

Lämpösimuloinnin validointi

Case: Teknoware

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotantopainotteinen
mekatroniikka
Opinnäytetyö
Syksy 2016
Sami Kaarakainen

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka

KAARAKAINEN, SAMI:

Lämpösimuloinnin validointi
Case: Teknoware

Tuotantopainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 23 sivua

Syksy 2016

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa asiakasyrityksen ledvalaisinten suunnittelumahdollisuuksia ja nopeuttaa mahdollisten lämpöongelmien havaitsemiset jo hyvissä vaiheissa ennen varsinaisten prototyyppien valmistamisen.

Opinnäytetyön kolmannessa luvussa tullaan käymään läpi, kuinka valo syntyy ledsirussa ja miten valkoinen valo ja muut valon värit muodostuvat ledvalaisimessa. Neljännessä luvussa käydään läpi lämpötilan vaikutuksista ledsiruun ja siitä miten lämpötila johtuu erimateriaalien läpi aina vapaaseen ilmaan saakka.

Opinnäytetyön viidennessä luvussa käydään läpi lämmönsiirtymistä pois ledsirusta, mitkä materiaalit ovat lämmönjohtumista vastaan ja mitkä auttavat lämmönjohtumista. Kuudennessa luvussa käydään läpi lämpötilan mittaamiseen liittyviä asioita ja siitä kuinka thermoparilla voidaan mitata lämpötilaa ja kuinka tuloksista voidaan laskea ledsirun lämpötila.

Opinnäytetyön seitsemännessä luvussa kerrotaan, millaisissa mittausolosuhteissa mittaukset suoritettiin ja kuinka lämpötilan mittaaminen suoritetaan thermoparilla. Kahdeksannessa luvussa kerrotaan lämpösimuloinnin perusteista, mitä kiinteitä aineita, nesteitä ja kaasuja tulee määrittää simuloitaessa.

Asiasanat: ledvalaisimen jäähdytys, lämpösimulointi, lämmönjohtuvuus

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

KAARAKAINEN, SAMI:

Validating heat simulation

Bachelor's Thesis in Production Oriented Mechatronics 23 pages

Autumn 2016

ABSTRACT

The aim of this thesis is to improve the customer company led lighting design opportunities and accelerate the potential thermal problems detections at an early stage before the construction of the actual prototypes.

The third chapter of the thesis will be to go through the light generated by led and how white light and other light colors are formed in led lighting. The fourth chapter takes place through temperature effects at led and how the temperature goes through different materials all the way to the open air.

The fifth chapter of the thesis takes place through the transfer of heat from the led which materials are against heat conduction and which will help heat conduction. The sixth chapter examines the issues related to the measurement of the temperature and how with thermo couple can be measured the temperature and how from results can be calculated led temperature.

The seventh chapter of the thesis explains in what kind of measurement conditions measurements were produced and how the temperature measurement is performed with thermo couple. The eighth chapter describes criteria for thermal simulation of what solids, liquids and gases must be determined in the simulations.

Key words: cooling led lightning, thermal simulation, thermal conductivity

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	YRITYSESITTELY	2
2.1	Teknoware	2
2.2	Ajoneuvovalaistus	2
2.3	Turvavalaistus	3
3	LEDTEORIAA	4
3.1	Valon syntyminen	4
3.2	Valkoisen värin muodostus	4
3.3	Valon väri	6
4	LÄMPÖTILAN VAIKUTUS LEDSIKUUN	7
4.1	Perustietoa ledeistä	7
4.2	Lämmön johtumisen perusteet	7
5	LÄMPÖTILAN SIIRTÄMINEN POIS LEDISTÄ	9
5.1	Ledin lämmönjohtuminen	9
5.2	Lämmönjohtumisen erot simuloitaessa	9
6	LÄMPÖTILAN MITTAAMINEN	13
6.1	Mittauksessa huomioitavia asioita	13
6.2	Thermopari	13
6.3	Thermoparin käyttäminen lämpömittauksiin	13
7	MITTAUSASETTELU	15
7.1	Lämpömittauskaappi	15
7.2	Thermoparin juottaminen kiinni solderpointiin	16
7.3	Mittauksien määrä	17
8	LÄMPÖSIMULOINTI	18
8.1	Lämpösimulointi	18
8.2	Perussimulointimääritykset	18
9	MITTAUS- JA SIMULOINTITULOKSET	21
10	YHTEENVETO	22
	LÄHTEET	23

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa Teknowaren ledvalaisimien lämpötilan simulointia. Työ sisältää perusteoriaa ledvalaisimen jäähtymisestä ja siinä kerrotaan, kuinka lämpötiloja mitataan ja mitä tulee huomioida ledien lämpösimuloinnissa.

Lämpömittaukset ja -simuloinnit tehtiin Teknowaressa kevään aikana. Opinnäytetyön tuloksena saatiin paljon mittaus- sekä simulointituloksia. Näitä vertailemalla ja tuloksia analysoimalla saadaan konkreettista hyötyä tuotteiden oikeanlaiseen suunnitteluun.

Hyvin validoidun lämpösimuloinnin avulla pystytään suhteellisen edullisesti jo suunnittelun alkuvaiheessa näkemään tuotteen mahdolliset ongelmakohdat liittyen tuotteen liialliseen lämpenemiseen. Suunnittelun suuntaaminen oikeaan suuntaan hyvissä ajoin ennen kalliiden prototyyppien valmistamisen edesauttaa tuotteen kustannusajattelua.

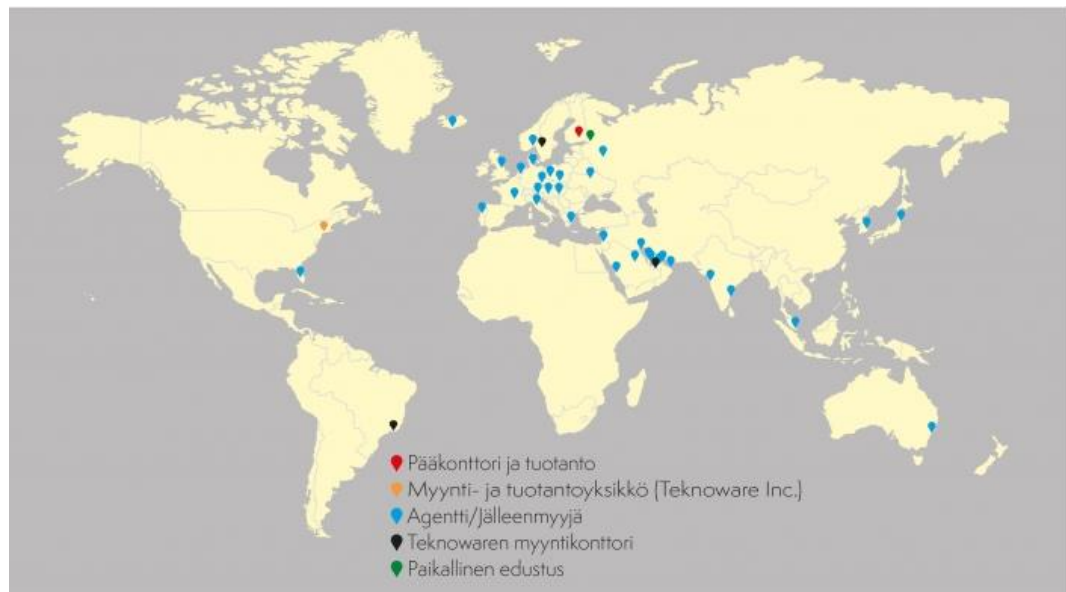
Lämpösimuloinnin avulla tuotteen saattaminen asiakkaalle nopeutuu ja reklamaatioiden määrä pienenee. Tuotteen elinkaari pitenee, ja siihen tehtävien huoltotoimenpiteiden määrä vähenee.

