

KARELIA AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tapani Pitkänen

LED-valon lämmönjohtuminen

Opinnäytetyö
Kevät 2013



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2013
Kone- ja tuotantotekniikan koulutus-
ohjelma
Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800 p. (013) 260 6906

Tekijä(t)
Tapani Pitkänen

Nimeke
LED-valon lämmönjohtuminen

Toimeksiantaja
Karelia ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia LED-valaisimen lämpenemistä suljetuissa olosuhteissa. Työ toteutettiin Karelia ammattikorkeakoulun toimeksiannosta ja se oli osa laajempaa projektia, jota koulu teki. Työssä oli käytännön ja teorian osuus. Käytännön osuus toteutettiin laboratorio-olosuhteissa. Työssä käytettiin hyväksi lämpökameraa sekä erilaisia laboratoriovarusteita.

Teoriaosuudessa selvitetään lämpenemiseen liittyviä käsitteitä, esimerkiksi emissiivisyys ja infrapunasäteily. Tutkimuksessa näytetään tulokset ja johtopäätökset.

Tästä opinnäytetyöstä käy ilmi miten osa LED-valaisimista lämpenee erilaisissa virtämäärissä ja olosuhteissa. Työssä myös näytetään eri materiaalien emissiivisyyksiä.

Kieli
suomi

Sivuja 20
Liitteet 2
Liitesivumäärä 2

Asiasanat
LED, valo, lämpökamera, lämmöntuotto



THESIS
April 2013
**Degree Programme in Mechanical and
Production Engineering**
Karjalankatu 3
FIN 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. 358-13-260 6800

Author(s)
Tapani Pitkänen

Title
Heat conduction of LED lighting

Commissioned by
Karelia University of Applied Sciences

Abstract

The goal of this thesis was to examine how LED lights behave in a closed environment. This thesis was commissioned by Karelia University of Applied Sciences and it was part of a bigger research. There was a practical and theory parts. Practical part was carried out in laboratory with a foreign student. In this thesis thermal camera and different laboratory equipment were used.

The theory part shows concepts of warming, for example emissivity and infrared radiation. The study show outcomes and conclusions.

In this thesis you can find out how different LED lights heat up in different situations and amounts of currents. Also you can find emissivities of different materials.

Language
Finnish

Pages 20
Appendices 2
Pages of Appendices 2

Keywords
LED, light, thermal camera, heat dissipation

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto.....	5
2 Yleistietoa lämpökamerakuvaamisesta ja LED-valaistuksesta	6
2.1 Lämpökamera.....	6
2.2 Lämpökamerakuvaaminen	8
2.3 LED-valaistus	9
2.4 Infrapunasäteily ja emissiivisyys	10
3 Lämpökameran käyttö tutkimuksessa ja kuvat.....	11
4 Tulosten tutkinta	18
5 Pohdintaa	19
Lähteet	20

Liitteet

Liite 1 Materiaalien emissiokertoimet

Liite 2 Esimerkkikuva käyttötarkoituksesta

1 Johdanto

Opinnäytetyö tehtiin Karelia ammattikorkeakoulun toimeksiannosta. Työn tarkoituksena oli tutkia, kuinka LED-valaistus kuumentaa ympäristöään valaistuksen ollessa päällä. Tässä tutkimuksessa käytettiin erilaisia LED-valaisimia muovikotelon sisällä ja seurattiin lämpökameraa hyväksi käyttäen, kuinka osat lämpenevät LED-valon ollessa päällä tietyn ajan.

Tarkoituksena oli tehdä alustava tutkimus, voiko tietynlaista muovia käyttää yhdessä LED-valaisimen kanssa. LED-valaisimet soveltuvat käyttökänsä, pienen kokonsa ja valaistustehokkuutensa ansiosta hyvin erilaisiin kohteisiin. Lisäksi niiden lämmöntuotto on yleisesti matala verrattuna muihin valaisinvaihtoehtoihin.

Työssä oli apukeinoina lämpökamera, jolla voitiin seurata LED-valon lämpenemisen vaikutusta ympäristöönsä, sekä erilaisia laboratorion laitteita. Ympäristön vaikutuksia minimoitiin asettamalla kohde suljettuun tilaan. Käytännön osuus suoritettiin laboratoriossa. Työstä rajattiin pois muovin valinta ja keskityttiin LED-valon lämpenemiseen.

