

**KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU
TEKNIikka**

Tuuttu Matti

**Esiselvitys teholedien hyödyntämisestä konenäkösovel-
luksissa**

Sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Automaatiotekniikka
Kemi 2011

ALKUSANAT

Kiitän aivan aluksi ystäviä ja sukulaisia kannustuksesta ja ymmärtäväsyydestä. Kiitän myös Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitysyksikön Harri Pikkaraista työn annosta ja ohjaamisesta. Kiitän tutkimus - ja kehitysyksikön optisen mittaustekniikan laboratorion työntekijöitä avusta sekä erityiskiitos Juha Maroselle. Kiitokset myös Vesa-Pekka Aulalle autocadin kuvien avustuksesta.

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö	
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Matti Tuuttu
Opinnäytetyön nimi	Esiselvitys teholedien hyödyntämisestä konenäkösovelluksissa
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	12.4.2011
sivumäärä	47
Opinnäytetyön ohjaaja	Projektipäällikkö Harri Pikkarainen
Yritys	Kemi-Tornion AMK:n tutkimus- ja kehitysyksikkö
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	Projektipäällikkö Harri Pikkarainen

Työn tavoitteena oli tutkia ja selvittää teholedien soveltuvuutta konenäköjärjestelmän valaisukomponenttina.

Työssä tehtiin esiselvitys teholedeistä sekä selvitettiin niiden mahdollista käyttöä konenäköjärjestelmässä. Esiselvityksessä tutkittiin markkinoilla saatavissa olevat teholedit sekä niiden ominaisuudet. Selvitykseen kuului myös tutkia teholedien lämmönhallinta ja virransyöttötekniikat. Selvityksen jälkeen tehtiin kokeelliset tutkimukset. Kokeellisissa kokeissa vertailtiin valonlähteitä keskenään ja näiden intensiteettiä. Tutkittiin myös linssien vaikutusta teholedien valokuvioon ja intensiteettiin.

Työn tuloksena syntyi esiselvitys markkinoilla olevista teholedeistä sekä vastaukset valonlähteiden paremmuuteen.

Kokeelliset tulokset osoittivat, että teholedit ovat huomattavasti kirkkaampia kuin vertailtavat muut valonlähteet.

Asiasanat: Led, konenäkö, valaisu.

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Electrical Engineering
Name	Matti Tuuttu
Title	Research of Utilization of Power Leds in Machine Vision Systems
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	12 April 2011
Pages	47
Instructor	Harri Pikkarainen, Project manager
Company	Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Research And Development Unit
ContactPerson/	Harri Pikkarainen BSc

The goal was to explore and research the compatibility of power leds for lightning of machine vision system.

The research of power leds and the use of power leds as lightning of machine vision system was explored during the thesis. Research was done by searching qualities of available power leds of market area. The research also included examination of the thermal management and power supply technologies of the power leds. After the research it was time for experimental studies. In experimental studies light sources and their intensity were compared with each other. Also the effect for power leds light pattern and intensity with lenses were examined in experimental studies.

Result of this thesis is a pre-study of commercially available power leds and responses to the superiority of light sources.

The experimental results showed that power leds are much brighter than other light sources which were compared.

Keywords: Led, Machine vision, Lighting

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	I
TIIVISTELMÄ	II
ABSTRACT	III
SISÄLLYSLUETTELO	IV
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	VI
1. JOHDANTO	1
2. KONENÄKÖ JA VALAISU	2
2.1. Konenäkö	2
2.2. Konenäköjärjestelmän komponentit	3
2.2.1. Kamera	4
2.2.2. Optiikka	4
2.2.3. Syvyysterävyysalue	5
2.2.4. Optiset vääristymät	6
2.2.5. Erikoislinsit	6
2.2.6. Kuvankäsittely	7
2.2.7. Valaistus	8
2.2.8. Mittausohjelmisto	8
2.2.9. Ohjausjärjestelmä	9
2.2.10. Käyttöliittymä	9
2.3. Valo	9
2.3.1. Spektri	9
2.4. Valaistussuureet	10
2.4.1. Valovoima	10
2.4.2. Valovirta	11
2.4.3. Valaistusvoimakkuus	12
2.4.4. Valomäärä	12
2.4.5. Luminanssi	13
2.5. Valaistusmenetelmät	13
2.5.1. Strukturoitu valaistus	13
2.5.2. Suunnattu valaistus	14
2.5.3. Diffuusi etuvalaistus	15
2.5.4. Diffuusi taustavalaisu	16
2.5.5. Pimeä kenttävalaisu	16
2.5.6. Salamavalaisu eli strobo	17
2.6. Heijastus- ja läpäisy-suhteet	17
3. TEHOLEDIN LÄMMÖNHALLINTA JA VIRRANSYÖTTÖ	19
3.1. Lämmön johtuminen	19
3.2. Energia ledissä	20
3.3. Lämmön vaikutus lediin	21
3.4. Lämmön vaikutuksen vähentäminen	21
3.5. Jäähdytyksen mitoittaminen	22
3.6. Virransyöttö teholedille	25
3.7. Esimerkki vakiovirtalähteen toiminnasta	25
3.8. Esimerkki käyttöjännitteestä	27
4. SELVITYS TEHOLEDEISTÄ	29

4.1.	Bridgelux, Array, BXRA-C4500-00000	30
5.	VALAISUKOKEET	33
5.1.	Valaistuksen voimakkuuden mittaaminen	34
5.2.	Intensiteetin mittaus	36
5.3.	Linssitesti	39
5.3.1.	Käytännön testaus	42
5.3.2.	Tulos.....	44
6.	YHTEENVETO	46
7.	LÄHDELUETTELO	47

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

TKI	Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta
LED	Light-Emitting Diode = ledi
IR-SÄTEILY	Infrapunasäteily

1. JOHDANTO

Työn tavoitteena oli tehdä esiselvitys markkinoilla olevista teholedistä ja niiden ominaisuuksista sekä vertailla teholedejä ja muita valonlähteitä.

Työn tarkoituksena oli esiselvittää teholedien käyttöä konenäköjärjestelmien valaisukomponentteina. Työn lähtökohtana oli tutkia ensin konenäköjärjestelmää teoriassa ja tämän jälkeen eri valaistuksia sekä sitä, miten ne toimivat. Tämän jälkeen selvitettiin teholedien saatavuus sekä valittiin saatavilla olevista teholedistä paras. Tavoitteena oli tutkia erilaisien linssien ja peilien toimivuutta teholedin kanssa. Parhaalla teholedillä tutkittiin ja kehitettiin, miten ne toimivat tiettyjen peilien ja linssien kanssa.

Työ tehtiin Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitysyksikön tiloissa. Laitteistot ja muut tarvittavat työkalut olivat valmiina optisen mittaustekniikan laboratoriossa, jossa työ varsinaisesti rakennettiin ja testattiin.

Konenäöllä tarkoitetaan koneen kykyä nähdä ja tulkita näkemäänsä. Teknisessä mielessä se on kuvien automaattista ottamista, analysointia ja päätelmien tekemistä. Yleensä konenäköä käytetään teollisuudessa, mutta tekniikka soveltuu myös muihinkin tarkoituksiin. Konenäössä yksi tärkeä elementti on valaistus. Valaistuksella tarkoitetaan sitä, miten kuvattava kappale valaistaan ja mistä suunnasta. Teholedit ovat hyötysuhteeltaan paljon parempia kuin muut markkinoilla olevat valonlähteet. Teholedien hinnat ovat laskeneet huomattavasti, joten niitä käytetään nykyään paljon. Hyvän hyötysuhteen ansiosta ledit ovat yleistyneet päivittäisessä käytössä. Teholedien käytön mahdollisuudet ovat lähes rajattomat.

Työssä esitän konenäön ja valaisun teoriaa, joka on esitetty kappaleessa kaksi. Kappaleessa kolme on käyty läpi virransyöttöä teholedillä sekä teholedien lämmönhallintaa. Neljännessä kappaleessa on esitetty varsinainen selvitys teholedistä. Lopuksi kappaleessa viisi ovat valaisukokeet ja niiden tulokset.

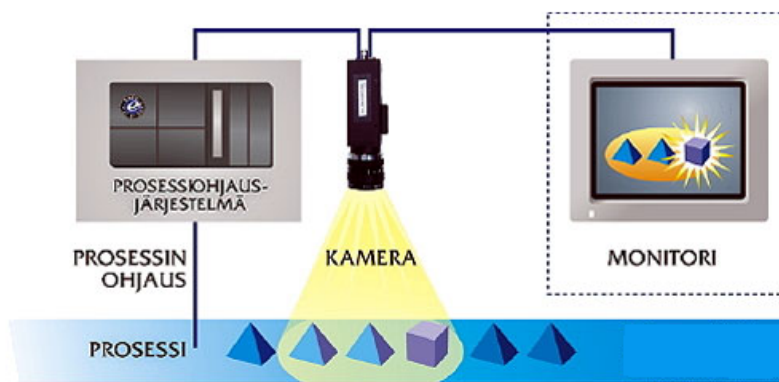
2. KONENÄKÖ JA VALAISU

Seuraavaksi käydään yleisesti läpi teoriaa konenäköjärjestelmistä sekä erilaisista valaistusmenetelmistä. Lisäksi kerrotaan myös valosta, optiikasta ja niihin liittyvistä käsitteistä.

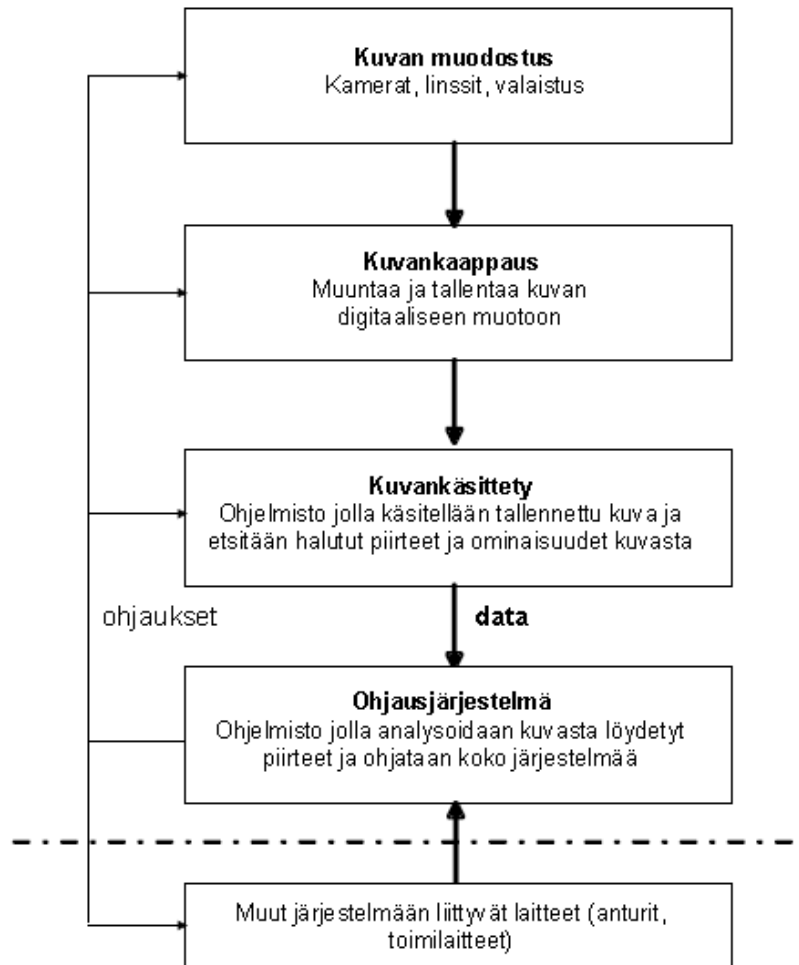
2.1. Konenäkö

Konenäköllä tarkoitetaan kuvaustapahtumaa, josta voidaan matemaattisten mallien avulla tehdä erilaisia havaintoja. Konenäköjärjestelmien matemaattisten mallien ratkaisemiseen tarvitaan tietokonepohjaisia laskentaohjelmia, joten tästä syystä konenäköjärjestelmien yleistyminen on alkanut teollisuudessa vasta viimeisen kymmenen vuoden aikana. Konenäköjärjestelmän keskeisimpiä käsitteitä ovat kuvanmuodostuminen ja kuvankäsittely. Kuvanmuodostuksessa kamera muodostaa kuvan, jonka jälkeen kuvan valo muutetaan jännitesignaalksi. Jännitesignaali välitetään jatkokäsittelyprosessille, jossa kuvalle tehdään erilaisia käsittelyjä. Kuvankäsittelyssä tietokoneen tai kuvankaappauskortin prosessori laskee erilaisia matemaattisia algoritmeja. Matemaattisilla algoritmeilla pystytään vaikuttamaan kuvan ominaisuuksiin. /11/

Konenäköjärjestelmä voidaan jakaa neljään eri osaan: kuvan muodostukseen, kuvankaappaukseen, kuvankäsittelyyn ja ohjausjärjestelmään (kuva 2). Kuvassa 1 esitetty on esimerkki konenäköjärjestelmästä. /6/



Kuva 1. Esimerkki konenäköjärjestelmästä /7/



Kuva 2. Konenäköjärjestelmän osat /6/

2.2. Konenäköjärjestelmän komponentit

Konenäön toiminnan peruseriaate on kuvata näkyvän valon aallonpituudella tapahtuvia ilmiöitä. Konenäkölaitteiston peruskomponentteja ja -toimintoja ovat:

- kamera
- kuvankäsittely
- valaistus
- mittausohjelmisto
- ohjausjärjestelmä
- käyttöliittymä. /7/

2.2.1. Kamera

Kamera (kuva 3) kuvaa mitattavana olevaa kohdetta. Kamerassa on optiikka, jonka avulla tuotteesta heijastuva valo siirretään valoherkälle kennolle. Kenno varautuu sähköisesti siihen tulevan valon kirkkauden perusteella. Kenno muodostuu suuresta määrästä varausyksiköitä, joita kutsutaan pikseleiksi. Kameran resoluutio määräytyy pikselien määrän perusteella. Kennossa olevat pikselit voivat olla yhdessä rivissä eli viivana tai useassa rivissä eli matriisina. /7/



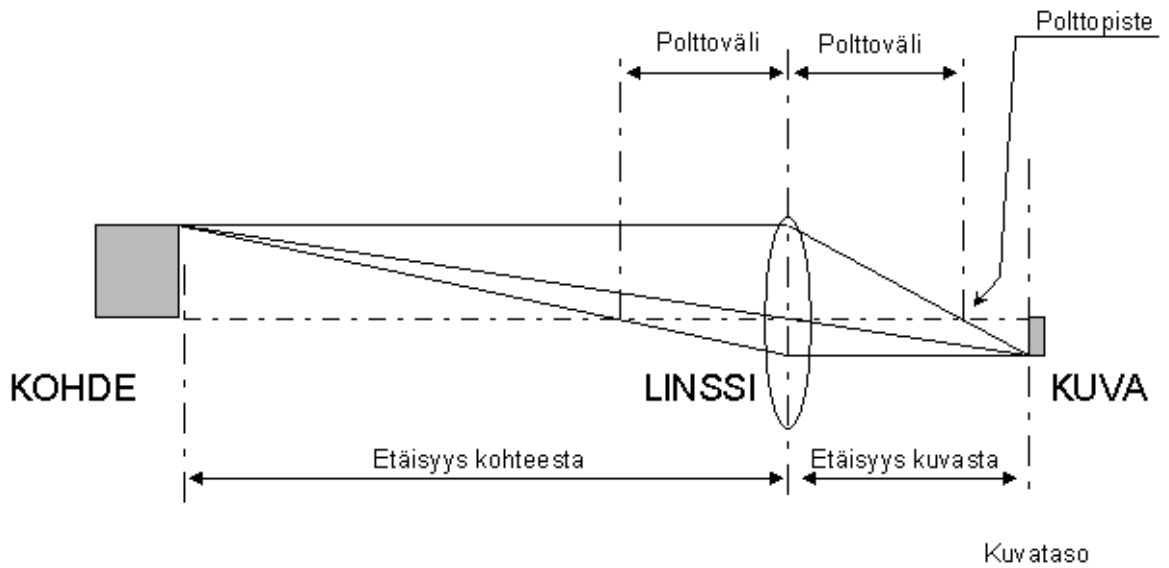
Kuva 3. Konenäkökamera /7/

2.2.2. Optiikka

Konenäköjärjestelmien optiikka muodostuu linssijärjestelmästä sekä tarkennuksen- ja autokonsäätömekanismeista. Optiikan valinta ja optisten parametria asetus on tärkeä osa konenäköjärjestelmän suunnittelua. /2/