Helpoin tapa pidentää ledvalaisimen elinkaarta on alentaa sen lämpötilaa ledsirussa. Luotettavalla lämpösimuloinnilla päästään nopeasti ja edullisesti hyvään lopputulokseen ledvalaisimen suunnittelussa.

2 YRITYSESITTELY

2.1 Teknoware

Teknoware Oy on vuonna 1972 perustettu perheyritys, ja sen perusti Kalervo Virtanen. Yritys on julkisen liikenteen ajoneuvojen valaistusjärjestelmiin sekä kiinteistöjen ja laivojen turvavalaisusjärjestelmiin erikoistunut asiantuntija. Se tarjoaa ympäri maailmaa (kuva 1) kohdemaan vaatimukset huomioon ottaen kilpailukykyisiä ja kestäviä valaistusratkaisuja. Pääkonttori Lahdessa työllistää yli 250 henkilöä. Yhdysvalloissa toimii junien sisä- ja ulkovalaistukseen sekä linjakilpiin keskittynyt myynti- ja tuotantoyksikkö (Teknoware 2015b).



KUVA 1. Teknoware maailmalla (Teknoware 2015b)

2.2 Ajoneuvovalaistus

Teknoware toimittaa ajoneuvojen valaistus ratkaisuja maailmanlaajuisesti, pääsääntöisesti juniin ja busseihin. Asiakaskohteita ovat sekä uudet, että entisöitävät ajoneuvot (kuva 2). Tuotekehitys, suunnittelu ja tuotanto ovat saman katon alla Lahdessa. Tuotevalikoimaan kuuluvat muun muassa LED-valaisimet ja laaja-alaiset LED-valopaneelit samoin kuin

sisäkattovalaistuksen oheisrakenteet ja täydelliset sisäkattojärjestelmät.
(Teknoware 2015a)



KUVA 2. Helsinki-metro (Teknoware 2015a)

2.3 Turvavalaistus

Teknowarella on yli 40 vuoden kokemus turvavalaisin valmistajana. Yritys valmistaa esimerkiksi poistumistievalaisimia (kuva 3), turvavalaisimia, hallintoelektroniikkaa, keskusakustojärjestelmiä, turvavalaistuksen valvontajärjestelmiä ja turvavalaistusohjelmistoja (Teknoware 2015c).

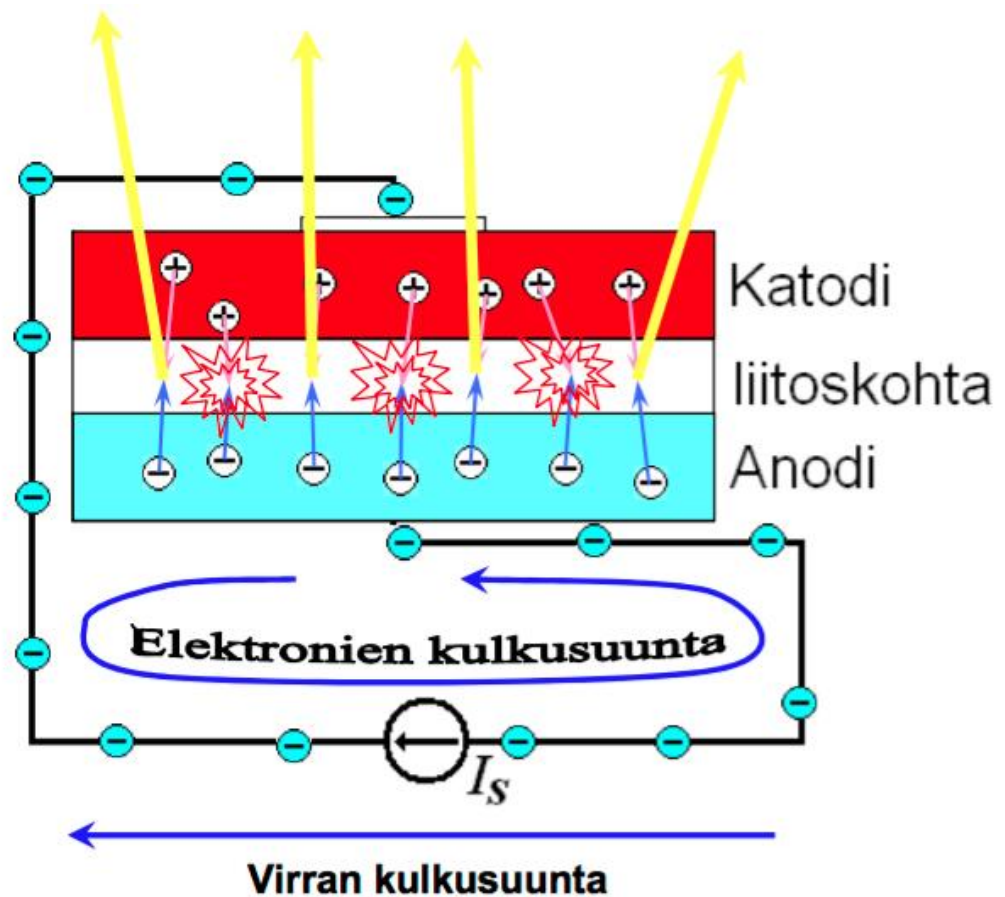


KUVA 3. Silver-opastevalaisin (Teknoware 2015c)

3 LEDTEORIAA

3.1 Valon syntyminen

Ledi on tehokkain tapa muuntaa sähkövirtaa valoksi. Kun virta kulkee diodin läpi eteenpäin menevään suuntaan, se sisältää ylimääräisiä elektroneja (kuvio 1) kulkemassa yhteen suuntaa hilassa ja rei'issä (aukkoja hilassa) liikkumassa toiseen suuntaan. Ajoittain elektronit voivat rekombinoitua reikien kanssa; kun näin tapahtuu, prosessi vapauttaa energiaa protonien muodossa (Electronic Design 2013).

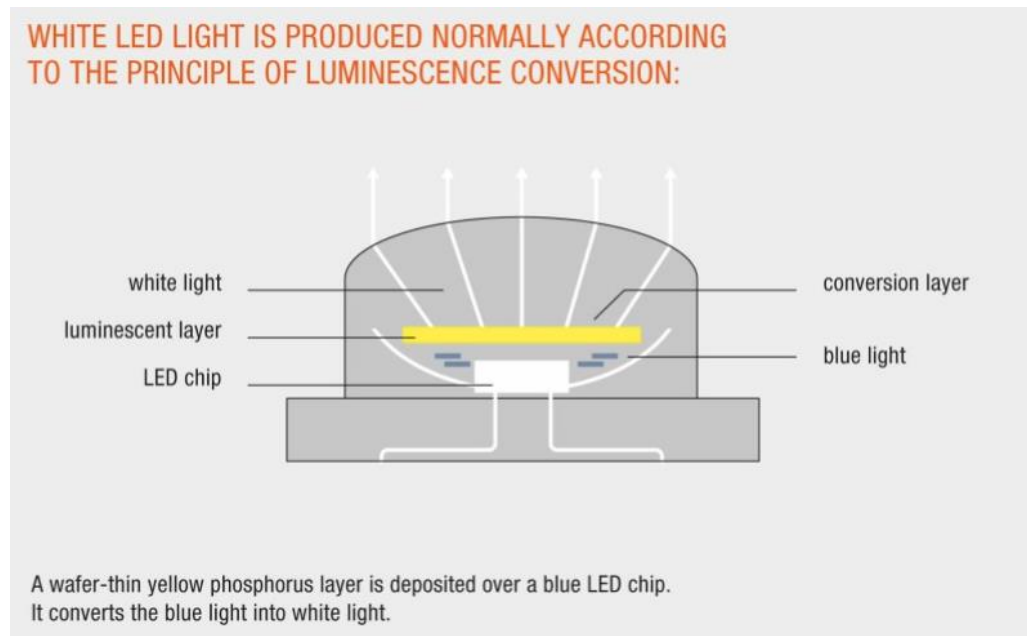


KUVIO 1. Valon syntyminen (Valosto 2016)