2 Yleistietoa lämpökamerakuvaamisesta ja LED-valaistuksesta

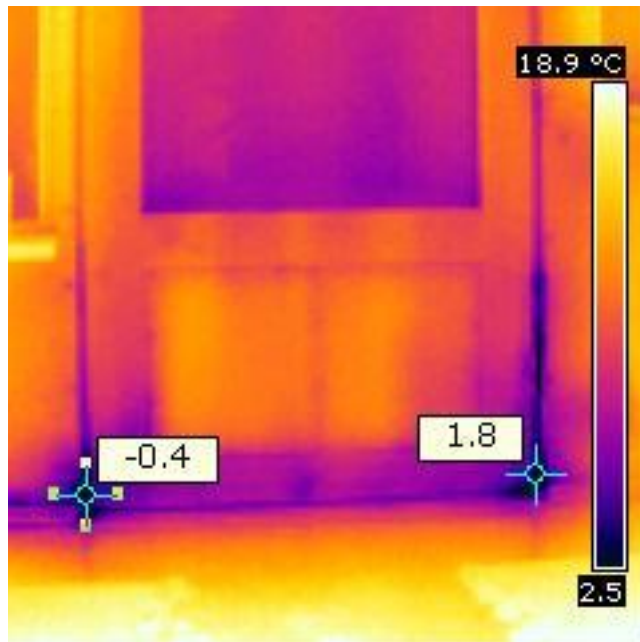
2.1 Lämpökamera

Lämpökameroita on ollut kaupallisilla markkinoilla saatavilla 1960-luvulta lähtien. Suomessa lämpökameroita on käytetty esimerkiksi rakennusten lämpökuvauksiin 1970-luvulta lähtien. 1980-luvulle asti kuvausyksiköt olivat todella suuria ja epäkäytännöllisiä, mutta 1990-luvun alussa tekniikka kehittyi paljon. Lämpökameroista saatiin pienempiä ja käytännöllisempiä sekä kuvaustekniikka kehittyi, joten ne sopivat paremmin myös yleiseen käyttöön. Nykyiset lämpökamerat (kuva 1) ovat nykyisin tärkeitä apuvälineitä rakennusten ja koneiden kunnossapidossa. [1]



Kuva 1. Lämpökamerat. Vasemmalla EasIR™-0 ja oikealla Guide ThermoPro TP9.

Lämpökamera vastaanottaa lämpösäteilyä. Se mittaa kohteesta lähtevän lämpösäteilyn, infrapunasäteilyn, voimakkuutta ja muuttaa sen lämpötilatiedoksi. Näin saadaan digitaalinen kuva lämpötilaeroista. Kuvassa 2 esitetään oven huonot tiivistykset. Tämä näkyy kuvassa sinisenä värinä sekä otettaessa piste-kohtaiset lämpötilat, jotka kuvassa ovat $-0,4\text{ °C}$ ja $1,8\text{ °C}$.

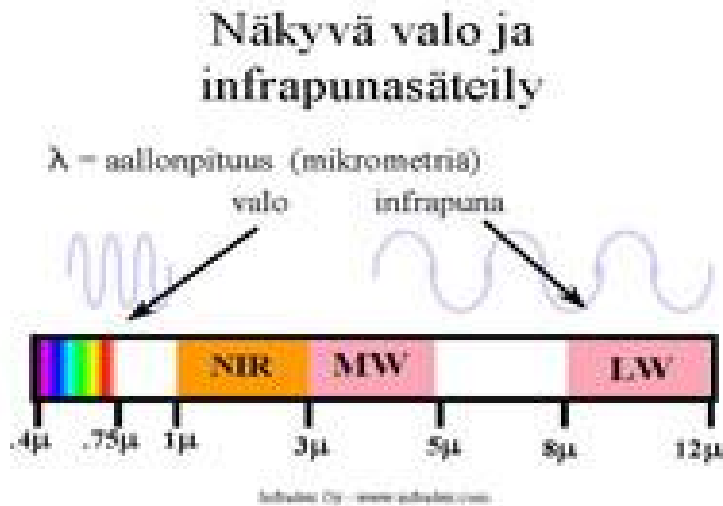


Kuva 2. Digitaalinen lämpökamerakuva. Pistemäiset lämpötilat näkyvät kuvan alareunassa.

Lämpökameroiden kuva vaihtelee riippuen kameran käyttötarkoituksesta. Tärkeimpiä ominaisuuksia lämpökamerassa ovat kuvan terävyys sekä ilmaisimien herkkyys ja nopeus. Pelkässä peruskamerassa näkyy yleensä vain kuvatun kohteen lämpötila erot väreinä ja kuvan sivussa olevasta asteikosta. Kehittyneemmissä kameroissa on paljon erilaisia toimintamalleja, jolloin saadaan mm. kuvatun kohteen emissiivisyys selville.