Optiikan valinnassa ja asetuksissa tulee huomioida:

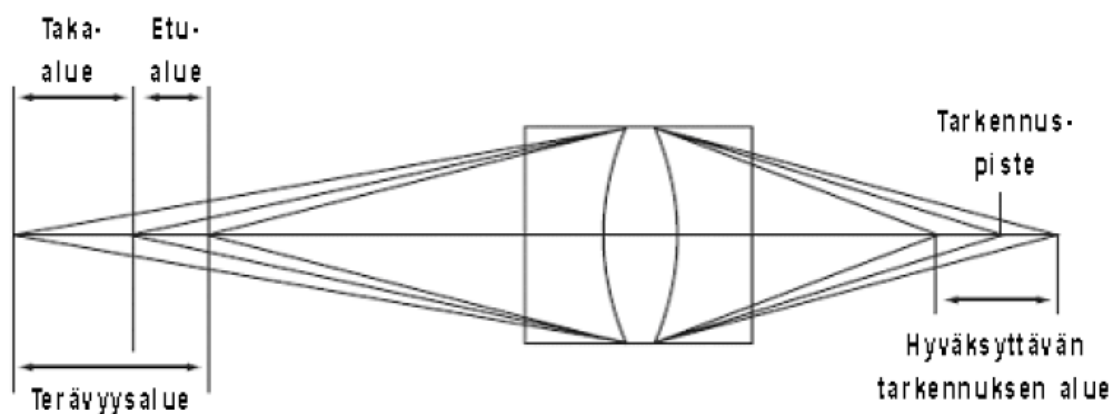
- linssijärjestelmän polttoväli
- sulkijan aukko
- linssijatkeet
- optiset vääristymät
- syvyysterävyysalue. /2/



Kuva 4. Yksinkertaistettu kuva kameran optiikasta /6/

2.2.3. Syvyysterävyysalue

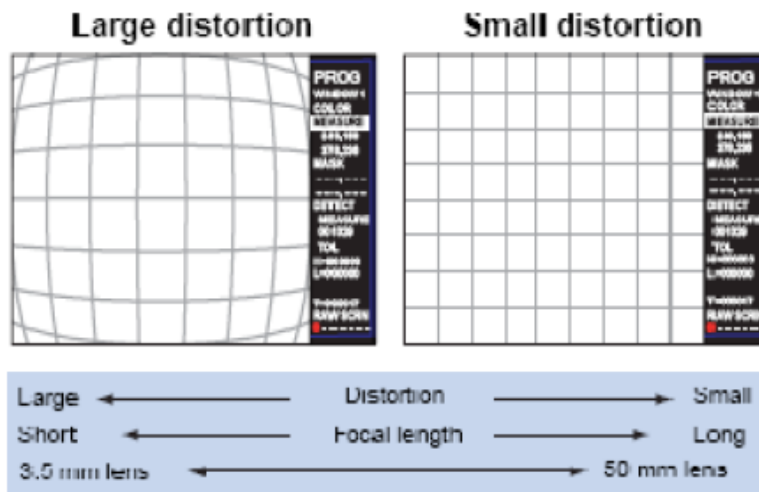
Optiikka tarkentuu tietyille etäisyydelle. Tätä etäisyyttä lähempänä ja kauempana olevat kohteet eivät kuvaudu terävästi. Etäisyysaluetta, jossa kuva tarkentuu, kutsutaan optiikan syvyysterävyysalueeksi. Kuvassa 5 on esitetty esimerkki syvyysterävyysalueesta. Kuvan keskellä oleva kuvio on kamera ja reunoilla on esitetty terävyys- ja tarkennusalueet. /3/



Kuva 5. Syvyysterävyysalue /2/

2.2.4. Optiset vääristymät

Kaikki linssit aiheuttavat kuvaan jonkin verran vääristymiä johtuen valon taittumisen pienistä eroista linssin eri kohdissa. Vääristymät ovat voimakkaimpia linssin reunoilla. Tämä korostuu erityisesti lyhyen polttovälin linsseillä. Kuvasta 6 voidaan huomioda, kuinka vääristymät ovat kuvan reunoilla. Useimmat tunnetut vääristymät ovat korjattavissa erikoislinsseillä tai ohjelmallisesti. /2/

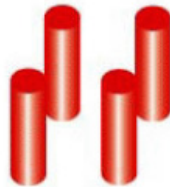
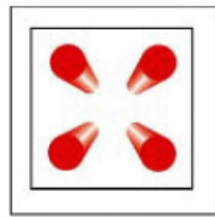


Kuva 6. Esimerkki kuvan vääristymisestä /2/

2.2.5. Erikoislinsit

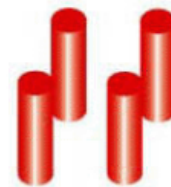
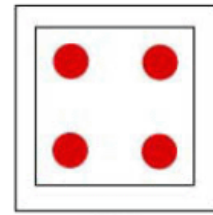
Markkinoilla on olemassa erilaisia erikoislinssejä, joilla kuvan vääristymiä voidaan korjata. Seuraavaksi on esitetty kolme erilaista erikoislinssiä.

- Zoom-linssi: moottoriohjattu polttovälin säätö, usein ominaisuuksiltaan heikompi kuin kiinteän polttovälin linssi, kuten kuvasta 7 on havaittavissa.
- Makrolinssi: rakenteeltaan optimoitu kuvaamaan kohdetta hyvin läheltä.
- Telesentrinen linssi: linssiin kohtisuorassa saapuvat valon säteet kohtaavat myös kennon kohtisuorassa (kuva 8). /2/



Perinteinen linssi

Kuva 7. Perinteinen linssi /2/



Telesentrinen linssi

Kuva 8. Telesentrinen linssi /2/

2.2.6. Kuvankäsittely

Kameralla otettu kuva siirtyy muistiin, josta sitä hyödynnetään kuvankäsittelyllä. Kuvankäsittely tuottaa tietoa mittausohjelmiston käyttöön mittauksen suorittamista varten. Kuvankäsittelyssä voidaan kuvasta erottaa tarvittava tieto ja jättää tarpeeton pois. Käsittelyn ansiosta siirrettävä informaatio vähenee, ja se nopeuttaa mittausohjelmiston ja tiedonsiirron toimintaa. /7/



Kuva 9. Kuvankäsittely /7/

Kuvassa 9 on esitetty esimerkkikuva kappaleesta, josta on erotettu tarpeeton tieto pois ja kuva on valmis analysoitavaksi.

2.2.7. Valaistus

Valaistuksella tuotetaan olosuhteet, joissa kameran suorittama kuvaaminen voi tapahtua. Tuotteiden tarkan kuvaamisen ja hyvien mittaustulosten aikaansaamisen edellytyksenä on oikea valaistus. Valaistusta valittaessa on huomioitava mittaavaatimukset sekä olosuhteet. Kesken mittauksen tehdyt muutokset aiheuttavat virheitä mittaustuloksiin. Valaistusta voidaan pitää käytön osalta haasteellisimpana osana konenäöllä suoritettavaa mittaamista. /7/

Valaistuksessa huomioitavia asioita:

- valon käyttäytyminen kohteessa
- valonlähteen sijainti kameran suhteen
- valaisimen valonlähde
- valon suuntaus
- valon aallonpituus / väri
- valon polarisaatio
- konenäkösovelluksen vaatimukset
- ympäristön olosuhteet. /3/

2.2.8. Mittausohjelmisto

Mittausohjelmisto saa kuvankäsittelyltä tiedot, joiden perusteella se suorittaa ohjelman mukaiset matemaattiset laskutoimitukset. Laskutoimitusten tuloksena saadaan vastaus tuotteen mittaukseen liittyen. Esimerkiksi puuteollisuuden prosessissa tunnistettaessa oksa saadaan tulokseksi oksan tyyppi (terve tai kuollut). /7/

2.2.9. Ohjausjärjestelmä

Ohjausjärjestelmä toimii mittaustiedon tulosten hyödyntäjänä. Ohjausjärjestelmässä mittau-
stulokset käytetään päätösten tekemiseen, joiden avulla suoritetaan tuotantoa ohjaavia
toimenpiteitä. Päätöksellä ohjataan esimerkiksi sahatavarakappale oikeaan varasto-
paikkaan, jolloin varastopaikassa olevat tuotteet ovat kaikki samaa laatua ja dimensiota.
Ohjausjärjestelmä on ohjelma, joka toimii logiikassa tai tietokoneessa. Järjestelmä voidaan
kytkeä suoraan toimilaitteeseen tai toiseen ohjausjärjestelmään. /7/

2.2.10. Käyttöliittymä

Konenäköjärjestelmässä on aina oltava käyttöliittymä, jonka avulla voidaan hallita laitteis-
ton toimintaa. Käyttöliittymänä käytetään logiikoihin kytkettävää käyttäjäpäättettä tai tieto-
konetta. Käyttöliittymän ohjelmisto sisältää toimenpiteet laitteiston toiminnan seuraamisel-
le ja säätämiseksi sekä raportoinnille. Toimintaan liittyvät raportit ovat tärkeä osa tuotantoa
ja laitteiston kunnossapitoa. /7/

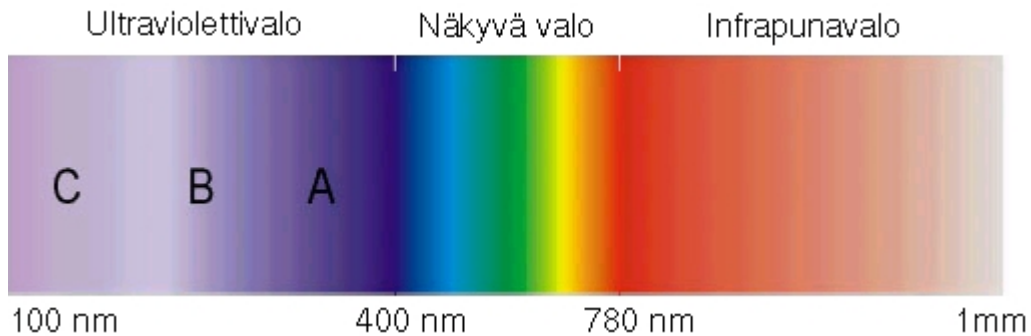
2.3. Valo

Valo on fysikaalisesti ajateltuna sähkömagneettista säteilyä eli näkyvää säteilyenergiaa.
Tämä tarkoittaa sitä, että valo on energiaa, joka siirtyy säteilemällä. Valon säteilyä mita-
taan säteilyn spektrillä eli aallonpituudella. Sähkömagneettisessa säteilyssä aallonpituus-
alue ulottuu melkein nolosta äärettömiin, josta valolle kuuluu vain lyhyt väli n. 400–760
nm (kuva 10). Valoalueen lyhyiden aaltojen puolella sijaitsee ultraviolettisäteily ja pitkien
aaltojen puolella infrapunasäteily. Ihminen aistii valoalueen näkyvää säteilyä silmien avul-
la ja infrapunasäteilyä lämpöaistin avulla. /4/

2.3.1. Spektri

Valon kulkiessa prisman läpi valon eri aallonpituudet taittuvat eri tavoin. Tätä ilmiötä kut-
sutaan spektriiksi eli valon eri värien kokonaisuudeksi. Kuvasta 10 nähdään, miten näkyvä

säteily on jaettu eri värien aallonpituuksiin. Spektri voidaan jakaa kahteen eri ryhmään, jotka ovat jatkuvaspektri ja viivaspektri. Jatkuvaspektri tarkoittaa spektriä, jossa ovat kaikki aallonpituuksien värit, kun taas viivaspektri tarkoittaa spektriä, jossa on vain tiettyjä aallonpituuksia. /10/



Kuva 10. Valon aallonpituudet /13/

2.4. Valaistussuureet

Valaistussuureella voidaan laskea valaistuksen ominaisuuksia valaistusta suunniteltaessa. Taulukossa 1 on esitetty viisi tärkeintä valaistussuuretta. Jokainen suure käydään läpi seuraavissa kappaleissa. Suuret sekä niiden symbolit ja yksiköt on esitetty taulukossa 1. /4/

Taulukko 1. Valaistussuureet

Suure	Symboli	Yksikkö
Valovoima	I	kandela [cd]
Valovirta	Φ	luumen [lm]
Valaistusvoimakkuus	E	luksi [lx]
Luminanssi	L	kandela/neliömetri [cd/m^2]
Valomäärä	Q	luumensekunti, luumentunti [lms,lmh]

2.4.1. Valovoima

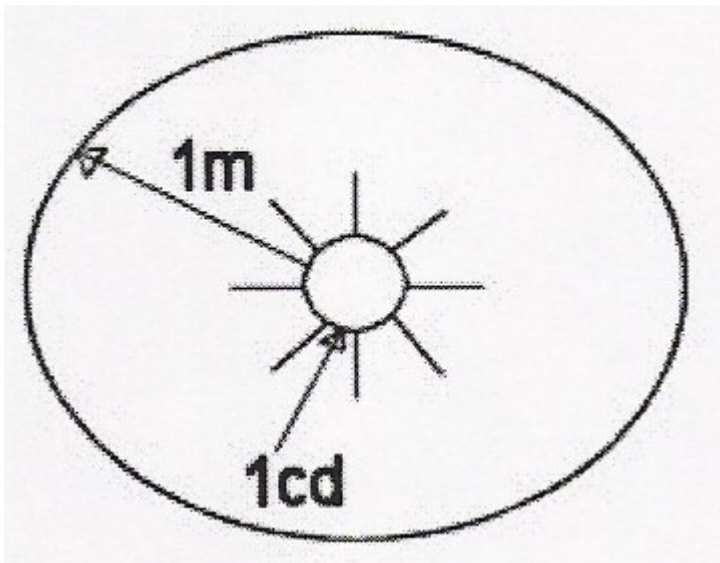
Valovoimalla tarkoitetaan valonlähteen intensiteettiä eli voimakkuutta. Valovoima (I) on perussuure, josta muut suureet on johdettu. Yksikkö on kandela (cd). Valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuutta kuvaa valovoima eli intensiteetti. Valovoima saadaan laskettua yhtälöstä:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad (1)$$

, missä $d\Phi$ on valovirta ja $d\omega$ on avaruuskulma. /4/

2.4.2. Valovirta

Valovirralla tarkoitetaan sitä, kuinka paljon valonlähde säteilee tiettyyn avaruuskulmaan. Kuvassa 11 on pistemäinen valonlähde, jossa valovoima on 1 cd, ja se on asetettu pallon keskipisteeseen, jonka säde on 1 m. Valonlähteen oletetaan säteilevän valovirtaansa kaikkiin suuntiin tasaisesti. Valovirran yksikkö on luumen (lm). Valovirta tarkoittaa (kuva 11) yhden cd:n voimakkuudella tasaisesti säteilevän valonlähteen yhden metrin säteisen pallon pinnalle säteilemän valoenergian virtausnopeutta. /4/



Kuva 11. Pistemäinen valonlähde, jossa kaikkiin suuntiin valovoima on 1 cd /4/

Valovirtaa voidaan matemaattisesti ajatella esimerkiksi seuraavalla tavalla: koska pallon pinta-ala on $4\pi r^2$, saadaan silloin kokonaisvalovirraksi 4π lm. Eli pistemäisen valonlähteen, joka säteilee tasaisesti, valovoima on yksi cd ja sen tuottama valovirta on 4π lm. /4/

2.4.3. Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus määritellään seuraavanlaisesti: valonlähteestä syntyvä säteilyteho eli valovirta osuu kulkiessaan jonkin materiaalin pintaan, josta se voi heijastua, läpäistä tai absorboitua. Toisin sanoen materiaalin pinnalle saapuvan valovirran tiheyttä kutsutaan valaistusvoimakkuudeksi. Eli lyhyesti sanottuna valaistusvoimakkuus tarkoittaa tietylle alueelle tulevan valovirran määrää. Valovoimakkuuden kaava on muotoa:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2)$$

, jossa A on pinnan pinta-ala ja Φ on pinnalle tuleva valovirta. /4/

Yksikkö valaistusvoimakkuudelle on lumen/neliömetri (lm/m^2) eli luks (lx).