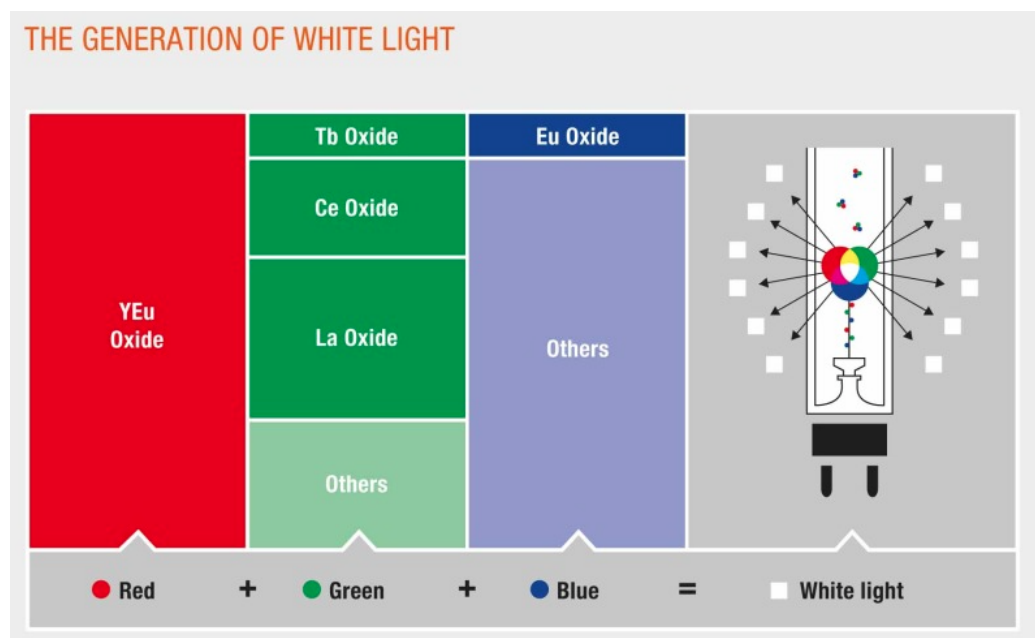
3.2 Valkoisen värin muodostus

Valkoiset ledit (kuvio 2) on tehty tutkimalla puolijohdemateriaaleja, jotka tuottavat sinisiä tai ultravioletteja fotoneita. Diodin lisäksi ledissä linssin sisäpuolella on keltaisia loisteaineita. Osa sinisistä fotoneista pääsee

karkaamaan, mutta toiset niistä kiihdyttävät loisteaineita, jotka luovuttavat keltaiset fotoninsa. Lopputuloksena on valkoista valoa. Punaista, vihreää ja sinistä valoa yhdistämällä (kuvio 3) voidaan myös tuottaa valkoista valoa, mutta silloin kirkkaus ei ole niin hyvä (Electronic design 2013).



KUVIO 2. Valkoisen valon tuottaminen (Osram 2016)



KUVIO 3. Valkoisen valon tuottaminen värien avulla (Osram 2016)

3.3 Valon väri

Virran kulkiessa puolijohteen diodin liitoskohdan läpi elektroni ja hilassa oleva reikä rekombinoituvat ja energia vapautuu fotoniksi. Valon väri määräytyy energiavyön puolijohteen materiaaleista. Esimerkiksi alumiinigalliumarsenide tuottaa punaista valoa, indiumgalliumnitride tuottaa vihreää valoa ja sinkkiselenide tuottaa sinistä valoa (Electronic design 2013).

4 LÄMPÖTILAN VAIKUTUS LEDSIUUN

4.1 Perustietoa ledeistä

Luotettavuus

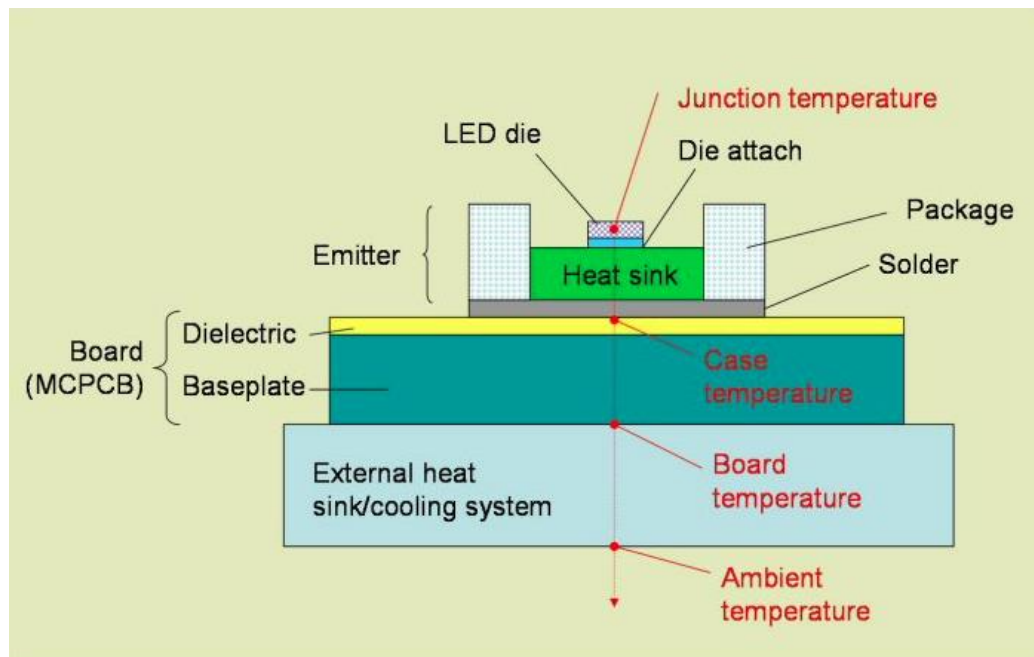
Ledsirun luotettavuus on suoraan verrannollinen junctionin lämpötilaan. Mitä korkeampi junctionin lämpötila on, sitä lyhyempi on ledin elinikä (Cree 2016a).

Lämmön tuottaminen

Ledi tuottaa näkyvää valoa, kun virta liikkuu puolijohteessa sijaitsevan junctionin läpi. Ledit eivät kuitenkaan ole sataprosenttisen tehokkaita. Suurin osa tehosta, joka kulkee ledin läpi, muuttuu lämmöksi. Tämä tarkoittaa sitä että, yli puolet tehosta muuttuu lämmöksi ja loppuosa muuttuu valoksi (Cree 2016a).