Koska ilmakehän vesihöyry ja hiilidioksidi imevät lämpösäteilyä osan lyhyillä infrapunaa aallonpituuksilla sekä tietyillä aallonpituuksilla lämpösäteily häviää lähes kokonaan, lämpökamerat rakennetaan näyttämään ilmakehässä olevien ikkunoiden läpi. Puhutaan lyhyt- (NIR), keski- (MW) ja pitkäaaltoalueesta (LW), joiden aallonpituus on ihmisille näkyvän valon yläpuolella (kuva 3). Keskiaaltoalueella kappaleiden emissiivisyys on pienempi ja säteilyenergian erot ovat huomattavat. Keskiaaltoalue kattaa 3-5 μm . Pitkäaaltoalueella on muita alueita enemmän lämpösäteilyä, kun mitattavan kohteen lämpötila on alle 100 °C. Pitkäaaltoalue kattaa 8-12 μm . Lyhytaaltoalueella (1-3 μm) ollessa ei havaita kappaleen itse lähetettyä lämpösäteilyä, jos kappaleen lämpötila on alle 650 °C. Tämän takia pimeänäkökameroita ei voi käyttää lämpökuvaukseen. Pimeänäkökamerat havaitsevat silmälle näkymätöntä valoa eikä kappaleen emit-

toimaa säteilyä. NIR aluetta hyödynnetään esimerkiksi kaukosäätimissä ja matkapuhelimien langattomassa tiedonsiirrossa. NIR aluetta käytetään myös rikospaikkatutkinnoissa ja valvontakameroissa. [5]



Kuva 3. Näkyvä valo ja infrapunasäteily.

2.2 Lämpökamerakuvaaminen

Lämpökamerakuvaus hyödyntää infrapunasäteilyä eli lämpösäteilyä. Lämpökameran avulla saadaan selville kappaleen tai kohteen ulkoiset lämpötilat, kohteen kunto, laatu ja lämmön säteilyn määrä sekä ympäristön heijastukset rikkomatta rakenteita. Lämpökamerakuvausta voidaan käyttää yhtenä tutkimusmenetelmänä rakennusten kuntotarkastuksissa ja laadunvalvontatutkimuksissa. Suomessa lämpökamerakuvausta on käytetty rakennusten tarkastuksissa yli 20 vuoden ajan. [1 s. 9]

Lämpökamerakuvausta käytetään yleisesti rakennuksien lämpövuotojen tarkistamiseen, teollisuuden kunnossapitoon, elektroniikan suunnitteluun, sähköjärjestelmien huoltoon sekä kunnossapitoon ja lämpöverkostoihin. Muita käyttökohteita ovat esimerkiksi rakennusten pinnan alla olevien lämpöputkien summittaiset havaitsemiset sekä kosteusvauriot rakennuksissa. [3]

2.3 LED-valaistus

LED-valo, lyhenne tulee englannin kielen sanoista Light Emitting Diode, on valoa lähettävä diodi, joka sai alkunsa fyysikko Nick Holonyak Juniorin ansiosta vuonna 1962. Holonyak tutki galleniumarsenidia laboratoriossaan ja tutkimuksensa aikana huomasi, että jos galleniumarsenidiin lisätään fosforia, se alkaa säteillä infrapunasäteilyn sijaan silmälle näkyvänä valona.



Kuva 4. LED-valaisin.

2015 markkinoilta poistuu EU-direktiivin määräämä katujen ja puistojen yleisessä käytössä oleva elohopeahöyrylamppu. Sitä käytetään myös yleisesti kiinteistöjen piha- sekä seinävalaisimissa. Niiden tilalle pidetään vaihtoehtona LED-valaistusta. Jyväskylän kaupunki on vakavasti harkitsemassa tätä vaihtoehtoa siirtyä ulkovalaistuksena LED-valaistukseen. LED-valot ovat myös yleistymässä sisätiloissa. Niiden etuna on esimerkiksi pitkä käyttöikä, joka on jopa 30 000 tuntia. Lisäksi niiden energiatehokkuus on korkeampi kuin energiansäästölampulla. LED-valolla saadaan kotikäyttöön parhaimmillaan noin 75 lm/W, kun energiansäästölampulla sama tulos on noin 60 lm/W. LED-valot ovat alkaneet yleistyä myös julkisissa rakennuksissa ja tiloissa niiden soveltuvuudesta erilaisiin ratkaisuihin esimerkiksi yleisvalaistukseen, tilojen koristamiseen tai tuotteiden esillepano. [6. s.18-21]

