	5526	0,149
29	0,342 ; 0,336	5062	0,152	29	0,341 ; 0,335	5068	0,147
30	0,340 ; 0,340	5140	0,159	30	0,338 ; 0,332	5218	0,154
31	0,341 ; 0,338	5096	0,157	31	0,338 ; 0,340	5248	0,154
32	0,338 ; 0,339	5223	0,152	32	0,336 ; 0,338	5330	0,146
33	0,340 ; 0,338	5129	0,149	33	0,333 ; 0,342	5435	0,145
34	0,337 ; 0,340	5285	0,152	34	0,334 ; 0,337	5410	0,147
35	0,341 ; 0,341	5104	0,154	35	0,334 ; 0,343	5410	0,100
36	0,341 ; 0,340	5094	0,156	36	0,337 ; 0,338	5219	0,151
37	0,345 ; 0,347	4980	0,159	37	0,331 ; 0,336	5548	0,127
38	0,341 ; 0,343	5112	0,151	38	0,339 ; 0,356	5212	0,146
39	0,338 ; 0,338	5218	0,146	39	0,328 ; 0,335	5658	0,140
40	0,343 ; 0,343	5054	0,161	40	0,346 ; 0,350	4952	0,156

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: 5

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: 5

Muuntaja: U=12,86 (VDC) I = 3,770 (ADC)

Muuntaja: U=12,87 (VDC) I = 3,868 (ADC)

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,148 ; 0,697	0,100
2	0,153 ; 0,684	0,097
3	0,162 ; 0,673	0,097
4	0,154 ; 0,694	0,094
5	0,145 ; 0,691	0,093
6	0,157 ; 0,697	0,088
7	0,161 ; 0,662	0,070
8	0,153 ; 0,683	0,088
9	0,160 ; 0,668	0,090
10	0,162 ; 0,668	0,088
11	0,159 ; 0,679	0,091
12	0,151 ; 0,700	0,087
13	0,165 ; 0,666	0,086
14	0,175 ; 0,648	0,086
15	0,162 ; 0,668	0,087
16	0,136 ; 0,697	0,084
17	0,156 ; 0,668	0,083
18	0,160 ; 0,666	0,083
19	0,165 ; 0,664	0,088
20	0,164 ; 0,667	0,081
21	0,173 ; 0,666	0,084
22	0,163 ; 0,680	0,076
23	0,150 ; 0,657	0,080
24	0,147 ; 0,687	0,082
25	0,168 ; 0,676	0,083
26	0,169 ; 0,666	0,080
27	0,171 ; 0,678	0,079
28	0,162 ; 0,676	0,078
29	0,160 ; 0,682	0,078
30	0,194 ; 0,649	0,076
31	0,160 ; 0,683	0,079
32	0,178 ; 0,657	0,079
33	0,169 ; 0,669	0,075
34	0,177 ; 0,684	0,075
35	0,171 ; 0,663	0,076
36	0,173 ; 0,662	0,076
37	0,182 ; 0,675	0,079
38	0,181 ; 0,678	0,079
39	0,168 ; 0,684	0,075
40	0,182 ; 0,655	0,078

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,125 ; 0,770	0,102
2	0,145 ; 0,731	0,096
3	0,151 ; 0,722	0,096
4	0,130 ; 0,728	0,094
5	0,140 ; 0,730	0,094
6	0,142 ; 0,719	0,091
7	0,124 ; 0,758	0,072
8	0,144 ; 0,702	0,091
9	0,131 ; 0,715	0,094
10	0,136 ; 0,727	0,091
11	0,127 ; 0,737	0,094
12	0,157 ; 0,724	0,091
13	0,125 ; 0,709	0,090
14	0,144 ; 0,715	0,090
15	0,125 ; 0,735	0,091
16	0,132 ; 0,742	0,088
17	0,141 ; 0,712	0,085
18	0,144 ; 0,721	0,087
19	0,132 ; 0,709	0,077
20	0,159 ; 0,718	0,086
21	0,158 ; 0,704	0,053
22	0,133 ; 0,766	0,043
23	0,147 ; 0,764	0,043
24	0,136 ; 0,738	0,040
25	0,158 ; 0,662	0,016
26	0,159 ; 0,648	0,016
27	0,140 ; 0,728	0,042
28	0	0
29	0,156 ; 0,752	0,044
30	0,153 ; 0,699	0,029
31	0,133 ; 0,737	0,056
32	0,143 ; 0,709	0,013
33	0,146 ; 0,750	0,037
34	0,169 ; 0,725	0,028
35	0,181 ; 0,662	0,015
36	0	0
37	0,116 ; 0,758	0,015
38	0,147 ; 0,691	0,047
39	0,157 ; 0,672	0,016
40	0,120 ; 0,747	0,032