4.2 Lämmön johtumisen perusteet

Lämpö johtuu kolmella eri tavalla: johtumalla, konvektiolla ja säteilemällä (Cree 2016a).



KUVIO 4. Lämmön johtumiskerrokset (Ledsmagazine 2016)

Johtuminen

Johtumista tapahtuu, kun kaksi kiinteää materiaalia ovat kosketuksissa toisiinsa. Metallit (taulukko 1) ovat tyypillisesti parhaita lämmönjohtimia (Cree 2016a).

Material	Thermal conductivity (W/m°C)		
	At 25°C	At 125°C	At 225°C
Iron	80	68	60
Low carbon steel	54	51	47
Stainless steel	16	17.5	19
Tungsten	180	160	150
Platinum	70	71	72
Aluminium	250	255	250
Gold	310	312	310
Silver	420	418	415
Copper	401	400	398

TAULUKKO 1. Metallien lämmönjohtuvuus (Pointing spiraxarco 2016)

Konvektio

Lämpö siirtyy muuntamalla nesteitten ja kaasujen läpi. Ledvalaisimessa tämä on tyypillisesti lämmön siirtymistä heat sinkistä ympäröivään ilmaan. On olemassa kaksi alakategoriaa lämmön muuntumiselle: luonnollinen ja pakotettu. Luonnollinen lämmön muuntuminen tapahtuu, kun lämpö siirtyy esimerkiksi painovoiman avulla kiinteästä aineesta nesteeseen tai kaasuun. Pakotettu lämmön muuntuminen tapahtuu, kun apuna siirtymiselle on ulkoinen instrumentti, kuten tuuletin, pumppu tai muu laite auttamassa muuntumista (Cree 2016a).

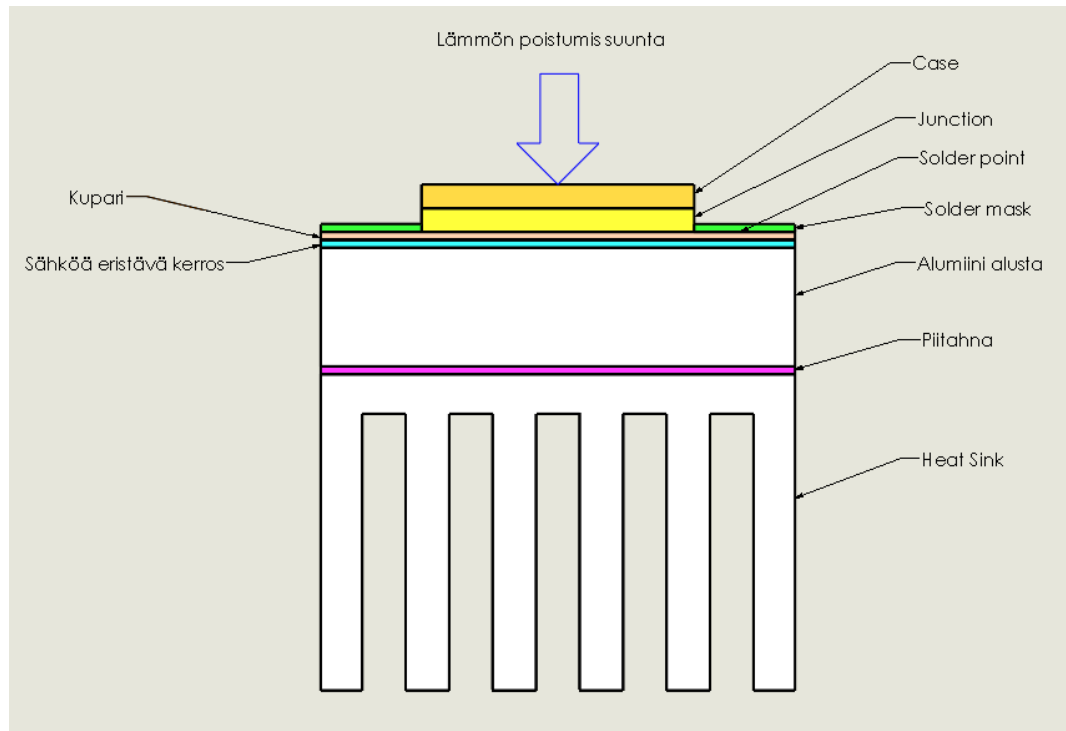
Lämpösäteily

Lämpöenergian siirtyminen elektromagneettisen kentän läpi on säteilyä. Säteilyn suuruus riippuu materian emissiivisyydestä, mikä on suhteessa siihen, kuinka lähellä mustaa pinta on. Ledien kohdalla säteilyllä on tyypillisesti hyvin pieni merkitys lämmön siirtymiseen. Tässä opinnäytetyössä se on jätetty tuloksiin pienen virheen takia kokonaan huomioimatta (Cree 2016a).

5 LÄMPÖTILAN SIIRTÄMINEN POIS LEDISTÄ

5.1 Ledin lämmönjohtuminen

Ledien osalta suunnittelullisesti kriittisin tarve on lämpötilan siirtäminen pois ledin junctionista. Korkea lämpötila ledin junctionissa aiheuttaa valotehon ja elinkaaren pienenemistä (Cree 2016b).



KUVIO 5. Lämmön siirtyminen ledistä alumiinisisälteisen piirikortin läpi

5.2 Lämmönjohtumisen erot simuloitaessa

Case

Case on lämmön siirtymistä eristävä kerros, esimerkiksi polycarbonaattia, jonka lämmön johtuvuus on noin $0,2 \text{ W/mk}$. Se estää tehokkaasti lämmön siirtymisen junctionista normaaliin johtumissuuntaan verrattuna vastakkaiseen suuntaan. Tästä syystä lämpö johtuu hyvin vähän ledistä suoraan ilmaan. Monesti ledit on myös eristetty ympäröivästä ilmasta esimerkiksi lasilla, joka eristää lämmönjohtuvuutta tehokkaasti (Röchling 2014).

Junction

Junctionin lämmön siirtyminen ilmoitetaan valmistajalta saatavissa ledin datalehdessä. Tässä opinnäytetyössä käytetyistä ledeissä lämpöresistanssi junctionin ja solder-pointin välillä on Cree datalehden mukaan (taulukko 2) XP-E ledillä valkoisella valolla 9°C/W ja XP-G2 ledillä valkoisella valolla 4°C/W (Cree 2016c).

Color	Thermal Resistance (°C/W)						
	ML-B	ML-C	ML-E	MX-3	MX-6	XB-D	XM-L
White	25	13	11	11	6	6,5	2,5
Royal blue	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Blue	n/a	n/a	11	n/a	n/a	n/a	n/a
Green	n/a	n/a	15	n/a	n/a	n/a	n/a
Amber	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Red	n/a	n/a	15	n/a	n/a	n/a	n/a
Red-orange	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Color	Thermal Resistance (°C/W)						
	XM-L EZW	XM-L HVW	XP-C	XP-E	XP-G	XT-E	XT-E HVW
White	2,5	3,5	12	9	4	5	6,5
Royal blue	n/a	n/a	12	9	n/a	n/a	n/a
Blue	n/a	n/a	12	9	n/a	n/a	n/a
Green	n/a	n/a	20	15	n/a	n/a	n/a
Amber	n/a	n/a	15	10	n/a	n/a	n/a
Red	n/a	n/a	10	10	n/a	n/a	n/a
Red-orange	n/a	n/a	10	10	n/a	n/a	n/a

TAULUKKO 2. Cree ledien lämpöresistanssit (Cree 2016c)

Solder point

Solder pointista mitataan lämpötila rapsuttamalla kuparipinta näkyviin solder maskin alta ja juottamalla siihen kiinni thermopari. Saadun lämpötilan mukaan voidaan laskea junctionin lämpötila, jonka laskukaava on tämän opinnäytetyön kuudennessa luvussa (Cree 2016c).