2.4 Infrapunäsäteily ja emissiivisyys

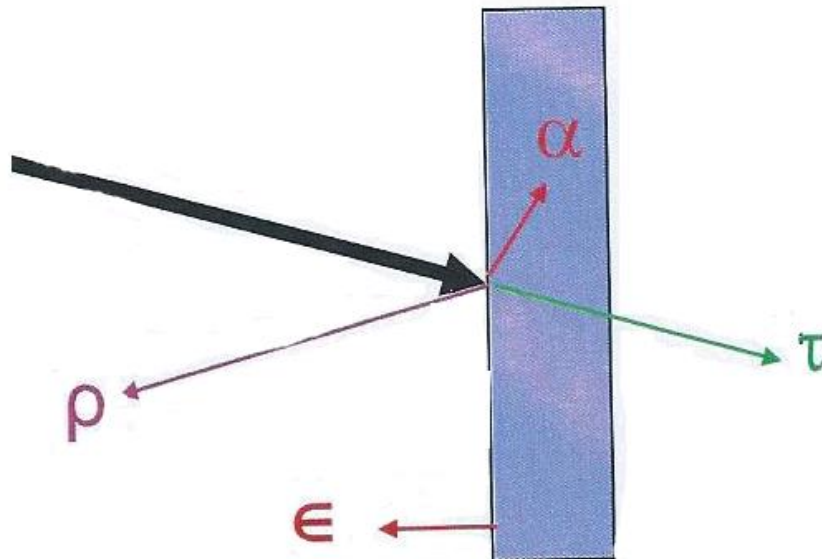
Infrapuna löydettiin vahingossa, kun Sir William Herschel yritti etsiä uutta optista suodatinmateriaalia. Tämän avulla olisi voitu vähentää teleskooppikuvan kirkkautta auringon tutkimisen aikana. Tutkimuksen aikana Herschel huomasi joidenkin eri väristen lasien läpäisevän auringon lämpöä vain vähän ja toisten läpäisevän niin, että silmät oli suojattava vain muutaman sekunnin tarkkailun ajaksi. Herschel lähti toistamaan Newtonin prismakoetta, mutta kiinnitti enemmän huomiota lämpövaikutuksiin, kun taas Newton keskittyi spektrien näkyvien alueiden voimakkuuksien jakautumiseen. Julkistaessaan tutkimuksensa Herschel kutsui aluetta termospektriseksi spektriksi ja säteilyä pimeäksi lämmöksi. Infrapuna- nimitys tuli vasta 75 vuotta myöhemmin ja sanan keksijästä ei ole tietoa. [5]

Infrapuna on näkyvää valoa pitkäaaltoisempi sähkömagneettinen säteily. Valon alueen lähintä esiintyvää infrapunäsäteilyä kutsutaan lähi-infrapunaksi (NIR, joka tulee englannin kielen sanoista Near InfraRed). Lämpösäteily (MW,LW) on säteilyä, joka on lähi-infrapunäsäteilyä pitkäaaltoisempaa. Lämpösäteilyä lähetävät kaikki kappaleet, joiden lämpötila on enemmän kuin absoluuttisen nollapisteen eli $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lämpösäteily liikkuu valon nopeudella. [5]

Emissiokerroin, josta käytetään symbolia ϵ (epsilon) kertoo kuinka paljon kappaleen tai kohteen pinnasta lähtevä säteily on sen omaa ja kuinka paljon on ulkoista säteilyä. Materiaalin pinnan emissiivisyys ilmoitetaan emissiivisyyskerrotimeksi joka on aina 0-1 välillä ja ilmoitetaan desimaalina. Esimerkiksi alumiinin emissiivisyys on noin 0,09 (liite 1). Mitä suurempi kappaleen emissiokerroin on, sitä vähemmän kappale heijastaa ympäristönsä energiaa ja sitä enemmän säteilee lämpöä. Tasapainossa ympäristönsä kanssa oleva kappale emittoi yhtä paljon energiaa kuin se sitä absorboi (kuva 5). Kappaleen alkaessa jäähtyä tai lämmetä, emission ja absorption keskinäinen suhde on muuttunut. (5). Kun infrapunäsäteily osuu kohteeseen, osa siitä heijastuu (ρ eli rho), osa imeytyy lämpönä (α eli alpha) ja osa kulkeutuu kappaleen läpi (τ eli tau). Kappaleen ollessa tasapainossa ympäristönsä kanssa, saadaan näin yhtälöksi $\rho + \alpha + \tau = 1$. Tie-

tyllä aallonpituudella emissiivisyys = jolloin kaava on $\rho + \alpha + \tau = 1$. Jos kohde on läpinäkymätön eli $\tau = 0$ jolloin saadaan $\rho = 1 - \alpha$.

[7]



Kuva 5. Infrapunasäteily.