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: 6

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: 6

Muuntaja: U=13,00 (VDC) I = 3,846 (ADC)

Muuntaja: U=13,18 (VDC) I = 3,930 (ADC)

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,129 ; 0,043	0,021
2	0,140 ; 0,047	0,022
3	0,137 ; 0,046	0,023
4	0,143 ; 0,046	0,021
5	0,144 ; 0,046	0,021
6	0,137 ; 0,049	0,024
7	0,128 ; 0,046	0,022
8	0,143 ; 0,044	0,020
9	0,142 ; 0,043	0,019
10	0,144 ; 0,048	0,020
11	0,141 ; 0,047	0,019
12	0,139 ; 0,046	0,019
13	0,140 ; 0,048	0,021
14	0,141 ; 0,048	0,019
15	0,143 ; 0,043	0,018
16	0,150 ; 0,048	0,019
17	0,150 ; 0,046	0,019
18	0,145 ; 0,047	0,021
19	0,138 ; 0,045	0,018
20	0,143 ; 0,043	0,018
21	0,139 ; 0,045	0,017
22	0,142 ; 0,045	0,016
23	0,146 ; 0,044	0,017
24	0,148 ; 0,046	0,016
25	0,147 ; 0,044	0,017
26	0,142 ; 0,045	0,017
27	0,145 ; 0,043	0,016
28	0,141 ; 0,048	0,017
29	0,151 ; 0,044	0,016
30	0,138 ; 0,048	0,017
31	0,139 ; 0,047	0,017
32	0,148 ; 0,043	0,016
33	0,143 ; 0,046	0,016
34	0,150 ; 0,043	0,016
35	0,139 ; 0,047	0,016
36	0,143 ; 0,045	0,016
37	0,143 ; 0,046	0,016
38	0,145 ; 0,045	0,018
39	0,131 ; 0,046	0,016
40	0,155 ; 0,042	0,015

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,136 ; 0,042	0,020
2	0,133 ; 0,046	0,021
3	0,132 ; 0,045	0,021
4	0,137 ; 0,046	0,020
5	0,138 ; 0,042	0,019
6	0,129 ; 0,046	0,021
7	0,129 ; 0,043	0,020
8	0,138 ; 0,043	0,019
9	0,138 ; 0,043	0,019
10	0,137 ; 0,047	0,020
11	0,136 ; 0,046	0,019
12	0,134 ; 0,044	0,018
13	0,133 ; 0,046	0,020
14	0,131 ; 0,044	0,017
15	0,138 ; 0,040	0,016
16	0,136 ; 0,046	0,018
17	0,135 ; 0,040	0,016
18	0,134 ; 0,045	0,019
19	0,139 ; 0,042	0,016
20	0,136 ; 0,049	0,018
21	0,140 ; 0,044	0,016
22	0,139 ; 0,044	0,016
23	0,139 ; 0,042	0,016
24	0,144 ; 0,045	0,016
25	0,143 ; 0,043	0,016
26	0,141 ; 0,043	0,013
27	0,142 ; 0,040	0,015
28	0,135 ; 0,043	0,015
29	0,137 ; 0,042	0,014
30	0,137 ; 0,043	0,015
31	0,137 ; 0,044	0,016
32	0,137 ; 0,043	0,015
33	0,137 ; 0,044	0,015
34	0,143 ; 0,043	0,015
35	0,144 ; 0,046	0,016
36	0,145 ; 0,044	0,015
37	0,146 ; 0,043	0,016
38	0,145 ; 0,043	0,017
39	0,138 ; 0,043	0,015
40	0,144 ; 0,043	0,015