Koska kuvassa 11 pallon pinta-ala on siis $4\pi r^2$, valovirta $4\pi \text{ lm}$ ja valovoima 1 cd , silloin valaistusvoimakkuus pinnalla on 1 lx .

2.4.4. Valomäärä

Valomäärä (Q) voidaan pitää verrannollisena valoenergiaan; valovirtaa voidaan puolestaan pitää verrannollisena valotehoon. Valomäärä on silloin valovirran aikaintegraali. Yksikkö on luumensekunti (lms), mutta käytännössä on helpompi käyttää yksikköä luumentunti (lmh). Kun valovirta Φ on vakio, valomäärä saadaan kertomalla valovirta tarkasteltavan ajan pituudella. /4/

$$Q = \Phi t \quad (4)$$

, jos taas valovirta vaihtelee ajallisesti, käytetään seuraavaa yhtälöä:

$$Q = \int_0^T \Phi(t) dt \quad (5)$$

2.4.5. Luminanssi

Luminanssin yksikkö on kandela neliömetriä kohti (cd/m^2). Luminanssi eli valotiheys on pinnasta tiettyyn suuntaan säteilevän valovoiman suhde pinnan tästä suunnasta näkyvän projektion alaan. Toisin sanoen luminanssi kuvaa tarkasteltavan pinnan kirkkautta. /4/

$$L = \frac{d^2 \Phi}{d\omega \cdot dA \cdot \cos \theta} \quad (6)$$

, missä Φ on valovirta

$d\omega$ on avaruuskulma

dA projektion pinta-ala

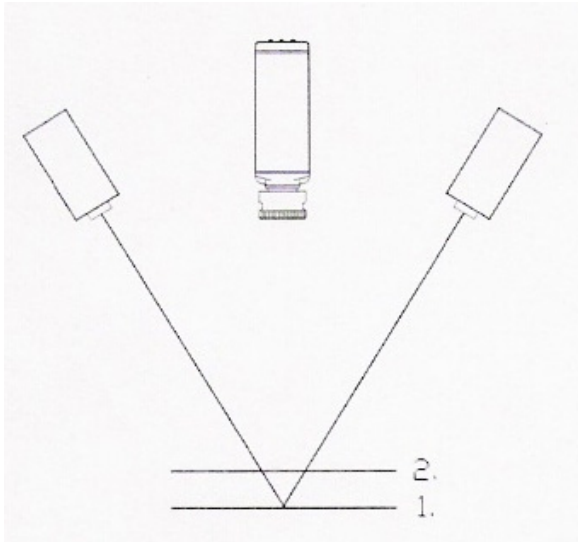
ja $\cos \theta$ on valon tulokulma.

2.5. Valaistusmenetelmät

Tässä kappaleessa käydään läpi valaistusmenetelmiä, joita käytetään konenäköjärjestelmissä.

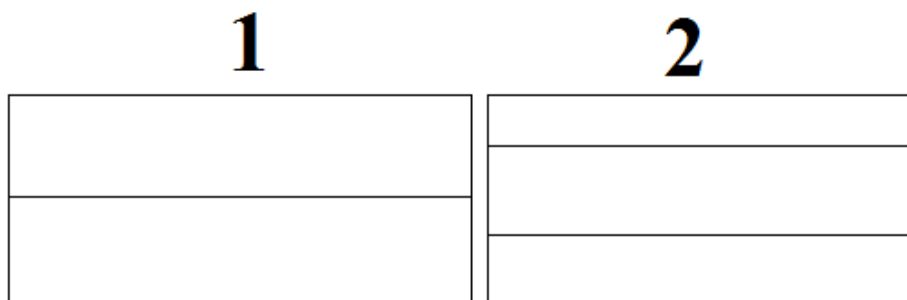
2.5.1. Strukturoitu valaistus

Strukturoidussa valaistuksessa kappaleen korkeutta voidaan mitata laservalaisulla. Kamera näkee nollassa yhtenäisen viivan, mutta kappaleen korkeuden muuttuessa siihen muodostuu kaksi erillistä viivaa, joista kappaleen korkeus voidaan määrittää. /11/



Kuva 12. Strukturoitu valaistus /11/

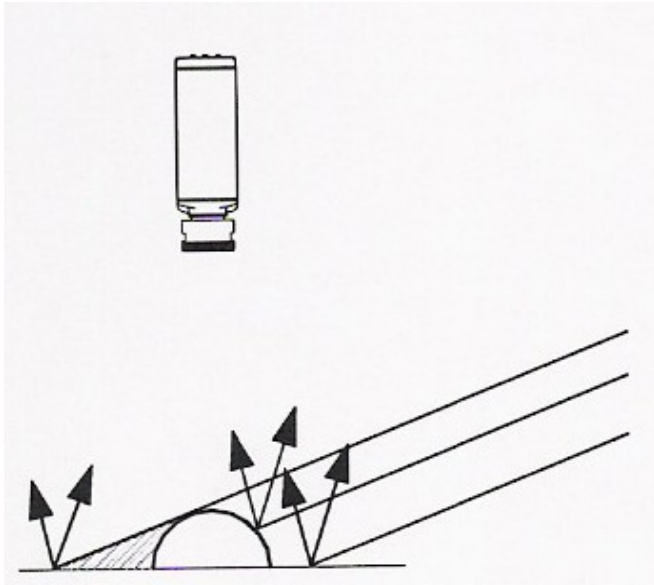
Kuvassa 12 on esitetty strukturoitu valaistusmenetelmä. Jos esimerkiksi jokin levy on tasossa yksi, niin kamera tunnistaa vain yhden tason, mutta jos kappale on tasossa, niin kamera tunnistaa kaksi tasoa (kuva 13).



Kuva 13. Kameran näkymä strukturoitu valaistuksessa

2.5.2. Suunnattu valaistus

Suunnatussa valaistuksessa kohteesta saadaan helposti esille kuvattavan kohteen epätasaisuuksia. Valo tuodaan kohteeseen sivulta päin. /11/

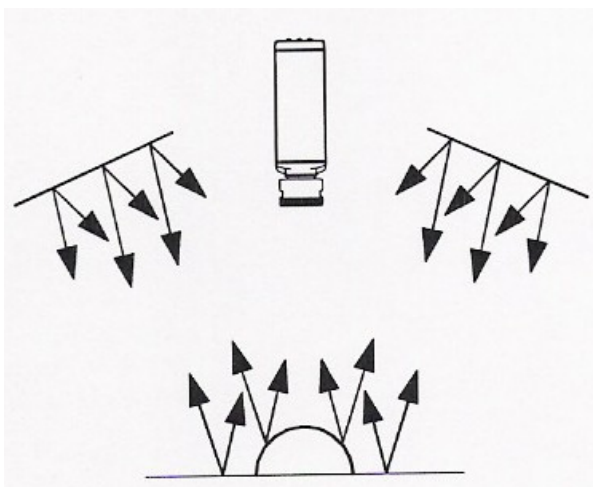


Kuva 14. Suunnattu valaistus /11/

Kuvassa 14 on esitetty, miten suunnattu valaistus toimii. Kappaleen epätasaisuus aiheuttaa kohteeseen varjon, jonka kamera näkee tummana alueena ja tunnistaa näin kuvattavan kohteen.

2.5.3. Diffuusi etuvalaistus

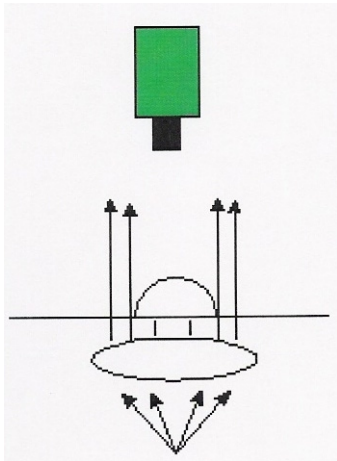
Diffuusissa etuvalaistuksessa valo tuodaan kohteeseen mahdollisimman tasaisesti ja joka suunnasta. Näin ollen valaistuksessa minimoidaan varjojen ja heijastavien pintojen vaikutus kuvanotossa. /11/



Kuva 15. Diffuusi etuvalaistus /11/

2.5.4. Diffuusi taustavalaistus

Diffuusissa taustavalaistuksessa valaisu toteutetaan kohteen alta, jolloin saadaan hyvä kontrasti kappaleen sekä taustan välille. Kuvattavan kohteen reunoista saadaan terävät kuvat, jolloin mittaaminen on tarkkaa. /11/

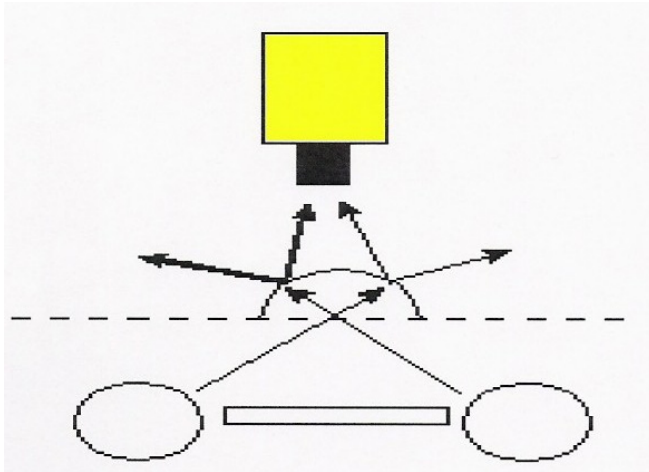


Kuva 16. Diffuusi taustavalaistus /11/

Kuvasta 16 voidaan huomioda, että valo pääsee kameralle vain kappaleen ulkoreunoilta. Tällä tavalla kuvattavasta kohteesta ja sen muodosta saadaan tarkka. Diffuusia taustavalaistusta käytettäessä on huomioitava, että kuvattava kohde on sellainen, joka ei läpäise valoa.

2.5.5. Pimeä kenttävalaisu

Pimeää kenttävalaistusta käytetään haluttaessa valon heijastuvan ainoastaan kappaleen halkeamista ja hiukkasista yms. Esimerkiksi lasilevyyn voidaan reunoista tuoda valoa siten, että valo etenee kokonaan heijastuen lasin sisällä. Näin valo heijastuu ainoastaan halkeamista ja hiukkasista sekä muista epäkuranteista paikoista. /11/



Kuva 17. Pimeä kenttävalaisu /11/

Kuvassa 17 on esitetty pimeän kenttävalaisun toiminta. Katkoviivan alapuolella on valonlähde ja katkoviivan yläpuolella kuvattava kohde. Esimerkiksi, jos kuvattava kohde olisi lasia, niin valo heijastuisi lasin halkeamista ja näin kamera huomaisi halkeaman.

2.5.6. Salamavalaistus eli strobo

Salamavalaistusta käytetään liikkuviin kohteisiin, joissa kuva pysäytetään paikoilleen ja tahdistetaan kameran kuvanoton kanssa. /11/



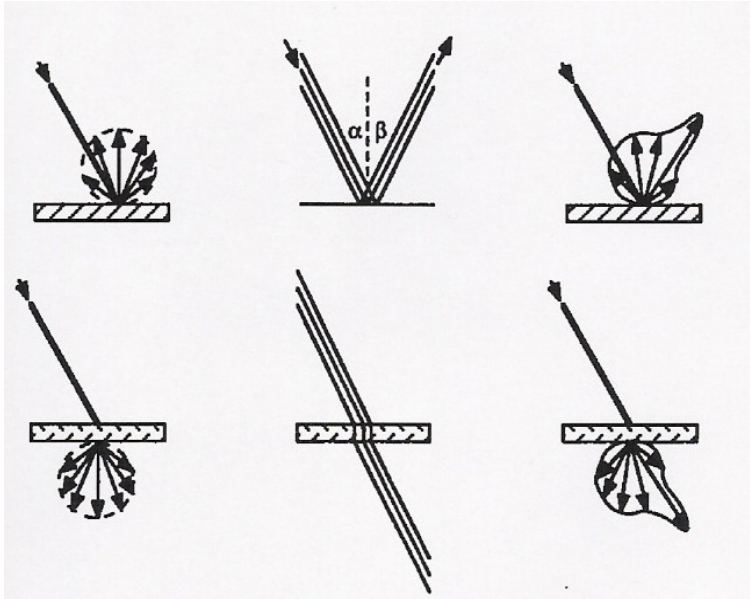
Kuva 18. Salamavalaistus /11/

2.6. Heijastus- ja läpäisysuhteet

Valon kohdatessa jonkin rajapinnan osa siitä heijastuu ja osa absorboituu, jos pinta on valoa läpäisemätön. Jos taas valo pääsee kulkemaan rajapinnassa, valoa poistuu rajapinnasta saapumissuuntaan nähden vastakkaiselta puolelta; ilmiötä kutsutaan läpäisyyksi. Lisäksi

tulee huomioida, että valonsäde myös muuttaa suuntaansa läpäistessään rajapinnan, tällöin puhutaan taitumisesta. /4/, /3/

Heijastuminen ja läpäisy voidaan jakaa kolmeen ryhmään sen mukaan, millä tavoin valo läpäistyyän poistuu aineesta tai jakautuneena heijastuu (kuva 19).



Kuva 19 Kuvasta nähdään yläriviltä haja-, suunta- ja sekaheijastuminen sekä alariviltä haja-, suunta- ja sekaläpäisy /4/

Lyhyesti voidaan kuitenkin sanoa, että heijastumissuhde on pinnalta heijastuneen valovirran suhde sille saapuneeseen valovirtaan. Läpäisyysuhde on puolestaan kappaleen läpäisseen valovirran suhde sille saapuneeseen valovirtaan. /4/

3. TEHOLEDIN LÄMMÖNHALLINTA JA VIRRANSYÖTTÖ

Kaikissa yli yhden watin teholedeissä tarvitaan jäähdytys. Teholedit tulee kiinnittää lämpöä johtavalle pinnalle, esimerkiksi alumiinikiskoon tai -levyyn. Jäähdytysjärjestelmään voidaan myös lisätä erilaisia tuulettimia. Teholedin käyttö vaatii vakiovirtalähteen, joka pitää ledin virran samansuuruisena riippumatta käyttöjännitteen ja lämpötilan vaihtelusta.