Täydellistä säteilijää, kutsutaan nimellä +musta laatikko+ eli emissiokertoimen ollessa yksi, lukuun ottamatta jokainen kappale heijastaa muista lähteistä tulevaa säteilyä. Koska kappaleitten pintamateriaalien rakenne on erilaista, niiden itse lähetetty eli emittoitu säteily vaihtelee. Metalliset paljaat pinnat heijastavat paljon enemmän ympäristönsä energiaa kuin emittoivat. Tämän takia kiiltäviä metalleja ei voida mitata matalissa lämpötiloissa ollenkaan. [1. s.17]

3 Lämpökameran käyttö tutkimuksessa ja kuvat

Tutkimuksen aikana pyrittiin sulkemaan ulkopuoliset vaikuttimet laboratorioissa ulkopuolelle. Tähän päästiin esimerkiksi sulkemalla kohteet laatikon sisälle, jolloin ulkoiset pinnat eivät päässeet häiritsemään mittaustuloksia. Mittauksissa käytettiin erilaisia LED-valoja eri ampeeri asetuksilla. LED-valoja testattiin muovikotelon kanssa ja ilman sitä. Muovikotelo kiinnitettiin LED-valoon kiinni kuu-

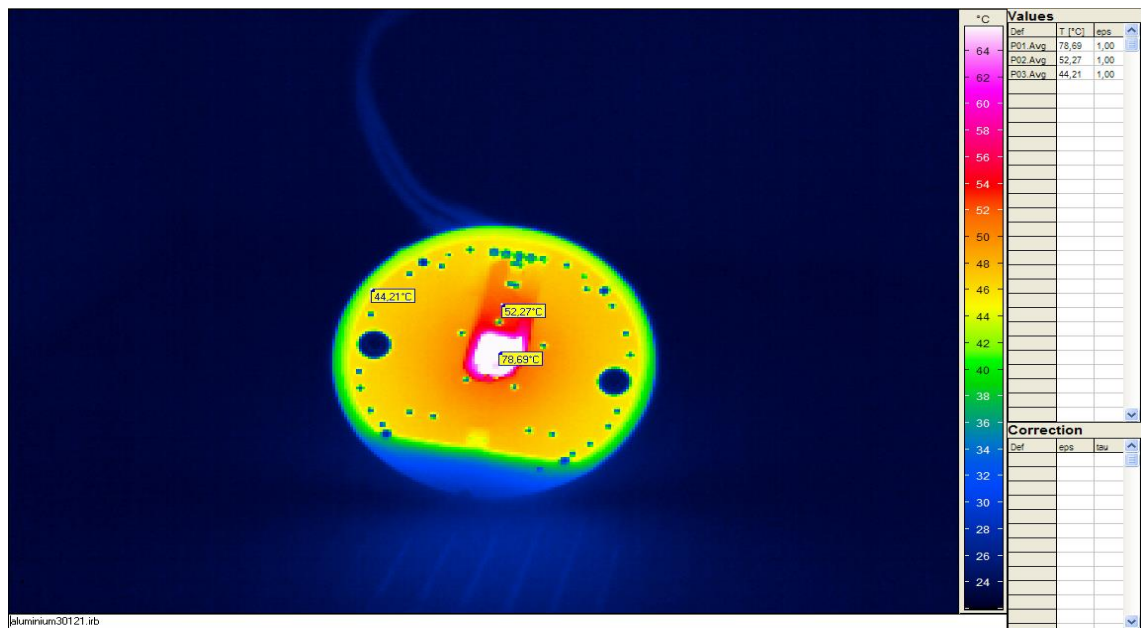
maliimalla. Tulokset olivat vaihtelevia, johtuen piirilevyjen väristä ja ilmanvaihdosta, eli oliko LED-valo suljetussa tilassa vai vapaana. Valot olivat merkiltään XM-L 5.5-11 ja XPE 7.11.11. LED XM-L 5.5-11 piirilevy oli valkoinen ja LED XPE 7.11.11 oli musta. Ilman lämpötila oli mittausten ajan noin 23 °C. Mittausaika oli noin 20 minuuttia kappaletta kohti, jossa otettiin kuvasarja 5 minuutin välein. Tällöin varmistettiin, että LED-valon kuumeneminen alkaisi näkyä levysissä ja muovikotelossa. Ampeerimäärinä oli 250-700 mA. Diagrammit kertoivat kaikki saman, että lämpötila nousee nopeasti 15 minuutin aikana, jonka jälkeen se tasoittui.