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: **7A**

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: **7A**

Muuntaja: U=12,20 (VDC) I = 1,659 (ADC)

Muuntaja: U=12,20 (VDC) I = 1,659 (ADC)

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,138 ; 0,047	0,024
2	0,141 ; 0,041	0,019
3	0,141 ; 0,045	0,022
4	0,136 ; 0,045	0,023
5	0,137 ; 0,045	0,021
6	0,140 ; 0,047	0,023
7	0,143 ; 0,044	0,018
8	0,143 ; 0,045	0,019
9	0,148 ; 0,044	0,021
10	0,138 ; 0,045	0,022
11	0,143 ; 0,045	0,019
12	0,138 ; 0,046	0,020
13	0,140 ; 0,048	0,023
14	0,141 ; 0,041	0,017
15	0,143 ; 0,043	0,020

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,133 ; 0,046	0,023
2	0,138 ; 0,040	0,018
3	0,137 ; 0,043	0,021
4	0,137 ; 0,045	0,023
5	0,139 ; 0,041	0,018
6	0,139 ; 0,045	0,020
7	0,138 ; 0,046	0,022
8	0,139 ; 0,044	0,018
9	0,137 ; 0,044	0,020
10	0,139 ; 0,046	0,022
11	0,140 ; 0,044	0,019
12	0,140 ; 0,046	0,020
13	0,138 ; 0,046	0,022
14	0,138 ; 0,042	0,017
15	0,133 ; 0,043	0,020

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: **7B**

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: **7B**

Muuntaja: U=12,24 (VDC) I = 1,670 (ADC)

Muuntaja: U=12,24 (VDC) I = 1,674 (ADC)

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,157 ; 0,678	0,089
2	0,169 ; 0,662	0,086
3	0,163 ; 0,673	0,091
4	0,160 ; 0,686	0,092
5	0,165 ; 0,663	0,087
6	0,162 ; 0,693	0,090
7	0,158 ; 0,670	0,091
8	0,150 ; 0,700	0,089
9	0,158 ; 0,679	0,093
10	0,176 ; 0,665	0,088
11	0,165 ; 0,661	0,087
12	0,168 ; 0,670	0,087
13	0,169 ; 0,661	0,087
14	0,157 ; 0,683	0,089
15	0,157 ; 0,676	0,094

Moduuli	X ; Y	L (kcd/m2)
1	0,135 ; 0,732	0,088
2	0,135 ; 0,720	0,084
3	0,137 ; 0,721	0,090
4	0,124 ; 0,758	0,090
5	0,139 ; 0,718	0,086
6	0,133 ; 0,734	0,089
7	0,139 ; 0,725	0,091
8	0,143 ; 0,733	0,089
9	0,144 ; 0,713	0,094
10	0,134 ; 0,728	0,090
11	0,139 ; 0,724	0,087
12	0,146 ; 0,715	0,082
13	0,135 ; 0,732	0,087
14	0,143 ; 0,729	0,089
15	0,150 ; 0,716	0,095

Aloitusmittaus 12.9.2009
Kokoonpano: **7C**

Loppumittaus 25.10.2009
Kokoonpano: **7C**

Muuntaja: U=12,28 (VDC) I = 1,651 (ADC)

Muuntaja: U=12,43 (VDC) I = 1,551 (ADC)