3.1. Lämmön johtuminen

Lämmön siirtyminen johtumalla tapahtuu, kun lämpöä diffusoituu materiaalin sisällä tai materiaalista toiseen. Lämpöenergia siirtyy aina korkeamman energian alueesta matalampaan energia-alueeseen. Materiaalin energiataso eli lämpötila on suoraan verrannollinen materiaalin molekyylien värähtelytasoihin. Mikäli lämpötilaeroa ei ole, niin lämmön siirtymistä ei tapahdu. /8/

Fourierin laki lämmönjohtumisesta esittää, että lämmön johtumisen muutos on suoraan verrannollinen johtumissuuntaa kohtisuoran tason pinta-alaan, lämpötilagradientin suuruuteen sekä aineen lämmönjohtavuuteen. Matemaattisesti Fourierin laki lämmönjohtumisesta voidaan esittää 1-ulotteisessa tapauksessa muodossa:

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (7)$$

missä q on lämpöteho [W]

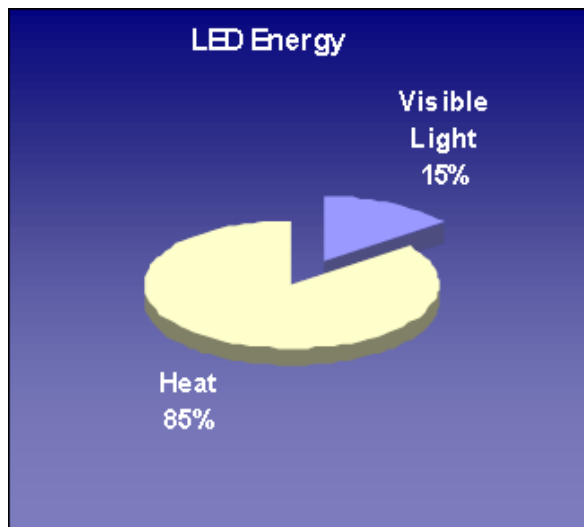
k on kappaleen lämmönjohtavuus $\left[\frac{W}{mK} \right]$

A on kappaleen lämmönsiirtotietä kohtisuorassa oleva pinta-ala [m^2]

$$\frac{dT}{dx} = \text{lämpötilagradientti} = \frac{T_2 - T_1}{L} = \left[\frac{K}{m} \right] \quad /10/$$

3.2. Energia ledissä

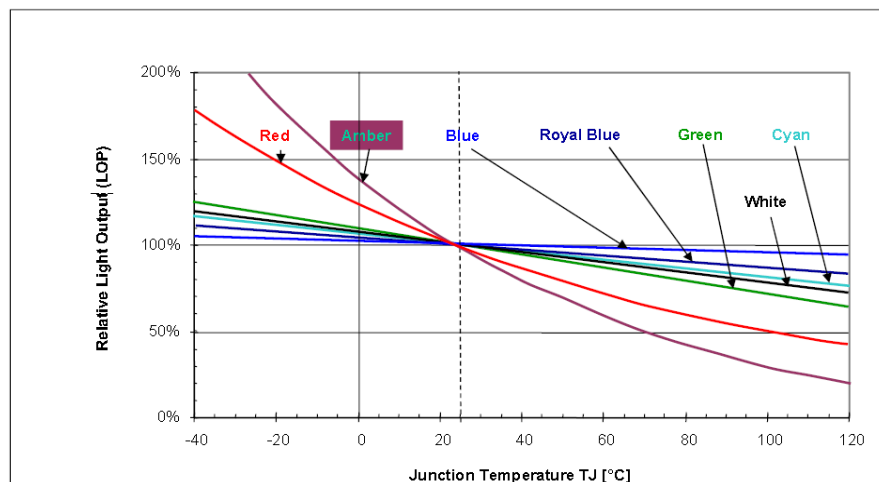
Uusimmissakin ledeissä on vain 30 % valoa ja loput muuttuvat lämmöksi. Led ei säteile lämpöä pois (hyvin vähän IR-säteilyä) ja tästä johtuen lämpö täytyy siirtää pois johtamalla valaisinrakenteeseen.



Kuva 20. Ledin energia /9/

Kuvassa 20 on esitetty ledin tuottama energia. Näkyvää valoa ledistä tulee 15 % ja loput 85 % ledin tuottamasta energiasta on lämpöä.

Kuvassa 21 on yleisesti kuvattuna valoteho verrattuna teholedin liitoslämpötilaan. Vasemmalla pystysarakkeella on suhteellinen valoteho ja vaakatasossa on liitoslämpötila. Kuvassa on esitetty eriväristen teholedien toimivuus eri liitoslämpötiloissa.



Kuva 21. Valoteho verrattuna liitoslämpötilaan /9/

3.3. Lämmön vaikutus lediin

Ledin lämmitessä tulee ottaa huomioon seuraavat asiat:

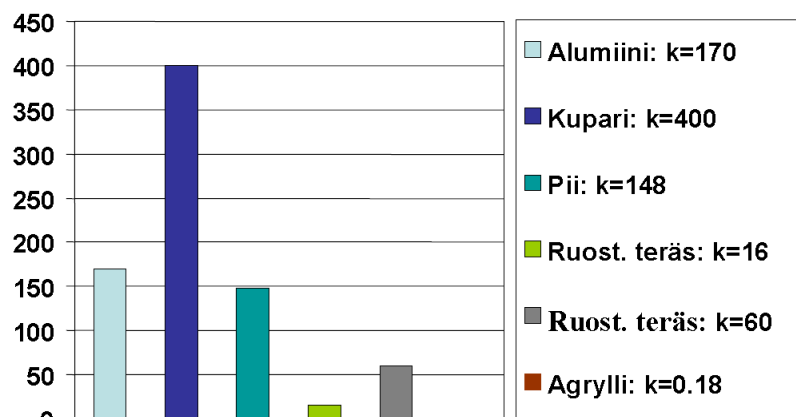
- Valovirta pienenee.
- Ledin väri muuttuu.
- Ledin kuluttama teho (kynnysjännite) kasvaa.
- Luotettavuus laskee; lämmön nousu n. 10 °C tuplaa ledin vioittumistodennäköisyyden.
- Eri ledien lämmönkestossa on suuria eroja, mutta kaikki ledit kärsivät korkeasta lämpötilasta.
- Usean parametrin vaikutus hankala laskea tarkasti. /11/

Tästä syystä ledin lämpötila tulee jäädytyksen avulla pitää tietyssä sopivassa lämpötilassa esim. 80 °C:ssa.

3.4. Lämmön vaikutuksen vähentäminen

Ledin synnyttämä lämpö tulee siirtää ympäristöön ja tyypillinen tapa on käyttää runkomaateriaalina hyvin lämpöä johtavaa materiaalia, kuten alumiinia. Toinen vaihtoehto on käyttää lediä, joka kestää lämpöä paremmin; voi säästää mekaniikkakustannuksissa ja käyttää vähemmän ledejä.

Kuvassa 22 on kuvattuna lämmönjohtavuus yleisillä materiaaleilla. Lämmönjohtavuusyksiköt ovat W/mK.



Kuva 22. Lämmönjohtavuus /9/

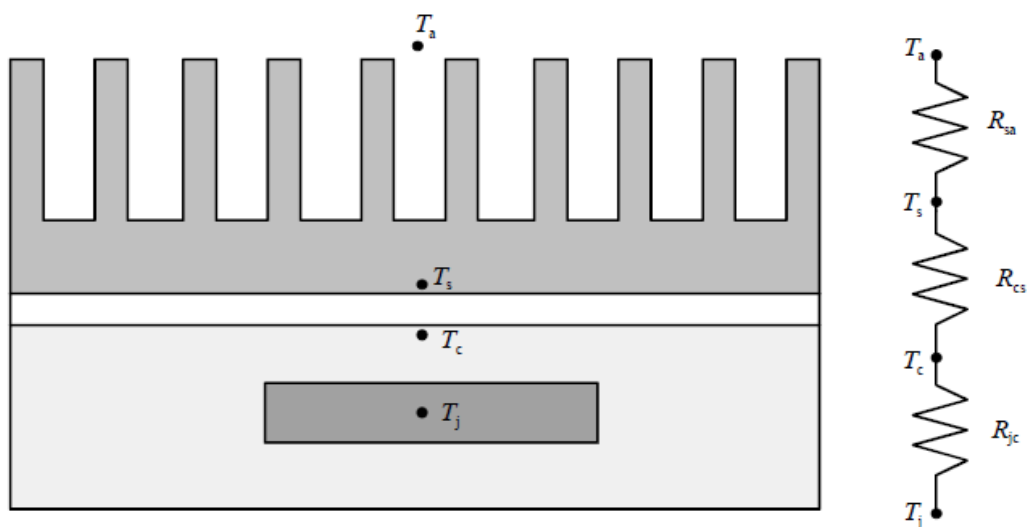
3.5. Jäähdytyksen mitoittaminen

Jäähdytyslevyä valittaessa on lämpötilaresistanssin laskemiseksi tiedettävä siirrettävä lämpöteho, joka siirretään jäähdytyslevyn avulla ympäristöön sekä lämpötilaero ympäröivän ilman ja komponentin lämpötilan välillä. Lämpötilaresistansseista voidaan muodostaa vastuksia kuvaava ekvivalentti piiri, jossa kuvataan eri lämpötilaresistanssit.

Jäähdytyslevyä valittaessa tulee ottaa huomioon, millainen ilman virtaus on jäähdytyslevyn pinnalla. Ilman virtaus voidaan jaotella luonnolliseen ja pakotettuun osaan. Luonnollinen virtaus on kyseessä silloin, kun käytössä ei ole erillisiä puhallus- tai tuuletuslaitteita. Pakotetussa virtauksessa puolestaan käytetään puhaltimia ja tuulettimia. Taulukossa 2 on esitetty tilavuudesta riippumattoman lämpöresistanssin arvoja eri virtaustyypeille ja virtausnopeuksille.

Taulukko 2. Tilavuudesta riippumattoman lämpöresistanssin arvoja /12/

Ilman virtausnopeus [m/s]	Tilavuudesta riippumaton lämpöresistanssi [cm ³ °C/W]
Luonnollinen virtaus	500 - 800
1,0	150 - 250
2,5	80 - 150
5,0	50 - 80



Kuva 23. Lämpöresistanssien avulla muodostettu piirimalli komponentin liitoksesta ulommaiseen jäähdytysfluidiin /12/

Lämpöresistanssin kaavalla voidaan määrittellä komponenttien väliset resistanssit, komponentin liitoksen ja kotelon välisen arvon R_{jc} ilmoittaa yleensä valmistaja. Kaavoissa T :t ovat lämpötiloja eri tasoissa ja q on häviöteho.

$$R_{jc} = \frac{T_j - T_c}{q} \quad (8)$$

Liitosresistanssi kotelosta jäähdytyslevyyn:

$$R_{cs} = \frac{T_c - T_s}{q} \quad (9)$$

Jäähdytyslevystä ilmaan:

$$R_{sa} = \frac{T_s - T_a}{q} \quad (10)$$

Kokonaislämpöresistanssi saadaan laskemalla lämpöresistanssit yhteen:

$$R_{ja} = R_{jc} + R_{cs} + R_{sa} = \frac{T_j - T_a}{q} \quad (11)$$

Esimerkki 1.

Valitaan eräältä valmistajalta led-komponentti, jonka yli vaikuttaa 3 V:n jännite ja ajettava virta 1200 mA. T_j arvo 105°C ja R_{jc} arvoksi valmistaja ilmoittaa $0,7^\circ\text{C}/\text{W}$. Tehoksi saadaan 15,6 W josta näkyvän valon osuudeksi arvioidaan 20 %, jolloin häviötehoksi q saadaan 12,5 W. Tämä teho täytyy siirtää jäähdytyslementin avulla ympäristöön. Ympäristön lämpötilana käytetään arvoa 35°C . Komponentin liitoksessa jäähdytyslevyyn käytetään piitahnaa 0,5 mm kerros, jonka lämmönjohtavuus $k = 10,5 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$. Liitospinta-ala $A = 0,00067 \text{ m}^2$.

$$R_{jc} = 0,7 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \quad (8)$$

Johdetaan kaavasta (7) 0,5 mm piitahnan yli vaikuttava lämpötilaero.

$$\Delta T = \frac{qL}{kA} = \frac{12,5\text{W} \times 0,0005\text{m}}{10,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \times 0,00067\text{m}^2} = 0,9^\circ\text{C} \quad (12)$$

eli liitosresistanssi:

$$R_{cs} = \frac{T_c - T_s}{q} = \frac{0,9^\circ\text{C}}{12,5\text{W}} = 0,072 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \quad (13)$$

Jäähdytyslementiltä vaadittava lämpöresistanssi R_{sa} saadaan vähentämällä kokonaislämpöresistanssista R_{jc} ja R_{cs} .

$$R_{sa} = \frac{T_j - T_a}{q} - R_{jc} - R_{cs} = \frac{105^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}}{12,5\text{W}} - 0,7 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} - 0,072 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} = 4,8 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \quad (14)$$

Tämä on jäähdytyslevyn maksimi resistanssi, eli valitaan jäähdytysresistanssiltaan pienempi elementti, koska liitosresistanssin tarkka määrittäminen pinnan viimeistelyn ja karheuden vuoksi on epätarkka. Myös led-komponentin lämpötilan pitämisellä pienempänä varmistetaan toimintatehokkuus ja toiminta-aika.

Valitaan jäähdytyslevy jonka lämpötilaresistanssi on $4,2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$, lämpötilaresistanssiksi saadaan:

$$R_{ja} = 4,2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} + 0,7 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} + 0,072 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} = 4,97 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \quad (15)$$

Lasketaan komponentin lämpötila

$$\Delta T = R_{ja} * q = 4,97 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} * 12,5\text{W} = 62 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (16)$$

johon lisätään ympäristön lämpötila $T_a = 35 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$T = \Delta T + T_a = 62^\circ\text{C} + 35^\circ\text{C} = 97 \text{ }^\circ\text{C} \quad (17)$$

Lämpötila pysyy alle valmistajan suosituksen, mutta on vielä aika korkea.

Taulukosta 2 saadaan jäähdytyslevyn koon karkea arvio jakamalla tilavuudesta riippumaton resistanssi jäähdytyslevylle lasketulla lämpötilaresistanssin arvolla. Luonnollisen virtauksen kaavassa on käytetty aikaisemmin esimerkissä valittua jäähdytyslevyn lämpötilaresistanssia $4,2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$.