Laboratoriossa tutkimuksen aikana käytettiin Infratec VarioCAM- lämpökameraa joka on samanlainen kuin kuvassa 6. Kameralla kuvattiin noin 20 cm päästä kohteesta LED-valoa joka oli kytkettynä virtalähteeseen. LED-valo oli asetettu tasaiselle pöydän pinnalle. Kamera oli asetettu jalustalle välttääksemme mahdollisia heilahduksia, jotka voisivat pilata kuvan tallentamisen. Kohteena oleva valo pyrittiin sulkemaan mahdollisimman tiiviisti laatikon sisälle, jotta ainoastaan kohteesta lähtevä säteily tallentuisi kuvauksen aikana (laboratorio-olosuhteet näkyvät kuvassa 7). Tätä on lähes mahdoton suorittaa kyseisillä varusteilla, mutta pyrimme mahdollisimman tarkkaan työhön ja onnistuimme siinä mielestäni varsin hyvin. Laatikkona käytimme tavallista kartonkipahvilaatikkoa. Kuvien tallentamisen jälkeen ne siirrettiin tietokoneelle. Tietokoneella kuvia pystyi havainnoimaan tarkemmin IRBIS Professional- ohjelmalla, jolla tarkastimme kohteen maksimi- ja minimilämpötilapisteet sekä kuinka lämpö oli jakautunut kohteen pinnalle. Ohjelmaa hyväksi käyttäen kohteesta sai otettua halutut tulokset ja siirrettyä ne jatkotutkimuksiin.

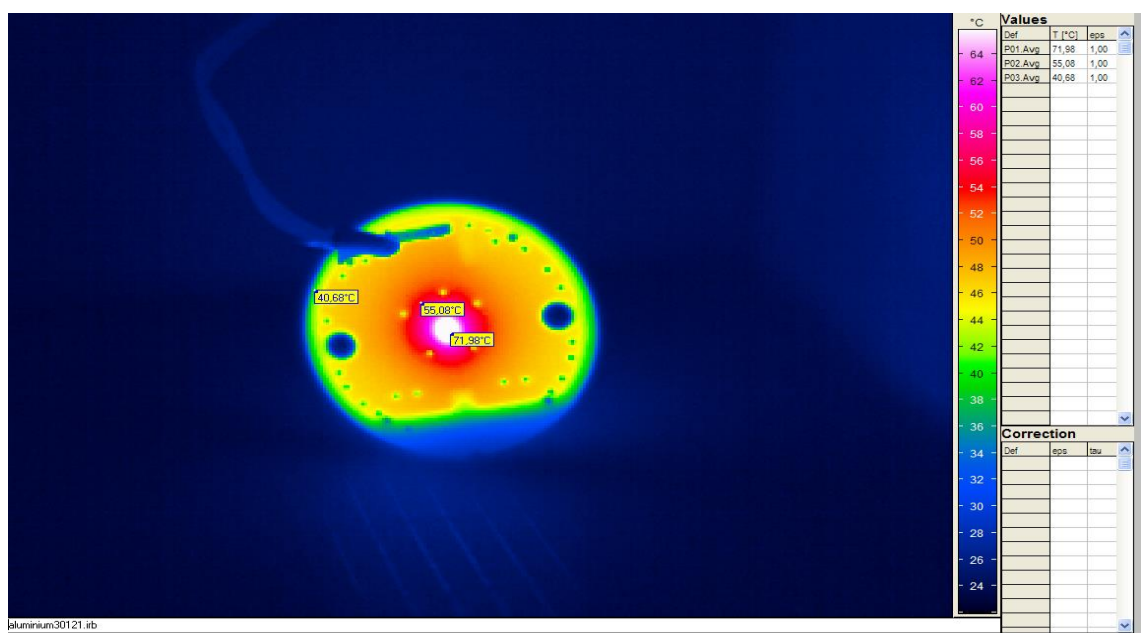


Kuva 6. Lämpökameran leikkaus.

Nostettaessa ampeerimäärä arvoon 500mA, valkoisella piirilevyllä olevaa LED XM-L 5.5-11 ilman muoviosaa kuvatessa huomattiin että lämpötila kohosi keskusosassa paljon korkeammalle kuin kotelon kanssa. Lämpötilan nouseminen korkeammalle johtui virtamäärän nostamisesta. Lämpö ei myöskään jakautunut tasaisesti levyllä, vaan keskittyi LED-valon ympärille jättäen alaosan viileämmäksi (kuva 13). Takaosassa tapahtui hieman pienempi lämmön nousu verrattuna etuosaan (kuva 14).



Kuva 13. LED XM-L 5.5-11 edestä.