Solder mask

Solder mask on ohut lakkatyypinen kerros polymeeriä. Sen tarkoitus on estää kuparin hapettuminen ja estää oikosulut juotosten välillä. Lämmön johtuvuus on hyvin pieni, joten se estää tehokkaasti kuparista lämmön siirtymisen normaaliin johtumissuuntaan verrattuna vastakkaiseen suuntaan (Epec 2016).

Kupari

Kupari johtaa erinomaisesti lämpöä: sen lämmön johtuvuus on noin 400 W/mk, mutta se on piirikorteissa hyvin eristettynä, joten se ei suoraan johda lämpöä ympäröivään ilmaan. Sen läpi tosin lämpö pääsee helposti johtumaan seuraavaan kerrokseen (Pointing spiraxarco 2016).

Sähköä eristävä kerros

Kuparin alla on sähköä eristävä kerros, jonka lämmönjohtuvuus on eri valmistajasta riippuen 0,3 W/mk – 1,3 W/mk. Tämän opinnäytetyön korteissa lämmön johtuvuus on 0,36 W/mk, joten ne eristävät lämmön siirtymistä tehokkaasti. Varsinkin FR-4-korttien kanssa ongelmaa voidaan parantaa kerroksen läpi menevien pienten reikien avulla (Cree 2016c).

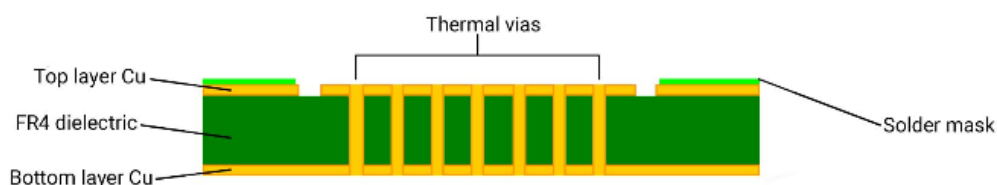


Figure 4: FR-4 cross-sectional geometry with thermal vias (not to scale)

KUVIO 6. Kerrosten läpi menevät reiät (Cree 2016c)

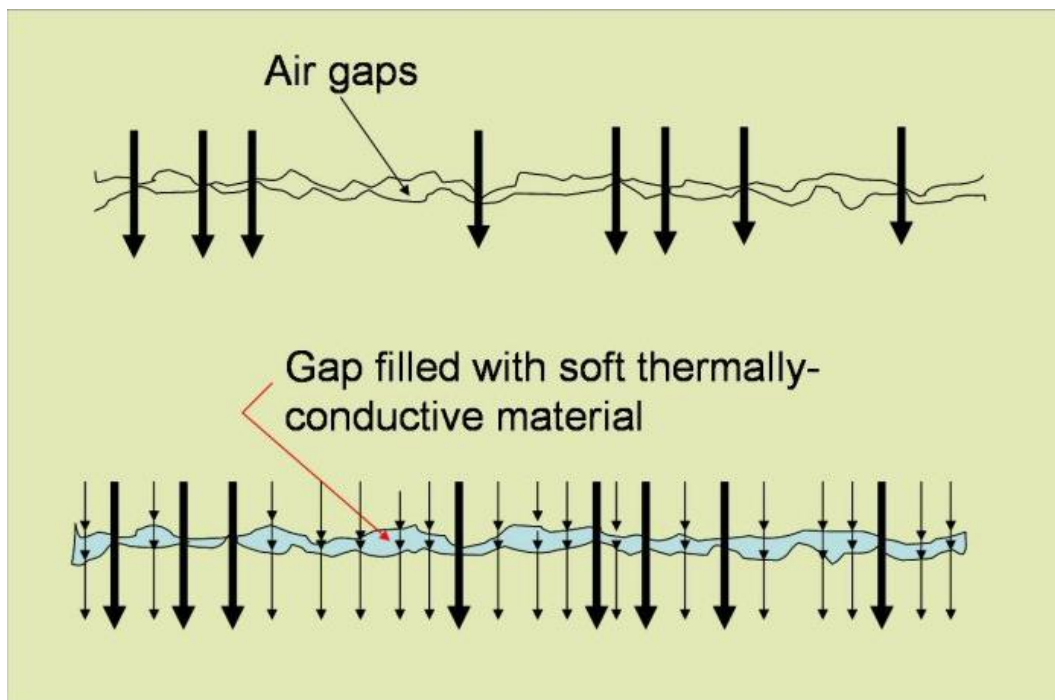
Alumiini

Tyypillinen piirikorteissa käytettävä alumiini on yleensä seokseltaan AW 1050A, jonka lämmön johtuvuus on 222 W/mk (Aalco 2016).

Piitahna

Piitahnalla on suhteellisen pieni lämmönjohtuvuus, mutta sen tarkoitus on pienenä kerroksena poistaa osien väliltä pinnankarheudesta aiheutuvat ilmakeuhat (kuvio 7), ja tämän vuoksi sitä käyttämällä on parempi lämmönjohtuvuus kuin esimerkiksi suoralla alumiini-alumiini-liitoksella. Tämän opinnäytetyön piitahnin lämmön johtuvuus on 0,7 W/mk. On olemassa myös paljon paremmin johtavia piitahnoja, mutta ne ovat myös

monesti esimerkiksi metallipitoisuuden johdosta sähköä johtavia ja voivat aiheuttaa oikosulkuja (Tom's hardware 2013).



KUVIO 7. Pinnankarheudesta aiheutuvat ilmakeuopat (Ledsmagazine 2016)

Heat sink

Heat sink on tässä opinnäytetyössä samaa alumiinia kuin kortin alla oleva alumiini, eli tyypillistä levyalumiinimateriaalia. Mitä isompi on heat sinkin pinta-ala, sitä tehokkaampi on sen sen lämmönjohtuvuus.

Lämmönjohtuvuutta voidaan tehokkaasti parantaa käyttämällä esimerkiksi tuuletinta kiinnitettynä heat sinkkiin kiinni, mutta myöskin samalla siitä tulee ledin jäähtymisen osalta helpoiten hajoava komponentti. Tuulettimen vioittuessa lämpö ei enään johdukaan normaaliin tapaan, ja ledin elinikä lyhenee tai se voi lämmetä yli sille annetun toimintamaksimin (Cree 2016c).

6 LÄMPÖTILAN MITTAAMINEN

6.1 Mittauksessa huomioitavia asioita

Mitattaessa lämpötilaa on oleellista asettaa mitattava kohde niin lähelle todellista olotilaa kuin mahdollista. Myöskin on hyvä mitata pahin mahdollinen skenaario, mitä mitattavalle kohteelle voisi käydä. Mittaus asettelussa tulee olla samanlainen ilmanvirtaus, materiaalit, orientaatio, ympäristön olot ja ylimääräiset lämmön lähteet kuin todellisessa tilanteessa (Cree 2016b).