Moduuli	X ; Y	T (°K)	L (kcd/m2)	Moduuli	X ; Y	T (°K)	L (kcd/m2)
1	0,338 ; 0,340	5228	0,187	1	0,328 ; 0,356	5464	0,093
2	0,338 ; 0,342	5252	0,197	2	0,331 ; 0,342	5540	0,196
3	0,337 ; 0,348	5277	0,207	3	0,330 ; 0,345	5566	0,173
4	0,337 ; 0,344	5298	0,178	4	0,329 ; 0,354	5638	0,091
5	0,339 ; 0,343	5204	0,194	5	0,338 ; 0,343	5240	0,194
6	0,337 ; 0,337	5262	0,180	6	0,333 ; 0,337	5435	0,181
7	0,335 ; 0,336	5358	0,194	7	0,334 ; 0,335	5401	0,163
8	0,339 ; 0,345	5205	0,203	8	0,337 ; 0,348	5297	0,204
9	0,341 ; 0,341	5101	0,176	9	0,333 ; 0,340	5434	0,173
10	0,338 ; 0,342	5247	0,189	10	0,333 ; 0,342	5430	0,189
11	0,338 ; 0,335	5220	0,185	11	0,332 ; 0,334	5498	0,185
12	0,341 ; 0,345	5116	0,194	12	0,337 ; 0,343	5301	0,131
13	0,337 ; 0,341	5258	0,198	13	0,334 ; 0,340	5414	0,200
14	0,344 ; 0,342	4992	0,176	14	0,333 ; 0,345	5436	0,148
15	0,341 ; 0,355	5147	0,189	15	0,334 ; 0,359	5412	0,157

Aloitusermittaus 12.9.2009

Ympäristön lämpötila 21,3 °C

Moduuli	Kokoonpano / Lämpötila (°C)								
	1B	1C	2B	2C	3B	3C	7A	7B	7C
1	40,1	40,4	49,3	43,8	41,8	41,5	40,7	43,2	40,3
2	40,2	39,7	44,7	43,3	42,0	42,7	40,2	42,6	38,5
3	40,0	39,5	43,6	43,5	41,3	41,8	39,8	41,4	38,9
4	39,1	38,9	43,6	43,1	40,5	40,5	38,4	40,3	38,9
5	39,1	39,0	41,1	42,2	39,7	41,0	37,9	41,9	39,5
6	39,4	39,9	42,3	42,7	41,1	40,1	39,0	41,2	38,8
7	38,9	39,1	42,7	43,3	40,5	41,0	38,9	41,2	39,9
8	39,6	39,6	43,0	42,5	40,4	40,9	40,3	41,7	41,4
9	40,2	40,4	43,8	44,5	41,9	42,1	40,3	41,5	40,7
10	39,5	40,2	42,8	43,2	41,1	41,9	36,7	39,0	39,0
11	39,7	40,3	43,0	44,2	41,4	40,9	36,7	42,0	39,2
12	39,2	39,8	43,1	43,5	40,6	40,6	37,1	41,7	40,2
13	39,3	39,3	42,1	43,1	39,6	40,9	36,9	40,8	39,2
14	38,2	38,6	41,4	41,1	39,7	39,9	36,9	39,5	38,0
15	40,4	37,8	40,6	39,9	38,4	39,3	36,0	39,3	37,3