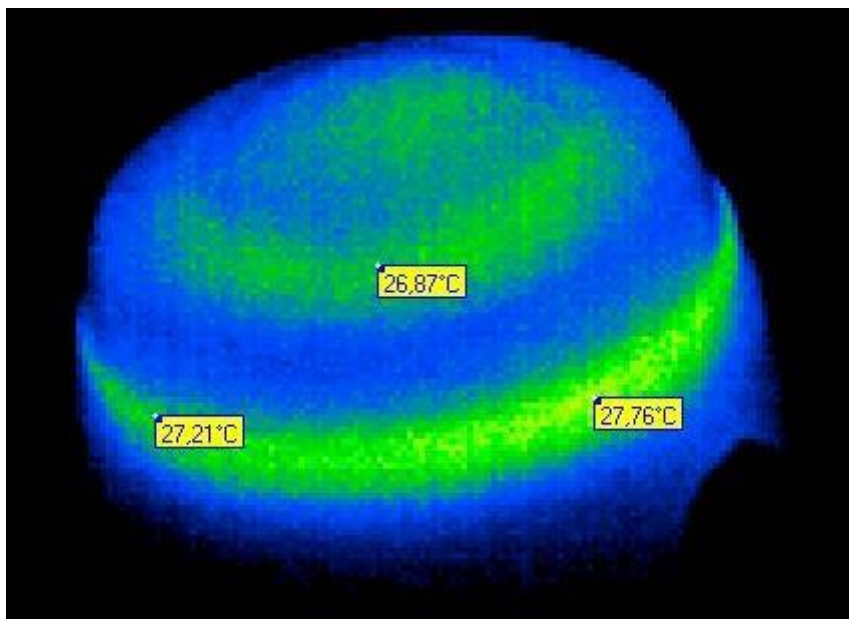


Kuva 14. LED XM-L 5.5-11 takaa.

4 Tulosten tutkinta

Tutkittuamme käytettävissä olleet valaisimet eri tavoilla ja eri virtämäärillä, tulokset viittasivat mustan LED-valon lämpenevän paljon vähemmän kuin valkoisen. Samoin lämpö jakautui paljon tasaisemmin mustassa valossa. Valkoisen kohdalla lämpö keskittyi paljon enemmän keskiosaan valon ympärille. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että valkoinen kohde heijastaa enemmän säteilyä muista kohteista kuin itsestään, joten tämä vaikuttaa mittaustuloksiin. Musta kohde heijastaa suurimmaksi osaksi säteilyä vain itsestään, jolloin tuloksia on helpompi ja varmempi tutkia.

Tutkimuksissa jouduttiin käyttämään paljon soveltamista sopivien tilojen tekemiseksi, joten tulokset eivät ole tarkkoja. Näistä saadaan kuitenkin hyvät lähtökohdat piirilevyjen lämmönjakautumiselle, jolloin jatkotutkimuksilla voidaan valita sopivat materiaalit ja LED-valot kyseiselle projektille. Tulosten jatkotutkimuksessa tulee ottaa huomioon muoviosien materiaalin kestävyys ja LED-valojen virran kestävyys sekä huomioida että piirilevyn koskettamista kohdista muovikotelossa lämpö pääsee vaikuttamaan enemmän kuin kohdista missä on ilmaa välissä (kuva 16).



Kuva 16. Muovikotelo sivusta kuvattuna.

5 Pohdintaa

Työn tarkoituksena oli tutkia lämpötilamuutoksia LED-valoissa muovikotelon sisällä. Kohdetta voi käyttää esimerkiksi varastoissa hätävalaistuksena. Käytännön tutkiminen tehtiin laboratorio oloissa, jolla yritettiin saada mahdollisimman oikeat olosuhteet. Työ oli haastavaa, varsinkin kun tutkimuksen alku suoritettiin ulkomaalaisen vaihto-opiskelijan kanssa yhteistyönä. Tämä johti lieviin sekaannuksiin, koska kielenä käytettiin muuta kuin äidinkieltä. Tutkimusta vaikeutti myös oikeiden olosuhteiden luonti, jossa onnistuttiin mielestäni kohtuullisesti ja tätä pyrittiin selventämään lämpökamerakuvilla ja diagrammeilla lämpötilan noususta ja leviämisestä kappaleissa.

Työn teoriaosuus osoittautui hankalaksi lähdemateriaalien etsimisen aikana, koska sopivaa kirjallisuutta etenkin LED-valaistuksesta oli vaikea löytää. Kirjallisuudessa viitattiin vain ohimennen asiaan, joten pohjatieto jäi hiukan vajaaksi.

Jälkeenpäin ajateltuna työn toteuttaminen olisi ollut helpompaa, jos pohjatietoa olisi ollut helpommin saatavilla. Teoriaosuus jäi osittain niukaksi, mutta laboratoriotuloksia saatiin hyvin kasaan. Työssä saatiin selville, että LED-valon lämpötila näissä olosuhteissa ei nouse hälyttävän korkealle, joten materiaalin valinta pitäisi osoittautua tarpeeksi helpoksi. Jatkotutkimuksissa tulisi ottaa huomioon virran määrän lisääminen ja käyttötarkoituksen ympäristö. Koska työ rajoittui vain lämpötilojen havainnoimiseen, työn tulosten hyödyntämisestä on vaikea tietää tätä kirjoittaessa.