Toinen mitattava määre on hyvä olla aika, jona systeemi lämpötilallisesti stabiloituu. Riippuen lämpökuorman koosta ja heat sinkin tehokkuudesta, joidenkin systeemien stabiloitumiseen menee muutamia minuutteja, kun toisiin menee tunteja (Cree 2016b).

On myös oleellista mitata tarkasti ympäröivää lämpötilaa, koska muutos ympäristön lämpötilassa vaikuttaa suoraan lineaarisesti mitattavan kohteen lämpötilaan (Cree 2016b).

6.2 Thermopari

Yksinkertainen thermopari on yleisin ja helpoin tapa mitata ledin lämpötilaa. Yleinen ohjesääntö on kiinnittää thermopari niin lähelle lediä kuin mahdollista, eli suoraan kiinni ledin alta tulevaan kuparipadiin. Lämpöä johtava epoxy tai tina ovat suositeltavia kiinnitysmateriaaleja. Tässä opinnäytetyössä thermopari on juotettu kiinni tinalla. Thermopari on pystyttävä asentamaan niin, ettei se ole valolinjan tiellä, koska muuten mittaustulos on virheellinen (Cree 2016b).

6.3 Thermoparin käyttäminen lämpömittauksiin

Thermopari on tehty kahdesta ohuesta erityyppisestä metallilangasta. Kuoritut langanpäät kiinnitetään toisiinsa, esimerkiksi vaikka pyörittämällä ne toistensa ympärille (Cree 2016b).

Thermoparin juottaminen

Muutamia juottamiseen liittyviä ohjenuoria ovat: Käytetään mahdollisimman ohuita thermoparin kaapeleita, jotta minimoidaan mittaushäiriöitä. Suositeltavava juottamislämpötila on 380 celsiusastetta. Juottaminen voidaan tehdä kahdessa osassa, mutta kokonaisaika tulee olla maksimissaan 5 sekuntia. Kolvin kärki hapettuu ja muuttuu mustaksi korkean lämpötilan johdosta, jolloin se on hyvä putsata märällä sienellä, jotta tina saadaan tarttumaan jälleen. Kolvin kärki on hyvä putsata puhdistuslangalla, jos sitä ei saa puhtaaksi pelkällä sienellä (Nichia 2016).

Junctionin lämpötilan laskeminen

Junctionin lämpötila voidaan laskea thermoparilla mitatusta lämpötilasta. Junctionin lämpötila on solder pointin lämpötilaan lisätty ledin lämpöresistanssi kertaa teho (Cree 2016b).

Junctionin lämpötila lasketaan seuraavalla kaavalla (kaava1):

$$T_j = T_{sp} + \theta_{th}P_{total}$$

T_j =junctionin lämpötila celsiusasteina

T_{sp} =mitattu solder pointin lämpötila celsiusasteina

θ_{th} =ledin lämpöresistanssi celsiusta per watti

P_{total} =totaalinen lediin sisään menevä teho

(P_{total} Voidaan laskea kertomalla virta jännitteellä.)

7 MITTAUSASETTELU

7.1 Lämpömittauskaappi

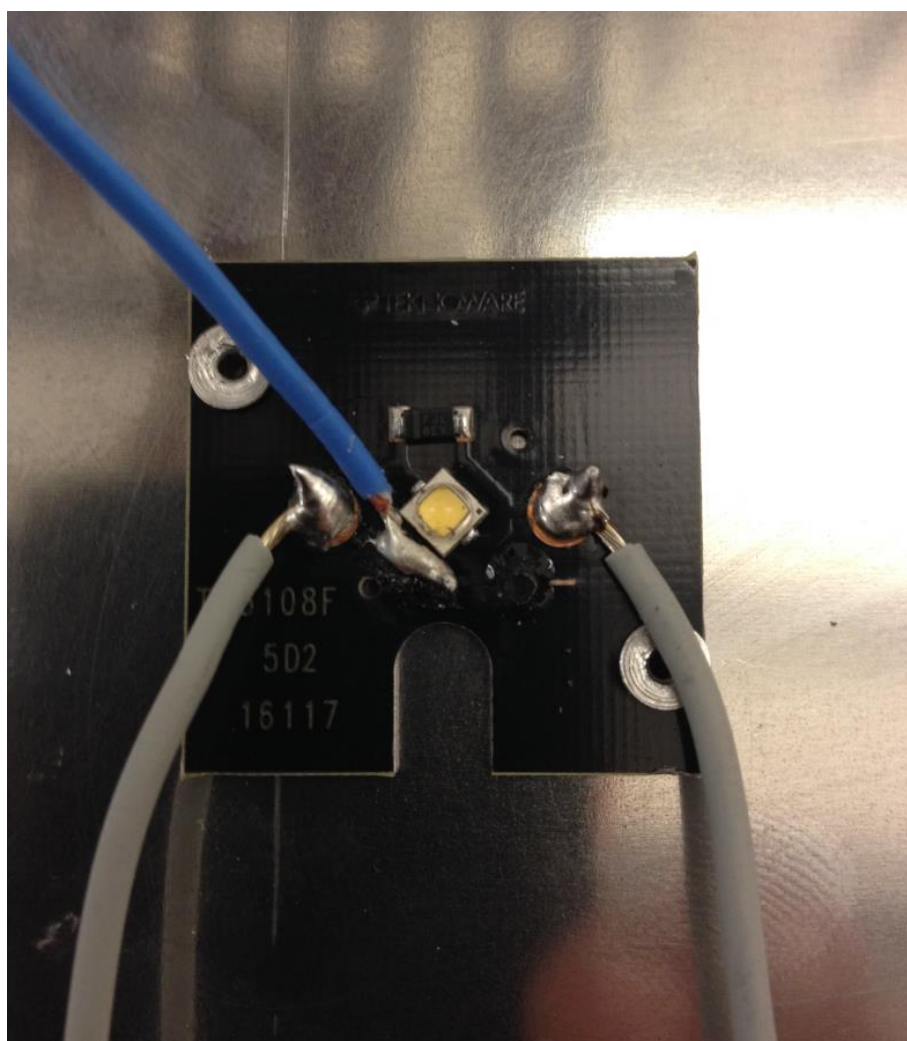
Ledien lämpötilat mitattiin koivuvanerista valmistetusta kaapista, jotta ulkoinen ilmastointi ja muut ulkoiset tekijät eivät vaikuttaisi mittaustulokseen. Kaapin sisätilavuus on noin 0,1 m³. Koivuvanerin lämmönjohtavuus on noin 0,15 W/mk, joten se toimii erinomaisesti lämpökaapin materiaalina. Kaapissa on myös 40 mm halkaisijaltaan olevat reiät pohjassa ja katossa, jotta ilmanvirtaus olisi tasainen. Ilman näitä reikiä kaapin lämpötila nousisi kohtuuttomasti varsinkin simuloitaessa (Handbook of Finnish plywood 2002).



KUVA 4. Lämpömittauskaappi

7.2 Thermoparin juottaminen kiinni solderpointtiin

Virtajohtojen juottaminen kiinni plussaan ja miinukseen on suhteellisen helppoa ja onnistuu keneltä vain pienellä harjoittelulla. Thermoparin juottaminen on vähän vaikeampaa; thermopari hylkii juotostinaa, ja sen juottaminen kiinni solder pointtiin on jokseenkin hankalaa. Se täytyy kiinnittää hyvin lähelle lediä. Jotta mittaustulokset eivät vääristyisi, on syytä olla osumatta kolvin kärjellä tai tinalla lediin. Thermopari on myöskin syytä pyrkiä saamaan kiinni solder pointin kupariin, jotta väliin ei jää ilmaa tai muuta huonommin lämpöä johtavaa materiaalia. Mittaustuloksiin vaikuttaa myös, jos kuparia raaputtaa liian paljon näkyviin ja lämpö normaalista poiketen johtuu siitä ilmaan. Näin ollen tinan ja thermoparin tulisi täyttää auki raaputetun kuparin ala kokonaan (Cree 2016c).