Luonnollisella virtauksella:

$$\frac{600 \frac{\text{cm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{W}}}{4.2 \frac{\text{ } ^\circ\text{C}}{\text{W}}} = 143 \text{cm}^3 \quad (18)$$

Kuten taulukosta 2 nähdään, ilmavirran lisäyksellä jäähdytyslementin kokoa voidaan pienentää:

$$\frac{200 \frac{\text{cm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{W}}}{4.2 \frac{\text{ } ^\circ\text{C}}{\text{W}}} = 48 \text{cm}^3 \quad (19)$$

3.6. Virransyöttö teholedille

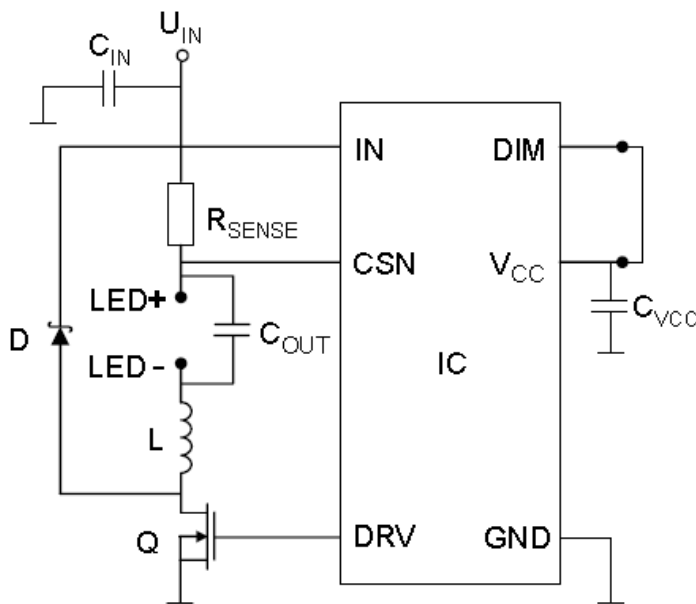
Teholedin käyttäminen suurella teholla vaatii vakiovirtalähteen, joka nimensä mukaisesti pitää ledin virran samansuuruisena riippumatta käyttöjännitteen, lämpötilan ja lediyksilöiden välisistä vaihteluista. Hyötysuhteeltaan paras topologia vakiovirtalähteen toteuttamiseksi on ns. step-down-hakkuri, jossa käyttöjännite on suurempi kuin ledien jännite. Toiminnaltaan step-downhakkuri on yksinkertainen eikä se vaadi paljon komponentteja. /5/

Seuraavaksi yksi esimerkki step-down-tyyppisestä vakiovirtalähteestä, joka perustuu MAX16820-ohjainpiiriin. Ohjainpiiriin lisäksi vakiovirtalähde sisältää fet-transistorin, kelan, diodin, vastuksen ja kolme kondensaattoria. Vakiovirtalähteen käyttöjännite voi olla 5 – 28 voltia ja vakiovirta voidaan asettaa enintään kahden ampeerin suuruiseksi. Vakiovirtalähteeseen voidaan kytkeä jopa seitsemän teholedia sarjaan, jolloin ledeille saadaan noin 50 watin teho. Tämä vakiovirtalähde soveltuu myös suuritehoisiin sovelluksiin. /5/

3.7. Esimerkki vakiovirtalähteen toiminnasta

Ohjainpiiri IC nostaa DRV-nastan +5 volttiin, jolloin fet Q kytkeytyy ja virta alkaa kulkea käyttöjännitteestä R_{SENSE} -vastuksen, ledien, kelan L ja fetin läpi käyttöjännitteen miinukseen.

Kelan induktanssista vaikutuksesta virta ja sitä kautta myös R_{SENSE} - vastuksen yli jäävä jännite kasvaa tasaisesti. Kun ylijäävä jännite saavuttaa arvon 0,21 volttia, ohjainpiirin DRV-nastan jännite tippuu noltaan volttiin ja fet ei enää johda. Silloin kelaan varastoitunut energia purkautuu shcottony-diodin D, R_{SENSE} -vastuksen ja ledien kautta. Kelan induktanssin vaikutuksesta virta pienenee tasaisesti. Kun R_{SENSE} - vastuksen yli jäävä jännite pienenee 0,19 volttiin, kytkee ohjainpiiri fetin jälleen johtamaan ja virta alkaa taas kasvaa. /5/



Kuva 24. Vakiovirtalähteen kytkentäkaavio. Ledit kytetään pisteisiin LED + ja LED - /5/

Virta kulkee vuorotellen fetin ja schottkydiodin kautta, mutta ledien läpi virta kulkee jatkuvasti. Näin piiri värähtelee taajuudella, joka riippuu käyttöjännitteen lisäksi ledien jännitteestä. Ohjainpiirin maksimitaajuus on 2 MHz. /5/

Ledien läpi kulkevan virta on samansuuruinen kuin R_{SENSE} - vastuksen läpi kulkeva ja ohmin lain mukaan virta vaihtelee kahden arvon välillä:

$$I_{\text{MAX}} = \frac{0,21 \text{ V}}{R_{\text{SENSE}}} \quad (20)$$

$$I_{\text{MIN}} = \frac{0,19V}{R_{\text{SENSE}}} \quad (21)$$

Keskimääräinen virta on siis:

$$I = \frac{0,2V}{R_{\text{SENSE}}} \quad (22)$$

Ledien läpi kulkevan virran I voidaan asettaa halutun suuruiseksi mitoittamalla vastus R_{SENSE} kaavan

$$R_{\text{SENSE}} = \frac{0,2V}{I} \quad (23)$$

mukaisesti. Vastuksessa syntyy tehohäviö

$$P = \frac{(0,2V)^2}{R_{\text{SENSE}}} \quad (24)$$

mikä muuttuu lämmöksi. Tehohäviö ei kuitenkaan ole kovin merkittävä. Suurin häviöteho syntyy ohjainpiirissä. Kondensaattori COUT tasaa ledien jännitettä ja virtaa, mutta sen tärkein tehtävä on suojata kytkentää jännitepiikiltä virtapiirin katketessa ledien kohdalta. /5/

Ledien jännite riippuu ledien tyypistä, määrästä, virran suuruudesta ja ledien lämpötilasta. Tasavirtalähde nostaa ledien jännitteen niin suureksi, että haluttu virransuuruus saavutetaan, kuitenkin enintään vakiovirtalähteen tulojännitteen suuruiseksi, koska step-downtopologia ei mahdollista jännitteen nostamista. /5/

3.8. Esimerkki käyttöjännitteestä

Käyttöjännitteen on oltava vähintään n. 0,35 voltia suurempi kuin ledien jännite, jotta vakiovirtalähde toimii halutulla tavalla. Käyttöjännitteen tippuessa liian pieneksi, siirtyy vakiovirtalähde ns. lineaaritilaan ja fet johtaa jatkuvasti. Jännitteen tippuessa ledien virta tip-

puu huomattavasti, minkä ansiosta ledit palavat vielä moninkertaisen ajan, mutta himmeämmin. /5/

Käyttöjännitteen noustessa piirin toimintataajuus kasvaa. Erityisen voimakasta taajuuden kasvu on silloin, kun ledejä on useita sarjassa eli niille menevä jännite on suuri. Tämä on syytä ottaa huomioon siksi, että toimintataajuuden kasvaminen huonontaa vakiovirtalähteen hyötysuhdetta ja lisää erityisesti ohjainpiirin lämpenemistä. Kahden ledin sarjakytkennällä käyttöjännite kannattaa pitää alle 11 voltissa ja neljällä ledillä alle 17 voltissa. /5/

4. SELVITYS TEHOLEDEISTÄ

Markkinoilla on paljon valmistajia teholedille. Taulukossa 3 esitetty markkinoiden tehokaimmat teholedit sekä niiden ominaisuuksia.

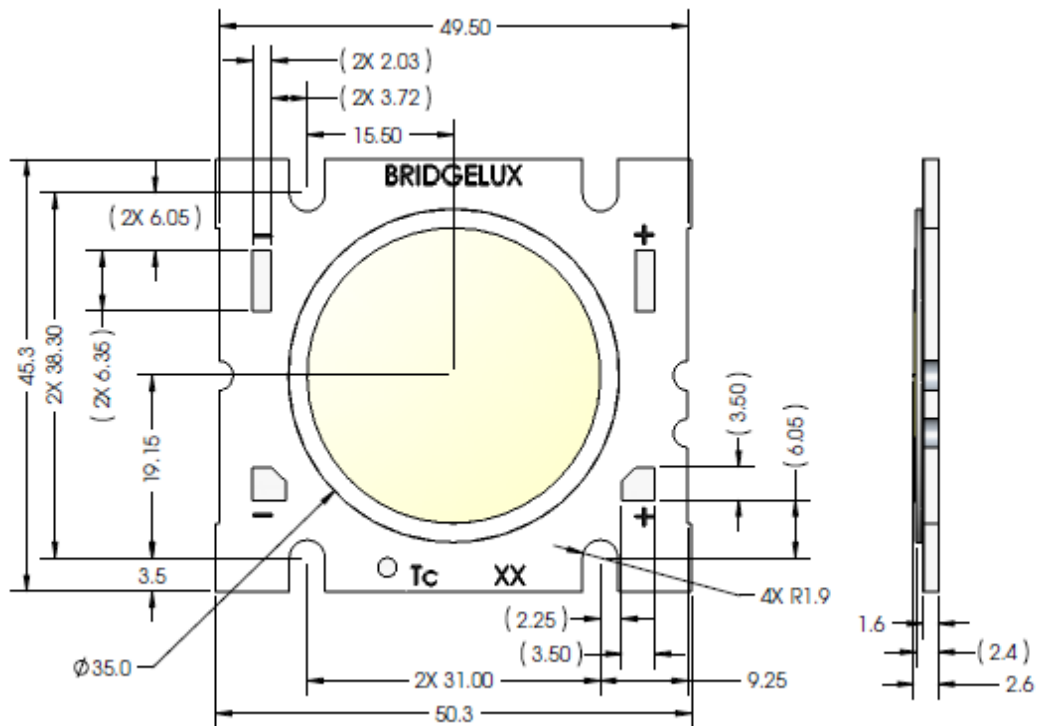
Taulukko 3. Ledien vertailu

Malli		The LXML-	ACL01-SC-III-	ASMT-MY09-
	AW 3231	PWN1-0120	005-C01-L-R000	NLM00
Valmistaja	Seoul Semiconductors	Luxeon	Perkin Elmer	Avago
Valonväri	Kylmä valkoinen	Neutraali valkoinen	Lähi-infrapuna	Lämmin valkoinen
Väriämpötila/K	6300	4100		2600...4000
Valovirta/lm	195	220	403...640	95...124
Heijastuskulma/°	110	120	130	110
Toimintalämpötila/°C	-30...+85		-40...+85	-40...+85
Teho/W	n. 4		5	
Värintoistoindeksi/CRI	70	70		
Virrankulutus/mA	18...20	350...700	700	350
Syöttöjännite	23050/60 Hz VAC			
Hinta/€ kpl	35,20	3,92	13,9	
Optiikat/säteilukulma	12, 20,35,40		22,32	
Päästöjännite/V			1,6	3,6
Estojännite/V			5	
Malli	ACL01-SC-5555-E10-C01-V-T000	Array, BXRA-C2002-00000	Array, BXRA-C4500-00000	LEUWE3B-PZQZ-4C8F
	Perkin Elmer	Bridgelux	Bridgelux	Osram
Valonväri	Neutraali valkoinen	Viileä valkoinen	Viileä valkoinen	Lämmin valkoinen
Väriämpötila/K	5700	5600	5600	6500
Valovirta/lm	360	2000	4500	1120
Heijastuskulma/°	130	120	120	130
Toimintalämpötila/°C	-40...+80	-40...+105	-40...+105	-40...+100
Teho/W	12,6			27
Värintoistoindeksi/CRI	77	65	65	
Virrankulutus/mA	700	1500	2100	1000
Syöttöjännite				
Hinta/€ kpl	24,6	23,44	58,73	Ei saatavilla
Optiikat/säteilukulma	22,32			
Päästöjännite/V	3,5	16,2	28,3	
Estojännite/V	5			

Taulukosta 3 voidaan huomioida, että Bridgeluxin Array, BXRA-C4500-0000 on kaikista tehokkain valovirraltaan (4500 lm).

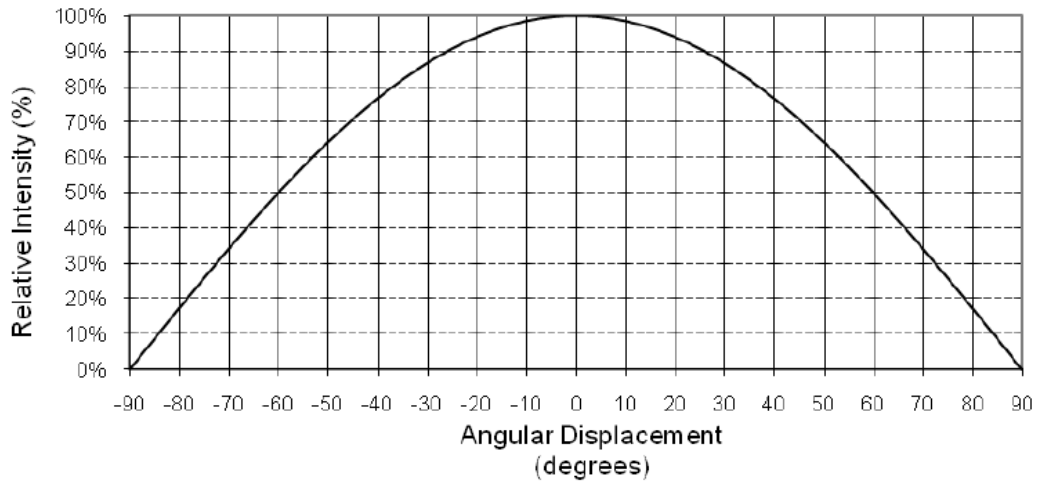
4.1. Bridgelux, Array, BXRA-C4500-00000

Seuraavaksi on esitetty tarkempi kuvaus markkinoiden tehokkaimmasta teholedistä ja sen ominaisuuksista.



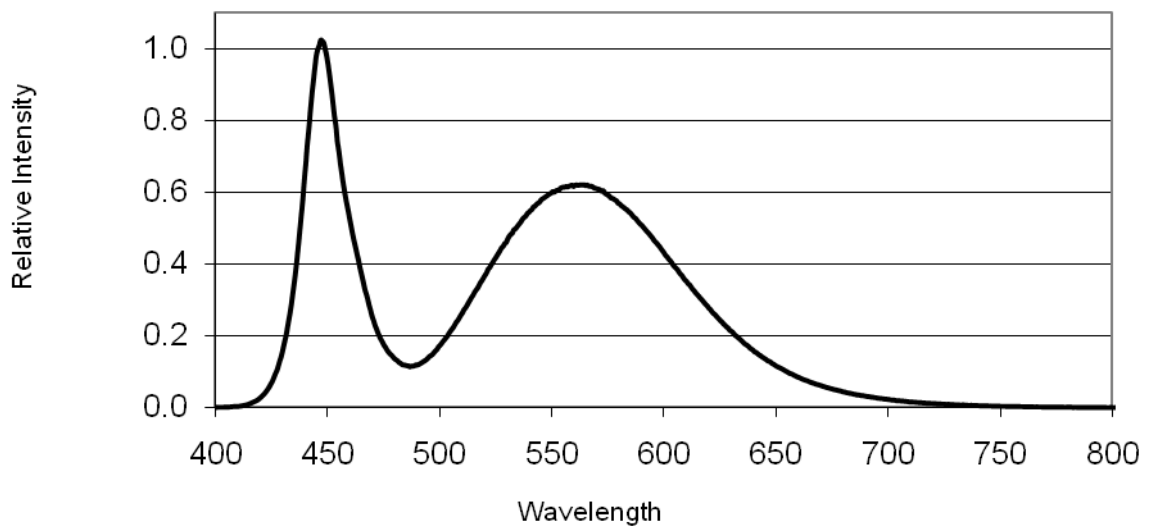
Kuva 25. BXRA-C455-00000 /1/

Tämä teholed on Bridgeluxin valmistama ja on väriltään viileän valkoinen. Värilämpötilaltaan tämä teholed on 5600 K ja valovirta on 4500 lm. Heijastuskulma on 120 °. Toimintalämpötila on -40°C...+105°C. Värintoistoindeksi eli CRI on 65. Virrankulutus on 2100 mA ja hinta on 58,73 euroa/kpl. Tämä teholed on näistä vertailuista kaikista kirkkain ja tehokkain.