Lähteet

1. Sauli Paloniitty ja Timo Kauppinen 2006, Rakennusten lämpökuvaus
2. Priimax Oy <http://www.priimax.fi/lampokuvausesite.pdf> 17.1.2013
3. Fluke Corporation
<http://www.fluke.com/fluke/fifi/sovellukset/lampokuvaus/default.html> 23.1.2013
4. Infradex Oy, <http://www.infradex.com/kuinka.html> 20.4.2013
5. Infradex Oy <http://www.infradex.com/teoria.html> 20.4.2013
6. Siru Väisänen, Rakennustaito 10/2012, Ledit tulevat puistoihin ja pihalle
7. Fluke Corporation, Fluke TiR- / Ti-sarjan käyttökoulutus ja lämpökuvauksen teoriaa.

Materiaalien emissiokertoimia



Emissivity values of common materials

Material	Emissivity*	Material	Emissivity*
Aluminum, polished	0.05	Iron, wrought, polished	0.28
Aluminum, rough surface	0.07	Lacquer, Bakelite	0.93
Aluminum, strongly oxidized	0.25	Lacquer, black, dull	0.97
Asbestos board	0.96	Lacquer, black, shiny	0.87
Asbestos fabric	0.78	Lacquer, white	0.87
Asbestos paper	0.94	Lampblack	0.96
Asbestos slate	0.96	Lead, gray	0.28
Brass, dull, tarnished	0.22	Lead, oxidized	0.63
Brass, polished	0.03	Lead, red, powdered	0.93
Brick, common	0.85	Lead, shiny	0.08
Brick, glazed, rough	0.85	Mercury, pure	0.10
Brick, refractory, rough	0.94	Nickel, on cast iron	0.05
Bronze, porous, rough	0.55	Nickel, pure polished	0.05
Bronze, polished	0.10	Paint, silver finish**	0.31
Carbon, purified	0.80	Paint, oil, average	0.94
Cast iron, rough casting	0.81	Paper, black, shiny	0.90
Cast iron, polished	0.21	Paper, black, dull	0.94
Charcoal, powdered	0.96	Paper, white	0.90
Chromium, polished	0.10	Platinum, pure, polished	0.08
Clay, fired	0.91	Porcelain, glazed	0.92
Concrete	0.92	Quartz	0.93
Copper, polished,	0.01	Rubber	0.93
Copper, commercial burnished	0.07	Shellac, black, dull	0.91
Copper, oxidized	0.65	Shellac, black, shiny	0.82
Copper, oxidized to black	0.88	Snow	0.80
Electrical tape, black plastic	0.95	Steel, galvanized	0.28
Enamel **	0.90	Steel, oxidized strongly	0.88
Formica	0.93	Steel, rolled freshly	0.24
Frozen soil	0.93	Steel, rough surface	0.96
Glass	0.92	Steel, rusty red	0.69
Glass, frosted	0.96	Steel, sheet, nickelplated	0.11
Gold, polished	0.02	Steel, sheet, rolled	0.56
Ice	0.97	Tar paper	0.92
Iron, hot rolled	0.77	Tin, burnished	0.05
Iron, oxidized	0.74	Tungsten	0.05
Iron, sheet galvanized, burnished	0.23	Water	0.98
Iron, sheet, galvanized, oxidized	0.28	Zinc, sheet	0.20
Iron, shiny, etched	0.16		

*Emissivities of almost all materials are measured at 0 °C but do not differ significantly at room temperature.

**Paint, silver finish is measured at 25 °C and Paint, enamel at 27 °C

Fluke. Keeping your world up and running.®

Fluke Corporation
PO Box 9090, Everett, WA 98206 U.S.A.
Fluke Europe B.V.
PO Box 1186, 5802 BD
Eindhoven, The Netherlands

Modification of this document is not permitted without written permission from Fluke Corporation.

For more information call:
In the U.S.A. (800) 443-8853 or
Fax (425) 446-5116
In Europe/M-East/Africa +31 (0) 40 2675 200 or
Fax +31 (0) 40 2675 222
In Canada (800)-36-FLUKE or
Fax (905) 890-8866
From other countries +1 (425) 446-5500 or
Fax +1 (425) 446-5116
Web access: <http://www.fluke.com>

©2009 Fluke Corporation.
Specifications subject to change without notice.
Printed in U.S.A. 12/2009 30383188 H-EM-N



Esimerkkikuva käyttötarkoituksesta