KUVA 5. Thermopari juotettuna

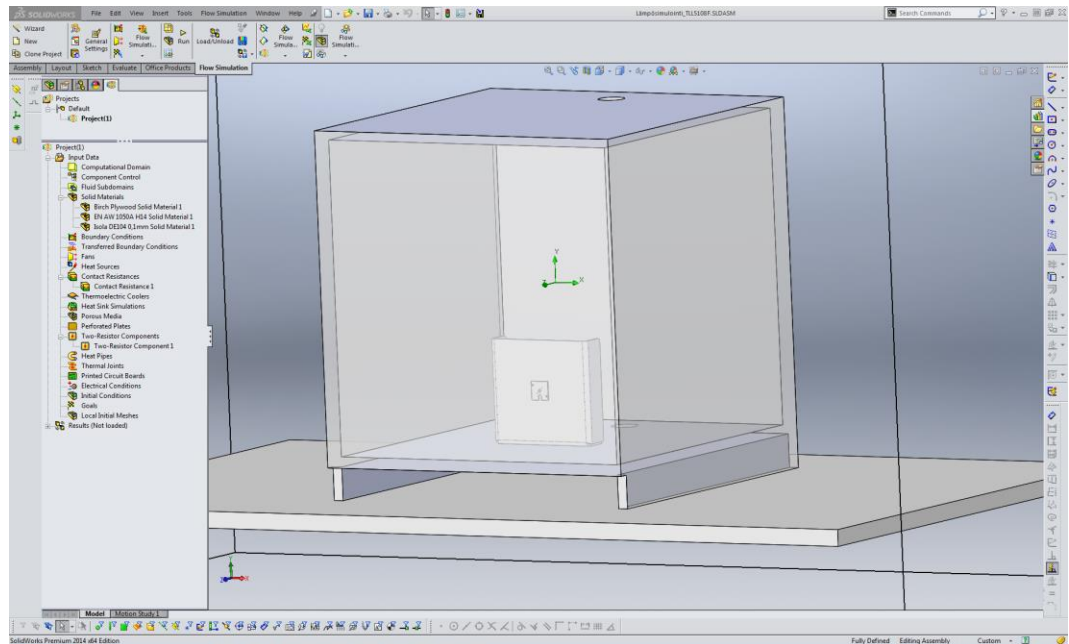
7.3 Mittauksien määrä

Thermoparin juottamisen hankaluuden ja siitä aiheutavan mittausvirheen mahdollisuuden johdosta on syytä tehdä useita eri mittauksia. Useita tuloksia vertailemalla ja selkeästi keskiarvosta poikkeavat tulokset poistamalla päästään hyvään lopputulokseen, jota voidaan käyttää simuloinnin validoinnin vertauskohtana.

8 LÄMPÖSIMULOINTI

8.1 Lämpösimulointi

Ennen kalliiden prototyyppien valmistamisen ja tuotteiden tuotantoon saattamisen on syytä tehdä lämpösimulointi. Lämpösimulointi näyttää ongelmalliset alueet ja kuumat pisteet suunniteltavassa tuotteessa.



KUVIO 8. Lämpösimulointi kaappi mallinnettuna

8.2 Perussimulointimäärittelyt

Ympäristön lämpötila

Simulointiin määritetään ympäristön lämpötila, joka on normaalisti lähellä mittauspajan lämpötilaa, tässä tapauksessa 23 celsiusastetta.

Ympäristön lämpötilan vaikutus lediin on lineaarinen, joten poikkeama simuloinnissa on helppo korjata laskemalla.

Painovoima

Luonnollinen jäähtyminen tapahtuu painovoiman avulla, koska ilman tätä määrittystä ledi ei jäähtyisi ollenkaan. Mallista katsotaan, miten päin se on mallinnettu, ja painovoima asetetaan sen mukaan, kuvan 5 mukaan $-9,81\text{m/s}^2$.

Ympäröivä aine

Ympäröiväksi aineeksi voidaan määrittää esimerkiksi kaasuja, nesteitä ja höyryjä. Suurin osa simuloinneista tapahtuu lämmön siirtymisenä ilmaan.

Kiinteät materiaalit

Simulointiin mallinnettujen osien materiaalit on määritettävä. Esimerkiksi kuvassa 5 alla oleva pöytä ja mittauskaappi on määritetty koivuvaneriksi, heat sinkki ja kortin perusmateriaali on määritetty alumiiniksi ja kortin sähköä eristävä kerros on määritetty laminaatti-hartsiseokseksi.

Liitosresistanssit

Eri pintojen väliin täytyy määrittää liitosresistanssi, jos sellainen ei siihen muuten materiaalmäärittysten kautta automaattisesti määrity. Esimerkiksi kortin alumiinin ja heat sinkin alumiinin väliin on määritettävä joko pinnan karheudet tai piitahna, koska muuten lämmön johtuvuus on liian hyvä.

Lämmön lähde

Ledit määritetään kaksiresistorikomponentin avulla. Ledin ulkomittojen mukaan samankokoisiksi mallinnetut junction ja case, ja niiden lämpöresistanssit määritetään. Tehosta osa muodostuu lämmöksi ja osa valoksi. On eri arvioita, kuinka paljon menee kumpaankin, ja kehitys kehittyy koko ajan niin, että valoksi muuntuu nykypäivänä ja tulevaisuudessa enemmän. Tässä opinnäytetyössä käytetyissä Cree Xlamp valkoisissa ledeissä valoksi muuntuu yli 40 % tehosta (Cree 2016). Simuloitaessa tämä arvo vaikuttaa todella paljon lopputulokseen. Tätä arvoa myöskin muuttamalla ja mittaustuloksiin vertaamalla voidaan

hienosäätää lämpötehoa ja päästään lämmönjohtavuuden kannalta oikeisiin tuloksiin.

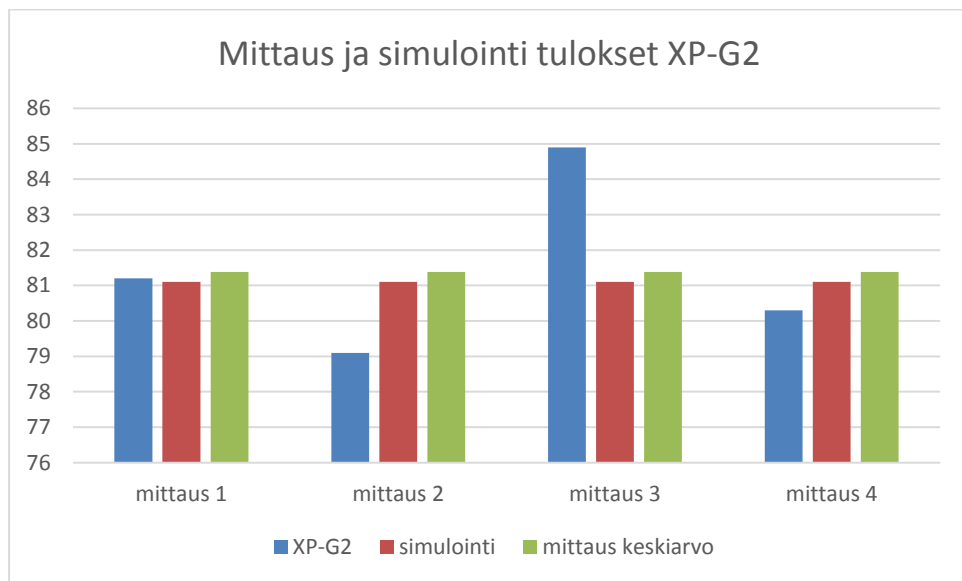
9 MITTAUS- JA SIMULOINTITULOKSET

Mittaukset suoritettiin kaikki ilmavirtaukselta suojatussa kaapissa.