Loppumittausmittaus 25.10.2009

Ympäristön lämpötila 20,3 °C

moduuli	Kokoonpano / Lämpötila (°C)								
	1B	1C	2B	2C	3B	3C	7A	7B	7C
1	0	40,6	49,3	43,6	43,3	43,6	41,7	43,7	31,3
2	0	40,1	45,2	44,6	43,0	43,7	40,6	43,4	39,1
3	26,7	40,5	44,4	44,7	42,7	43,1	40,1	41,7	36,7
4	0	40,5	45,4	44,6	42,2	43,3	39,2	40,5	31,3
5	30,6	40,6	43,5	43,2	41,5	41,9	38,7	42,1	40,9
6	26,2	40,0	43,3	43,0	41,8	41,0	39,6	40,7	37,5
7	0	39,9	43,3	43,9	39,8	42,0	39,6	40,8	36,6
8	0	38,0	44,4	43,2	41,0	41,4	40,7	41,7	41,4
9	33,9	38,7	44,2	44,4	42,2	41,6	41,2	40,7	39,8
10	32,0	40,2	42,7	43,6	42,4	42,7	37,2	40,1	39,0
11	0	38,0	43,0	44,3	41,2	42,3	36,8	41,4	38,8
12	0	39,8	43,4	44,0	40,7	41,3	37,8	41,0	39,7
13	34,0	39,6	42,7	44,3	40,7	41,7	37,7	39,8	39,6
14	26,2	39,4	42,6	43,1	41,2	41,5	37,8	39,7	37,4
15	26,3	40,2	43,5	42,7	40,9	41,2	36,8	40,6	37,2

Aloitussmittaus	12.9.2009
Ympäristön lämpötila	21,3 °C

Loppumittausmittaus	25.10.2009
Ympäristön lämpötila	20,3 °C

moduuli	Kokoonpano / Lämpötila (°C)		
	4	5	6
1	55,5	53,9	49,1
2	59,6	52,5	47,7
3	52,3	50,7	46,8
4	51,5	50,6	45,7
5	50,5	48,3	45,2
6	48,4	47,6	45,3
7	47,2	45,5	43,0
8	47,5	47,6	43,0
9	48,5	47,7	42,4
10	47,4	47,5	42,7
11	47,4	46,8	42,3
12	48,8	47,2	41,4
13	47,5	47,3	42,2
14	45,5	45,0	39,3
15	44,4	42,0	37,7
16	42,5	41,2	37,6
17	42,1	39,9	36,5
18	40,9	40,3	35,8
19	40,1	40,1	35,8
20	39,6	41,0	37,1
21	38,0	40,3	35,7
22	38,7	40,1	36,6
23	38,8	40,6	36,5
24	38,0	40,1	35,8
25	37,6	39,4	34,7
26	36,5	38,5	34,9
27	35,9	37,9	33,3
28	34,1	36,7	31,6
29	34,9	36,1	31,6
30	34,8	35,7	31,0
31	34,7	35,9	31,3
32	34,7	36,1	31,3
33	34,8	36,6	32,0
34	35,2	36,7	32,3
35	34,8	36,5	32,1
36	34,8	36,3	31,5
37	34,4	36,3	30,9
38	33,6	35,4	30,7
39	32,7	34,9	29,8
40	33,4	33,9	29,6

moduuli	Kokoonpano / Lämpötila (°C)		
	4	5	6
1	55,4	46,6	55,7
2	50,7	46,9	53,6
3	52,3	47,6	52,3
4	47,6	47,6	50,7
5	48,0	46,5	50,6
6	49,4	47,1	49,3
7	46,1	43,2	49,4
8	47,8	45,4	47,9
9	48,6	45,7	47,1
10	43,9	45,2	47,6
11	42,3	44,1	48,3
12	45,6	44,2	46,2
13	46,6	44,4	47,3
14	45,0	44,5	44,3
15	44,7	41,6	42,8
16	35,9	42,2	42,7
17	42,6	41,2	42,4
18	39,1	41,9	40,4
19	41,1	38,7	39,9
20	40,4	41,1	41,2
21	38,1	31,9	40,0
22	35,8	33,2	40,8
23	37,5	29,9	40,8
24	38,4	31,4	40,4
25	38,2	26,5	39,2
26	37,4	26,3	36,9
27	36,9	31,3	37,0
28	36,1	0	36,7
29	36,0	30,4	35,4
30	36,2	28,7	35,8
31	35,4	32,8	35,6
32	35,2	26,4	35,7
33	35,3	30,0	36,3
34	35,8	28,2	36,6
35	32,0	26,1	35,7
36	35,0	0	35,6
37	33,8	25,2	35,3
38	34,0	29,2	35,3
39	34,0	25,5	34,6
40	34,8	27,3	33,5