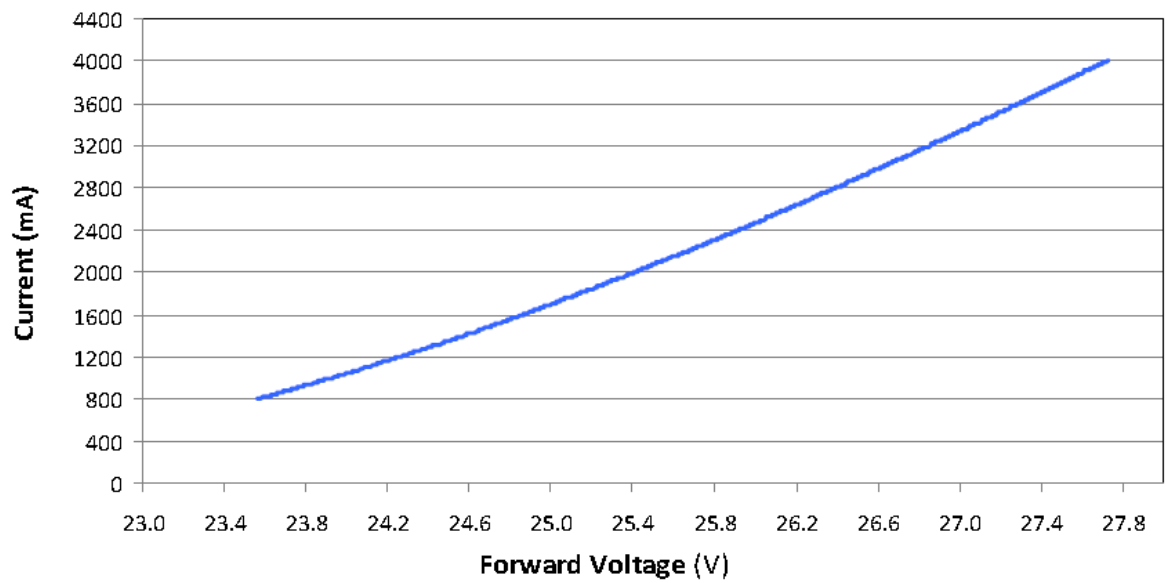
Kuva 26. Tyypillinen säteilykuvio /1/

Kuvassa 26 on kuvattu säteilyn intensiteettiä suhteessa valonlähteen ja kohteen välistä kulmaa. Jos valonlähteen ja kohteen välinen kulma on 0° , niin säteilyn intensiteetti on korkeimmillaan. Jos valonlähteen ja kohteen välinen kulma on 90° , niin säteilyä ei kohteessa havaita.



Kuva 27. Tyypillinen viileän valkoisen värispektri /1/

Kuvassa 27 on kuvattu viileän valkoisen valon säteilyn intensiteetti suhteessa aallonpituuteen. Säteilyn intensiteetti on suurimmillaan silloin, kuin aallonpituus on noin 450.



Kuva 28. Jännite suhteessa virtaan /1/

Kuvassa 28 on esitetty teholedin jännite suhteessa virtaan.

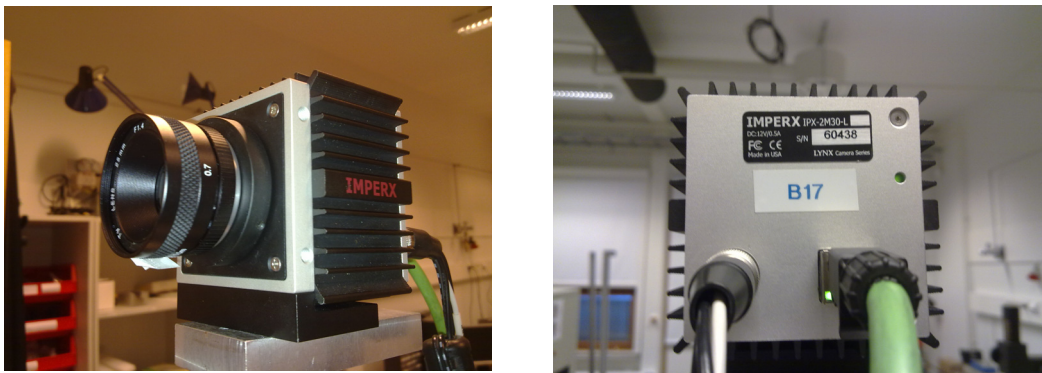
5. VALAISUKOKEET

Käytännön kokeet tehtiin Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitys yksikössä optisen mittaustekniikan laboratoriossa. Ensimmäiseksi suunniteltiin valitulle teholedille jäähdytys. Jäähdytys toteutettiin siilen ja tuulettimen yhdistelmällä. Tämän jälkeen teholedille virransyöttö sekä muut tarvittavat kytkennät. Lisättiin teholedin päälle ”peilit”, joilla ohjataan valokulmaa pienemmäksi (kuva 29). Kokeessa käytettiin kahta erilaista peiliä, joiden kulmat olivat 14-asteista sekä 24-asteista. Laitettiin teholedin pvc-putkeen, josta se oli helposti vaihdettavissa toiseen. Tuloksia tutkiessa pitää ottaa huomioon, että teholedin voimakkuus vähän pienenee, kun se lämpenee.



Kuva 29. Teholed Bridglelux 4500s

Kamerana (kuva30) käytettiin IMPEREX IPX-2M30-L merkkistä kameraa, johon laitettiin TV F1.4 -optiikka, jossa polttoväli oli 25 mm. Optiikka oli tarkoitettu 1” kennolle, mikä sopi hyvin käyttämämme kameraan. Kameraa käytettiin valojen intensiteetin mittaukseen.



Kuva 30. Imperex IPX- 2M30-L -kamera ja optiikka

5.1. Valaistuksen voimakkuuden mittaaminen

Ensimmäiseksi alettiin tutkia eri valojen valaistuksen voimakkuutta. Tutkinnan kohteena oli teholed 14 asteen peilillä, teholed 24 asteen peilillä, xenon 50 W sekä halogeeni 300 W. Valon voimakkuus mitattiin Kuwano trm -65 0-500/5000 lx -mittarilla. Valo asetettiin 425 cm:n päähän ja mitattiin mittarilla valaistuksen voimakkuuden eri etäisyyksien päästä. Kameran aukko säädettiin 1,4:ään ja kameran ohjelmaan laitettiin valotusajaksi 850 μ s. Tämä arvo löydettiin siten, että kirkkaimman valon harmaasävyarvo oli juuri alle 255. Harmaasävyarvon ollessa 255 tai yli niin kuva ylivalottuu ja sitä emme tahtoneet tässä tapahtuvan. Vahvistukset olivat kameran ohjelmassa kanavassa yksi 9,96 db ja kanavassa kaksi 10,11 db.



Kuva 31. Peilit 24 astetta ja 14 astetta

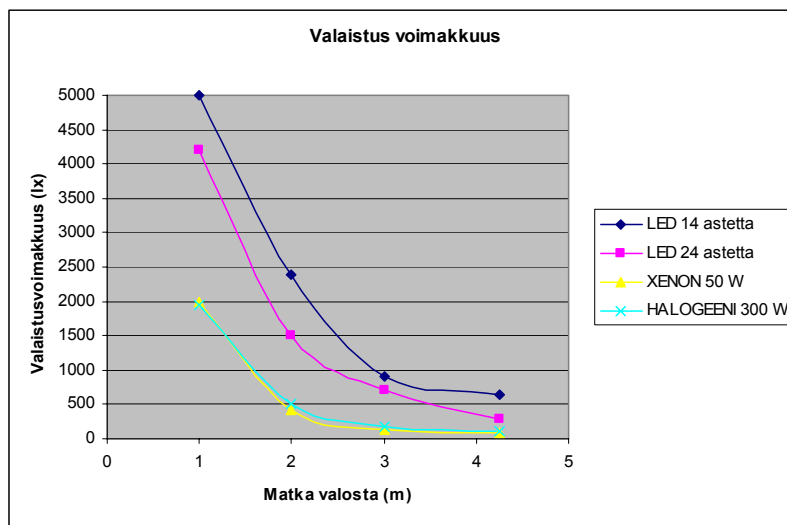


Kuva 32. Xenon 50 W ja halogeeni 300 W

Taulukko 4. Valaistuksen voimakkuus

Matka valosta (m)	LED 14 as- tetta	LED 24 as- tetta	XENON 50 W	HALOGEENI 300W
1	5000	4200	2000	1950
2	2400	1510	415	500
3	900	710	140	175
4,25	650	280	80	100

Taulukossa neljä esiintyvät arvot ovat lukseja. Taulukosta näkee selkeästi, että teholedit ovat huomattavasti kirkkaampia kuin xenon ja halogeeni. Led 14 astetta 5000 lx arvo on todellisuudessa suurempi, koska käyttämämme mittari ei näyttänyt kuin 5000:een asti. Taulukosta 4 myös näkee, että 14 asteen peiliä käyttämällä saa kaikista voimakkaimman valon.

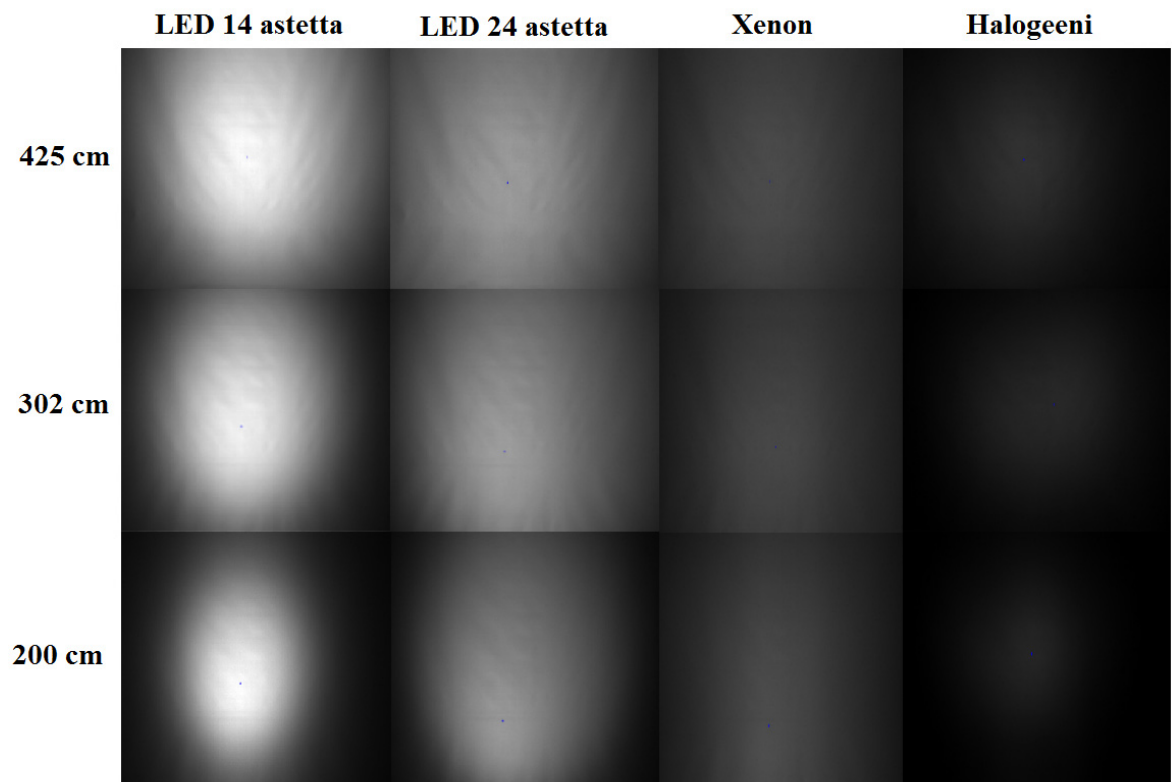


Kuva 33. Valaistuksen voimakkuus

Kuvassa 33 on esitetty vielä selkeämmin, kuinka paljon voimakkaampi valo on teholedeissä kuin xenonissa tai halogeenissä.

5.2. Intensiteetin mittaus

Alettiin miettiä, miten saamme parhaat tulokset eri valojen intensiteeteistä. Päätettiin heijastaa valo kankaalle, jonka koko oli 172 cm x 235 cm. Kamera pidettiin koko ajan 518 cm:n päästä kankaasta ja valoa siirreltäisiin eri etäisyyksille kankaasta. Valon etäisyydet kankaaseen olivat 424 cm, 302 cm sekä 200 cm. Valon ollessa heijastuneena kankaalle otettiin valon harmaasävyarvo kameran ohjelmalla ja tästä saimme vertailukelpoisia tuloksia.



Kuva 34. Valot etäisyyden suhteen

Kuvassa 34 on esitetty erivalojen intensiteetit eri etäisyyksillä. Kuvassa pystysuunnassa on etäisyydet ylhäältä alas 425 cm, 302 cm ja 200 cm. Vaakatasossa on eri valaisimet; vasemmalta lukien teholed 14 asteen peilillä, teholed 24 asteen peilillä, halogeeni 300 W ja Xenon 50 W. Kuvasta pystyy selvästi havaitsemaan, että teholed 14 asteen peilillä on kai-

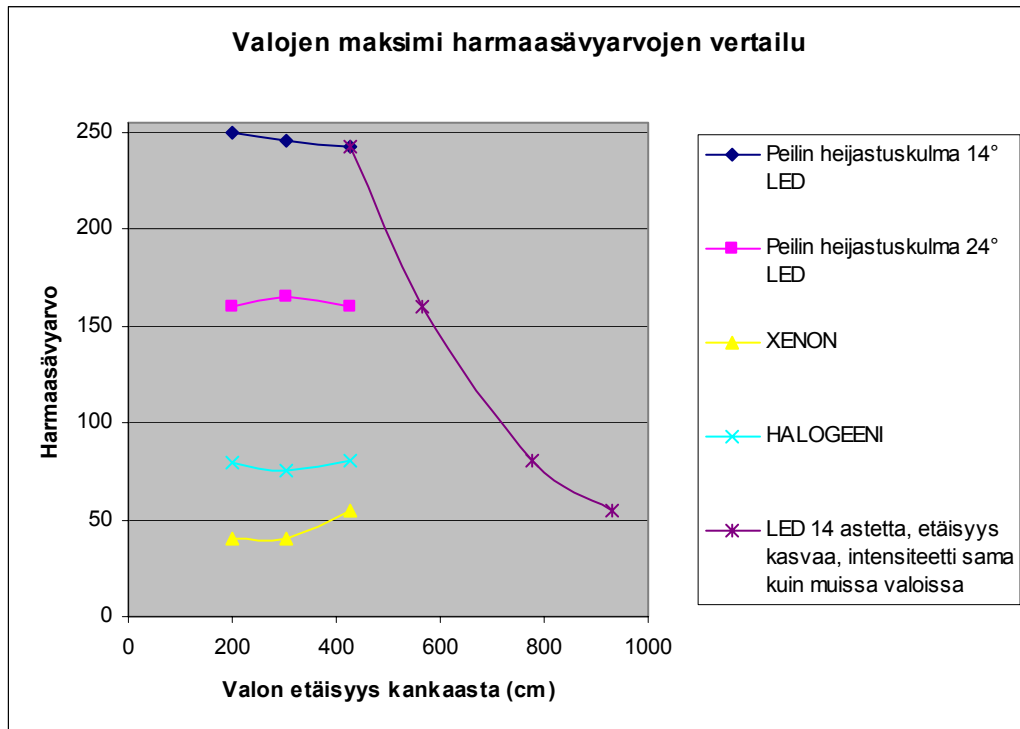
kista kirkkain kaikilla etäisyyksillä. Havaittavissa on myös, että teholed 14 asteen peilillä on kaikista pistemäisin valokuvio.