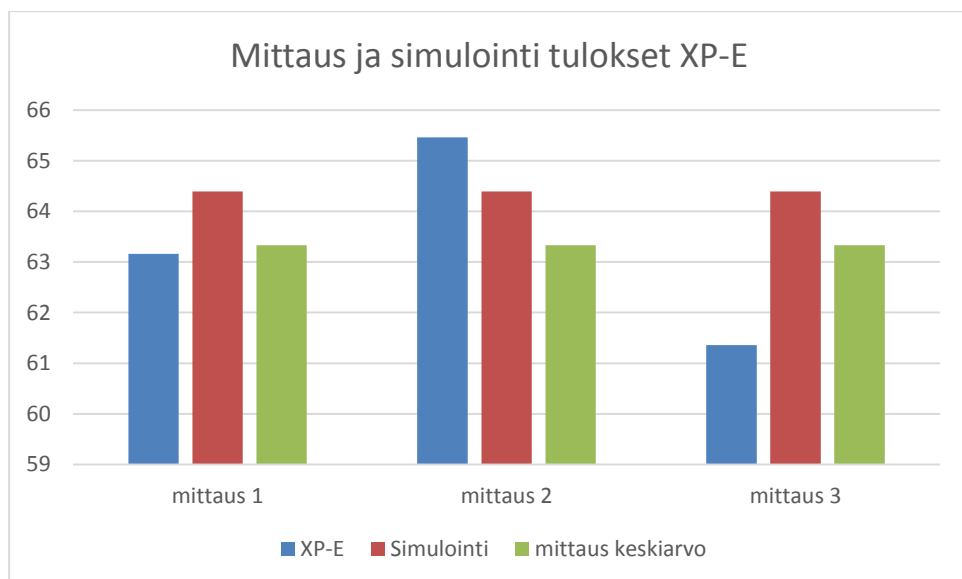
Lämpötila on kompensoitu olemaan 23 astetta niin mittauksissa kuin

simuloinnissa. XP-G2-ledillä teho oli 4,8 W ja XP-E-ledillä teho oli 2,24 W.

Taulukko 3.



Taulukko 4.



10 YHTEENVETO

Lukuisia mittauksia ja simulointeja vertailemalla on selvää, että oikeaan suuntaan ollaan lämpösimuloinnin validoimisen kanssa menossa. Tällä hetkellä varsinkin uutta suunniteltaessa ei vielä ole tosin varmuutta tulosten oikeellisuudesta, kun ei ole siinä vaiheessa suunnittelua vielä konkreettista valaisinta, johon tuloksia voisi verrata.

Jatkossa mittauksia ja simulointeja tulee tehdä huomattavat määrät enemmän, jotta simulointitulokseen voisi aukottomasti luottaa. Ledien määrää kortilla tulee kasvattaa ja erillaisia ledejä mitata. Myöskin helpot simulointiohjeet tulee tehdä asiakasyrityksen projektiosastolle, jotta lämpösimulointi on helposti suoritettavissa projektiosaston työntekijöille.

Valmiita malleja, kortteja, ledejä ja heat sinkkejä eri materiaalikerroksineen ja -määrityksineen tulee mallintaa simuloinnin nopeuttamiseksi ja simuloinnin oikeanlaisen tuloksen aikaansaamiseksi.

LÄHTEET

Aalco. 2016. Aalco, The UK's largest independent multi-metals stockholder [viitattu 24.3.2016]. Saatavissa: http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-1050A-H14-Sheet_57.ashx

Cree. 2016a. Thermal Management of Cree Xlamp Leds [viitattu 19.3.2016]. Saatavissa: <http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/XLampThermalManagement.pdf>

Cree. 2016b. Solder-Point Temperature Measurement of Cree Xlamp Leds [viitattu 19.3.2016]. Saatavissa: http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/Solder_Point_Temp.pdf

Cree. 2016c. Cree Xlamp XP-E LEDs [viitattu 23.3.2016]. Saatavissa: http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/XLamp_PCB_Thermal.pdf

Epec. 2016. Epec, Build to print electronics [viitattu 24.3.2016]. Saatavissa: <http://www.epectec.com/pcb/soldermask/>

Electronic Desing. 2013. Understanding LED Application Theory And Practice [viitattu 31.3.2016]. Saatavissa: <http://electronicdesign.com/components/understanding-led-application-theory-and-practice>

Handbook of Finnish Plywood. 2002. Finnsih Forest Industries Federation. Kirjapaino Markprint Oy, Lahti, Finland, 2002 [viitattu 26.3.2016]. Saatavissa: <https://www.forestindustries.fi/mediabank/887.pdf>

Ledsmagazine. 2016. Generic LED package [viitattu 31.3.2016].

Saatavissa:

<http://www.ledsmagazine.com/content/dam/leds/migrated/objects/features/2/5/8/thermal3.jpg>

Nichia. 2016. Manual Solder-Attachment of Lead Wire to COBs [viitattu 19.3.2016]. Saatavissa:

http://www.nichia.co.jp/en/product/led_technicaldata.html

Osram. 2016 Osram Knowledge: the LED light colors [viitattu 31.3.2016].

Saatavissa: http://www.osram.com/osram_com/news-and-knowledge/led-home/professional-knowledge/led-basics/light-colors/index.jsp

Pointing Spiraxarco. 2016. Steam engineering tutorials [viitattu 31.3.2016].

Saatavissa: <http://pointing.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/steam-engineering-principles-and-heat-transfer/heat-transfer.asp>

Röchling. 2014. Röchling, Technical data sheet [viitattu 24.3.2016].

Saatavissa:

<http://www.roechling.com/fileadmin/downloads/Roechling%20Engineering%20Plastics/Datenblaetter/EN/Datasheet-Formaterm-PC-ABS-professional-EN.pdf>

Teknoware. 2015a. Ajoneuvovalaistus [22.3.2016] saatavuus:

<http://www.teknoware.com/fi/ajoneuvovalaistus>

Teknoware. 2015b. Yrityksemme [viitattu 22.3.2016] saatavuus:

<http://www.teknoware.com/fi/yrityksemme>

Teknoware. 2015c. Ajoneuvovalaistus [22.3.2016] saatavuus:

<http://www.teknoware.com/fi/turvavalaistus>

Tom's Hardware. 2013. tom's Hardware, The Authority on tech [viitattu

24.3.2016]. Saatavissa: <http://www.tomshardware.com/reviews/thermal-paste-heat-sink-heat-spreader,3600-4.html>

Valosto. 2016. Mitä ledi on ja mitkä ovat sen edut ja haitat? [viitattu 31.3.2016]. Saatavissa:

http://www.valosto.com/tiedostot/Kohti_valoa_Tetri.pdf