Otettiin kuvista (kuva 34) valojen harmaasävyarvot manuaalisesti, jotka on esitetty taulukossa 5. Kameran etäisyys kankaasta oli koko ajan 518 cm.

Taulukko 5. Valojen harmaasävyarvot

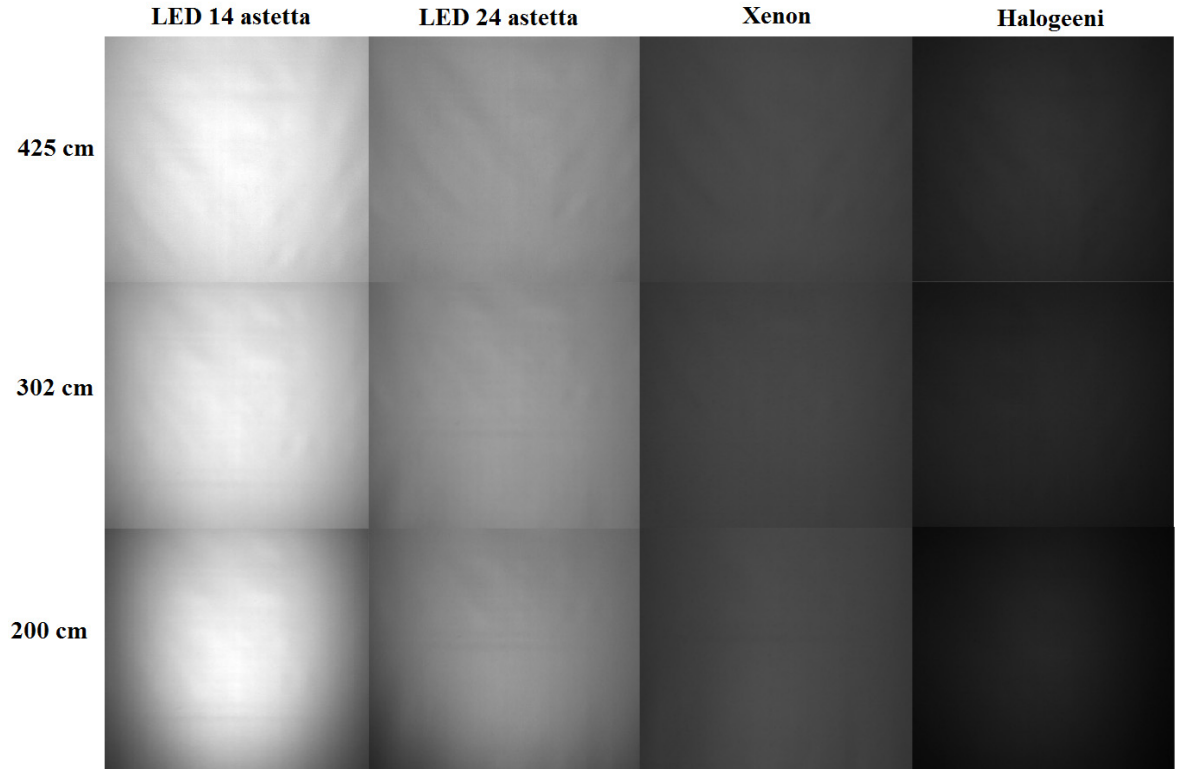
Valon etäisyys kankaasta	LED 14 °	LED 24°	Xenon	Halogeeni	Valotusaika
425	243	160	55	81	850 μs
304	246	165	40	75	430 μs
200	250	160	40	80	220 μs

Määritettiin valotusaika teholed 14° kirkkauden mukaan. Valotusaika määräytyi niin, että harmaasävyarvo ei saanut ylittää 255, mutta piti olla mahdollisimman lähellä sitä. Taulukosta 5 voidaan helposti todeta, että ledit ovat huomattavasti kirkkaampia kuin xenon tai halogeeni.



Kuva 35. Valojen maksimi harmaasävyarvojen vertailu

Kuvassa 35 on esitetty valojen maksimi harmaasävyarvoista. Kuvassa on myös esitetty, kuinka kauas teholed 14 asteen peilillä pitää viedä, että saadaan sama harmaasävyarvo kuin jollakin tietyllä muulla valolla.



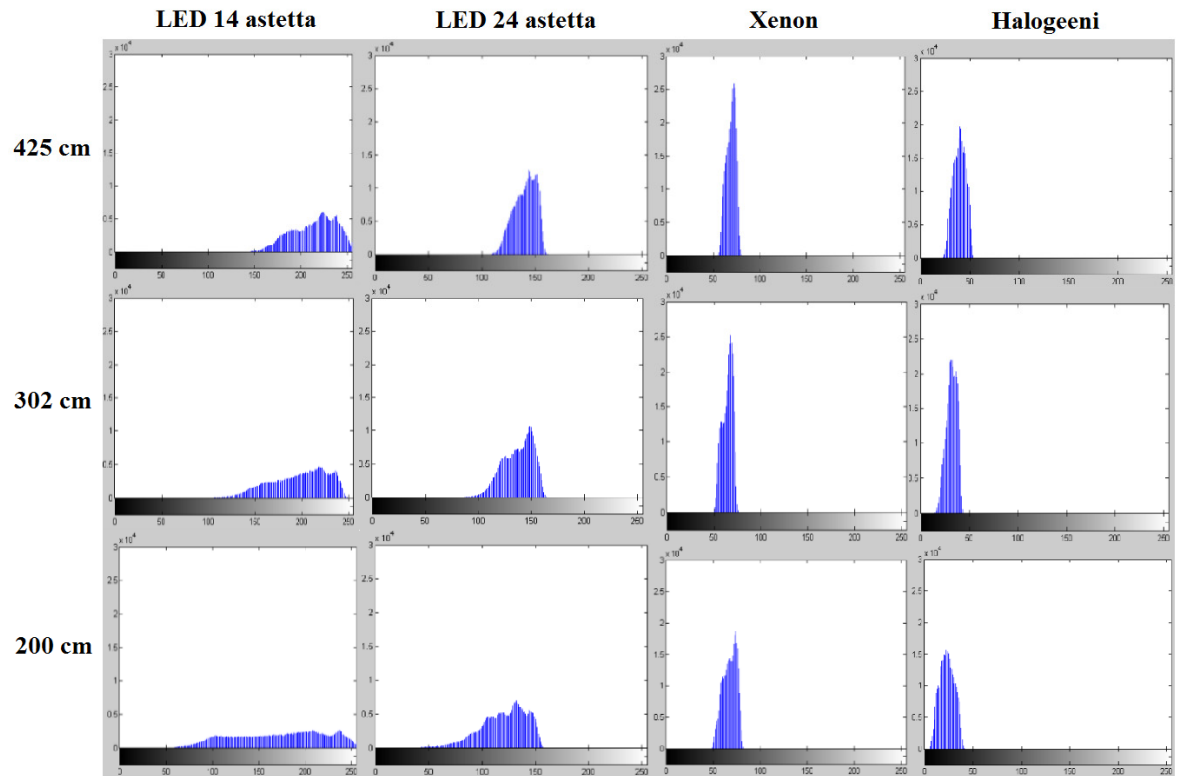
Kuva 36. Valojen kirkkaimmat kohdat

Kuva 36 on leikattu niin, että kuvissa esiintyy vain kirkkain kohta valosta. Kuvassa pystysuunnassa on etäisyydet ylhäältä alas 425 cm, 302 cm, ja 200 cm. Vaakatasossa on eri valaisimet; vasemmalta lukien teholed 14 asteen peilillä, teholed 24 asteen peilillä, halogeeni 300 W ja Xenon 50 W.

Taulukko 6. Valojen laskennalliset harmaasävyarvot

Valon etäisyys kankaasta	LED 14	LED 24	Xenon	halogeeni
200	240	150	43	78
304	237	155	36	72
425	240	153	51	75

Kuvista on etsitty suurin harmaasävyarvon (=kirkkain piste), kerrottu se 0,9:llä ja kuvista on etsitty kaikki pikselit, joiden harmaasävy on tätä suurempi ja laskettu niiden keskiarvot (taulukko 6).



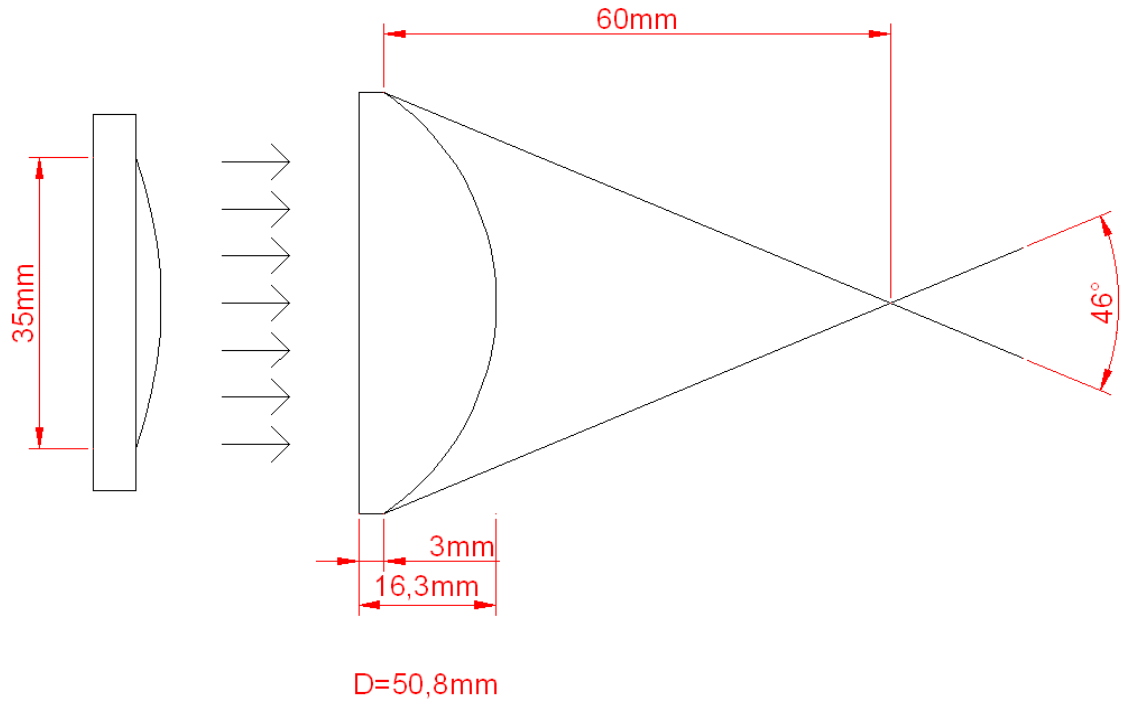
Kuva 37. Histogrammit leikatuista kuvista

Kuvassa 37 on esitetty kuvan 36 mukaisesti histogrammit kuvista, jotka ovat leikattu siten, että niissä näkyy vain kirkkain kohta. Kuvassa pystysuunnassa ovat etäisyydet ylhäältä alas 425 cm, 302 cm, ja 200 cm. Vaakatasossa on eri valaisimet; vasemmalta lukien teholed 14 asteen peilillä, teholed 24 asteen peilillä, halogeeni 300 W ja Xenon 50 W. Histogrammissa kuviot ovat siten, että mitä enemmän kuvio on oikealla, sitä kirkkaampi se on ja mitä kapeampi kuvio on, sitä tasaisempi valo.

5.3. Linssitesti

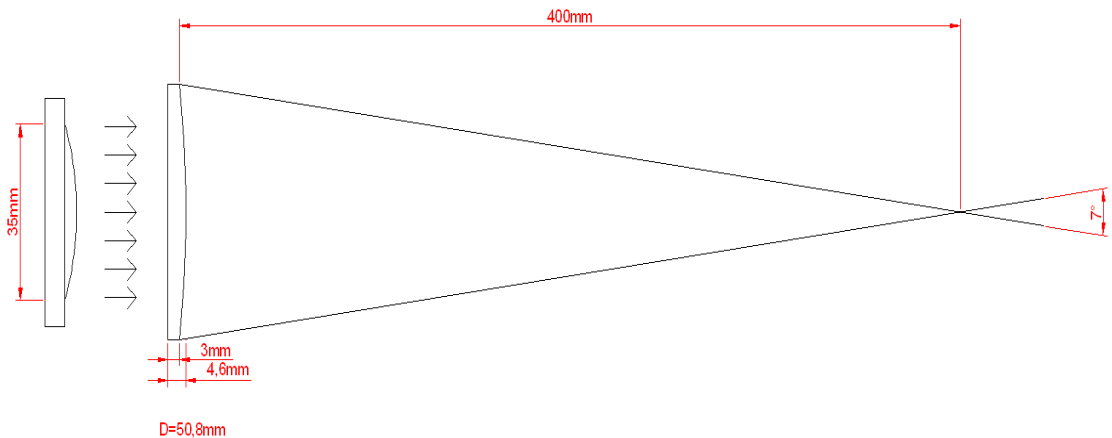
Tutkittiin, miten linssit vaikuttavat teholedin valokuvioon. Tarkoituksena oli löytää sellainen linssi, joka kokoaa valon säteet pieneksi. Päädyttiin Plano Convex -linssiin. Seu-

raavaksi esitetään, miten linssien pitäisi teoriassa toimia. HUOM. Kuvat eivät vastaa todellisuutta, mutta kuvissa esiintyvät arvot ovat oikein.



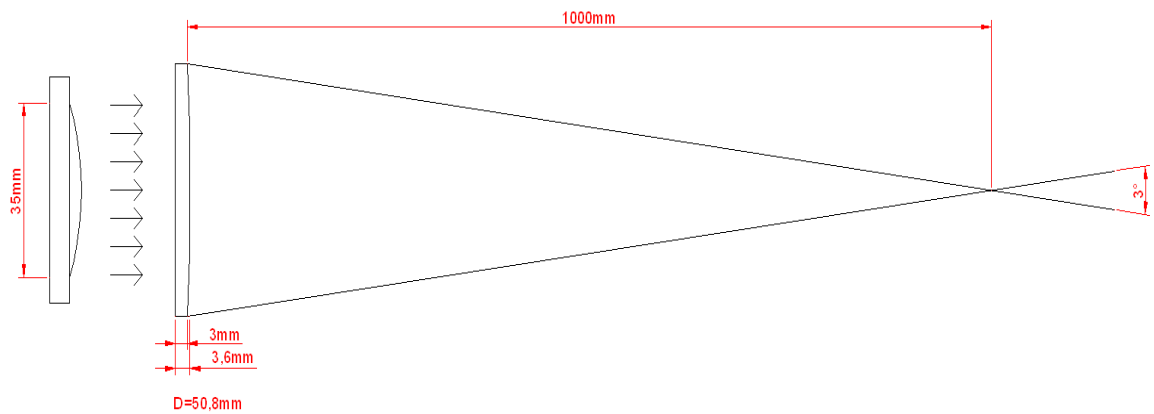
Kuva 38. Linssin halkaisija 50,8 mm ja polttoväli 60 mm, joten avauskulma on 46°

Kuvassa 38 on myös esitetty linssin paksuus sivuilla, joka on 3 mm sekä linssin paksuus keskellä, joka on 16,3 mm.

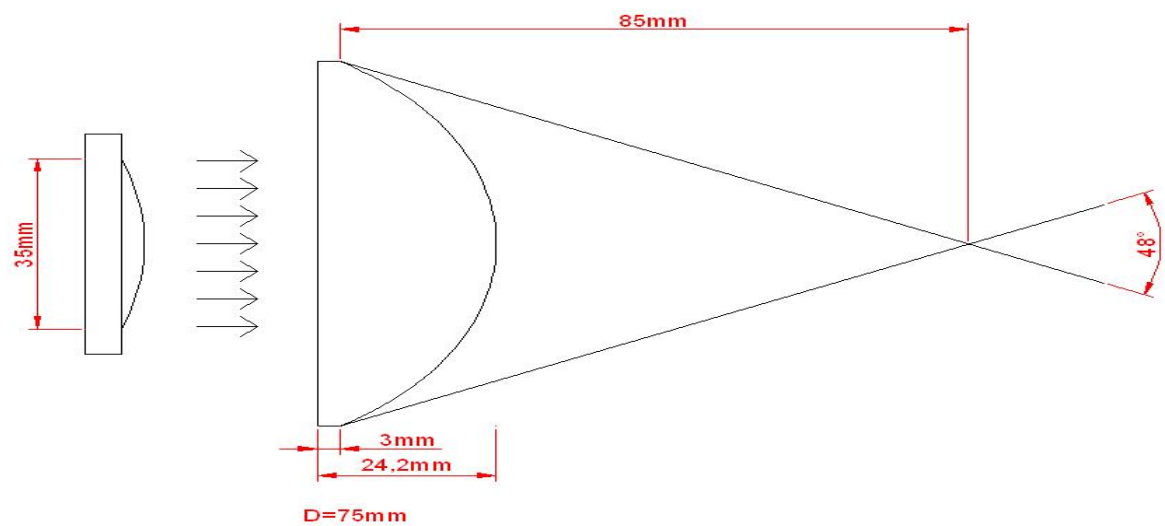


Kuva 39. Linssin halkaisija 50,8 mm ja polttoväli 400 mm, joten avauskulma on 7°

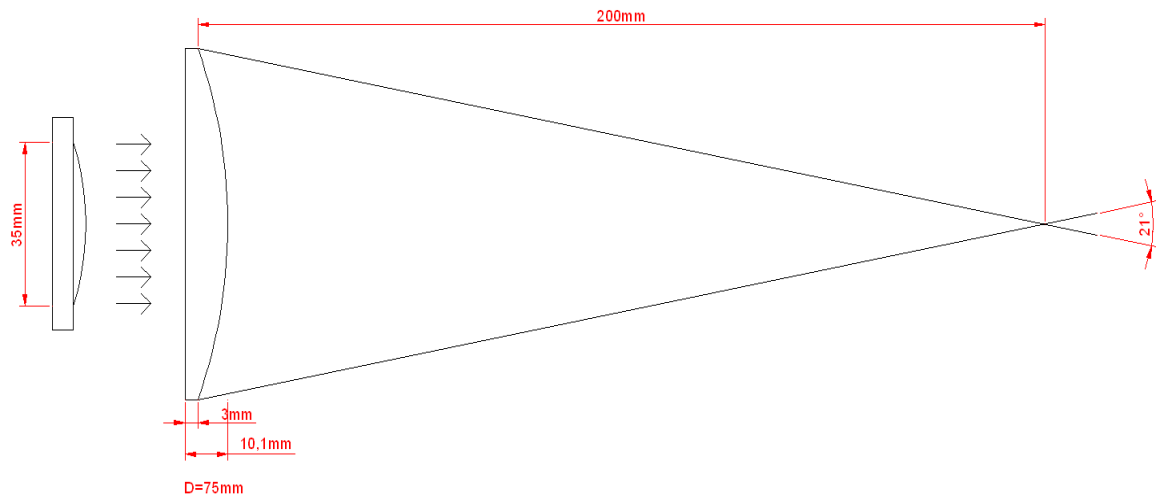
Kuvassa 39 on esitetty linssin paksuus sivuilla, joka on 3 mm sekä linssin paksuus keskellä, joka on 4,6 mm.



Kuva 40. Linssin halkaisija 50,8 mm ja polttoväli 1000 mm, joten avauskulma on 3°
 Kuvassa 40 on esitetty linssin paksuus sivuilla, joka on 3 mm sekä linssin paksuus keskellä, joka on 3,6 mm.



Kuva 41. Linssin halkaisija 75 mm ja polttoväli 85 mm, joten avauskulma on 48°
 Kuvassa 42 on esitetty linssiin paksuus sivuilla, joka on 3 mm sekä linssin paksuus keskellä, joka on 24,2 mm.



Kuva 43. Linssin halkaisija 75 mm ja polttoväli 200 mm, joten avauskulma on 21°

Kuvassa 43 on esitetty linssiin paksuus sivuilla, joka on 3 mm sekä linssin paksuus keskellä, joka on 10,1 mm.

5.3.1. Käytännön testaus

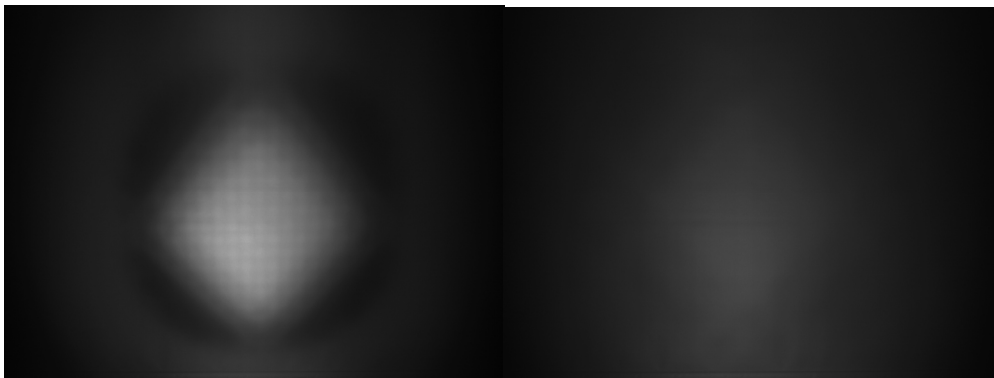
Tutkittiin ja testattiin, miten erilaiset linssit vaikuttavat teholedin valokuvioon. Linssit Thorlabs-yhtiöltä sen mukaan mitä niiden pitäisi tehdä milläkin etäisyydellä. Testeissä käytettiin seuraavanlaisia linssejä.

- \varnothing 50,8 mm, $f = 60$ mm
- \varnothing 50,8 mm, $f = 400$ mm
- \varnothing 50,8 mm, $f = 1000$ mm
- \varnothing 75,0 mm, $f = 200$ mm
- \varnothing 75,0 mm, $f = 85$ mm

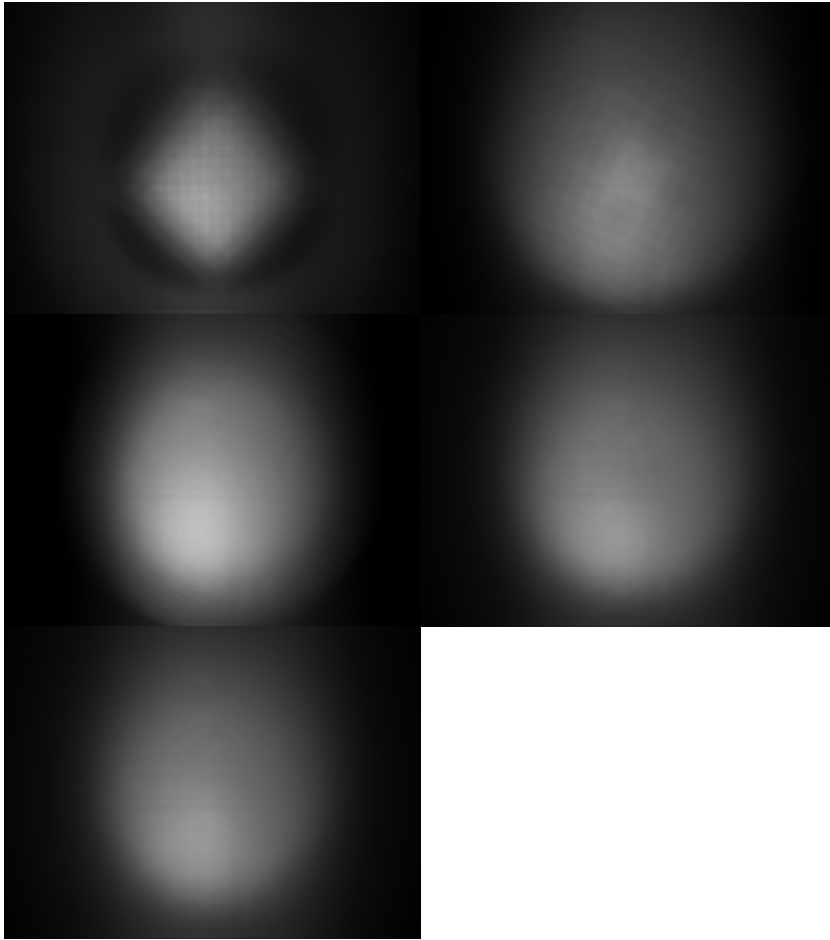


Kuva 44. Käytetyt linssit

Kuvassa 45 käytettiin linssiä LA 1401, jossa polttoväli oli 60 mm. Valon etäisyytenä oli yksi metri kankaasta. Vasemman puoleisessa kuvassa linssi on 31,7 mm:n päässä valosta ja oikeanpuoleisessa 6,7 mm:n päässä valosta. Kuvasta voidaan huomata, mitä lähemmäksi valon ja linssin välinen etäisyys lähenee 60 millimetriä, niin kuvasta erottuvat ledit kirkkaammin. Eli jos valon ja linssin välinen etäisyys on 60 millimetriä, niin kuvassa ledimatriisi näkyy kirkkaana. Ledimatriisit näkyvät hyvin kuvassa 29.



Kuva 45. Linssi LA 1401 $f = 60$ mm



Kuva 47. Eri linssien valokuviot

Kuvassa 47 on esitetty eri linssien valokuviot, kun valon etäisyys kankaasta on yksi metri. Vasemmalta ylhäältä oikealle lukien linssit ovat LA 1401 $f = 60$ mm, LA 1740 $f = 85$ mm, LA 1353 $f = 200$ mm, LA 1724 $f = 400$ mm, ja LA 1779 $f = 1000$ mm. Saadakseen oikeanlaiset valokuviot, olisi pitänyt muuttaa valon etäisyyttä aina eri linseillä. Huomattiin, että linssin ja valon etäisyydelläkin oli suuri merkitys. Kuvat on otettu samoilla kameran säädöillä ja samalla valotusajalla.

5.3.2. Tulos

Linssien testaus ilmeni odottamattoman vaikeaksi. Alussa ei osattu ottaa huomioon, että linssin ja valolähteen välinen ero vaikuttaisi niin paljon. Lisää ongelmia ilmeni, kun linssin polttoväli oli niin pieni, joten linssi olisi pitänyt viedä niin lähelle kuvattavaa kangasta ja siksi kuvaaminen oli mahdotonta. Linssitesti olisi pitänyt tehdä alusta asti erilailla.

Ongelmaksi tuli myös kuvien ylivalottuminen, kun yritti ottaa kuvaa samoilla kameran parametreilla ja samalla valotusajalla. Huomattiin, kun valonlähdettä liikutettiin, niin kulma, mistä valo tulee, muuttui suhteessa kameraan ja tämän takia ei saatu vertailukelpoisia kuvia.

Testi tällaisena jäi vajaaksi ja siihen jäi vielä paljon mietiskeltävää.

6. YHTEENVETO

Työ oli opettavainen ja erittäin mielenkiintoinen. Työssä oppi paljon uutta esimerkiksi fyysikan valo-opista. Työssä ilmaantui paljon kysymyksiä ja jäi vielä paljon asioita selvittämättäkin.

Varsinkin linssitesti jäi vähän huonoksi, kun huomattiin testien jälkeen, että testit olisi pitänyt tehdä hieman erilailla. Linssitestin jälkeen heräsi paljon mielenkiintoisia kysymyksiä. Linssitestit olisi ehkä pitänyt suunnitella paremmin ja selvittää vielä enemmän, mitä etäisyydet valon ja linssin sekä linssin ja kohteen välillä vaikuttavat. Linssitestissä ongelmaksi tuli, kun yritti samoilla kameran parametreilla ja samalla valotusajalla ottaa kuvia, niin osa kuvista ylivalottui. Ongelmaksi tuli myös se, kun valonlähdettä liikuttaa, niin kulma, mistä valo tulee, muuttuu suhteessa kameraan. Linssitestissä jäi vielä paljon mietittävää ja testailtavaa.

Jatkotutkimuksia silmällä pitäen voisi tehdä testit linseillä niin, että yrittäisi pitää kameran paikallaan ja valonlähteen etäisyyttä aina muuttaisi eri linssien kohdalla. Siinäkin ongelmaksi tulee valonlähteen kulman muuttuminen suhteessa kameraan.

Tuloksena voisi sanoa, että 14 asteen ja 24 asteen peilillä varustettu teholed on paljon kirkkaampi kuin xenon- ja halogeenivalot. Linseillä kyllä saa valokuviota muutettua, mutta jäi hieman epäselväksi, miten se tapahtuu.

7. LÄHDELUETTELO

- /1/ Bridgelux RS Array Series, Product Data Sheet [www-dokumentti]
<http://www.farnell.com/datasheets/516726.pdf> 25.1.2011.
- /2/ Delta Enterprise, Konenäköjärjestelmät, [www-dokumentti]
<http://www.automationit.hut.fi/file.php?id=606> 11.1.2011.
- /3/ Fysiikka-kemian aineenhallinta, [www-dokumentti]
http://per.physics.helsinki.fi/luokanop/3ov/3_valo/ 12.1.2011.
- /4/ Halonen, Liisa, Lehtovaara, Jorma, Valaistustekniikka. Otatieto Oy. 1992.
- /5/ Hietala, Jukka, Tehokas virtalähde teholedille, www-dokumentti]
<http://www.kolumbus.fi/hietala2/jukka/teholed/Driver.pdf> 13.1.2011.
- /6/ Konenäkö robotin ohjauksessa, [www-dokumentti]
http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c_teorija.pdf 11.1.2011.
- /7/ Konenäkö, [www.dokumentti]
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/automaatio/konenako/index.html> 11.1.2011.
- /8/ LED-valaisimien jäähtytys, Jaana Jahkonen, [www-dokumentti]
<http://lib.tkk.fi/Dipl/2009/urn100001.pdf> 13.1.2011.
- /9/ LED valaisinsuunnittelun erityisvaatimukset, [www-dokumentti]
http://www.valosto.com/tiedostot/LED_valaisimen_suunnittelu.pdf 13.1.2011.
- /10/ Moderni optiikka, Infotonics Center Joensuu, [www-dokumentti]
http://ifc.joensuu.fi/Infotonics_fin.pdf 11.1.2011.
- /11/ Pikkarainen, Henri, Elektroniikan tuotantotekniikan opinnäytetyö, 2005.
- /12/ [www-dokumentti]
https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/.../luento_5.pdf 13.1.2011.
- /13/ [www-dokumentti]
<http://www.ava.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/valonsade/spektri.html> 13.1.2011.