

Riku Pirtilä

# Kvanttavan luminanssimittauksen hyödyntäminen valaistussuunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

10.9.2013

|   |   |
|---|---|
| Tekijä<br>Otsikko<br>Sivumäärä<br>Aika  | Riku Pirtilä<br>Kuvantavan luminanssimittauksen hyödyntäminen valaistus-<br>suunnittelussa<br>42 sivua<br>10.9.2013 |
| Tutkinto  | insinööri (AMK)   |
| Koulutusohjelma   | sähkötekniikka  |
| Suuntautumisvaihtoehto  | sähkövoimatekniikka   |
| Ohjaajat  | lehtori Tapio Kallasjoki<br>diplomi-insinööri Matti T. Sinisalo   |
| <p>Tässä insinööriyössä on käsitelty luminanssin mittaamista. Työssä on keskitytty lähinnä kuvantaviin menetelmiin normaalilla digitaalikameralla. Työn pääpaino on toimistoissa, mutta myös ulkotiloihin on otettu kantaa. Eurooppalaiset valaistusstandardit eivät nykyisellään anna syytä luminanssin kattavaan mittaukseen myös sisätiloissa. Työssä on annettu paljon painoarvoa myös luminanssiin liittyville suositusarvoille ja näkökohdille. Aihe on kumminkin ajankohtainen, sillä CIE:n sisävalaistusasioita käsittelevässä kolmannessa divisioonassa valmistellaan raporttia luminanssipohjaisesta suunnittelusta. Koska tievalaistuksen suunnittelussa ja mittauksessa keskitytään pitkälti eri asioihin kuin ulko- ja sisätiloissa ja myös osa käytetyistä suureista on poikkeavia, tähän suunnittelualaan ei ole tässä työssä otettu kantaa.</p> <p>Työssä testattiin kolmea ominaisuuksiltaan erilaista ohjelmaa ja niille suunniteltuja kame-<br/>roita ottamalla huomioon niiden tarkkuus ja erikoisuudet. Ohjelmiksi valittiin iPhotoLux, PhotoLux ja LMK LabSoft. Kameroiden tarkkuutta tutkittiin vertaamalla kuvan-<br/>tavien laitteistojen antamia arvoja perinteiseen läpikatsottavaan luminanssimittariin.</p> <p>Kattavan, mutta tiiviin teoriaosuuden avulla suunnittelija voi perehtyä luminanssiin liitty-<br/>vään teoriaan ja suositusarvoihin. Työn jälkipuoliskolla on perehdytty mittalaitteistoihin, ja<br/>kuinka suunnittelija voi käyttää näitä työssään.</p> <p>Kun halutaan tietää yksinkertaisen pinnan tai pisteen luminanssi, on edelleen läpikatsotta-<br/>va luminanssimittari oikea valinta työkaluksi. Kun pintojen määrä kasvaa ja halutaan katta-<br/>via mittaustuloksia, nousee kuvantavien menetelmien etu esille. Myös havainnollisuus on<br/>omaa luokkaansa kuvantavilla menetelmillä ja näillä saadaan myös yksinkertaisemmin<br/>vertailtua eri pintojen luminanssieroja.</p> |   |
| Avainsanat  | luminanssi, näkömukavuus, kuvantava   |

|   |  |
|---|--|
| Author<br>Title   | Riku Pirtilä<br>Luminance Mapping in Lighting Design                 |
| Number of Pages<br>Date   | 42 pages<br>10 September 2013  |
| Degree  | Bachelor of Engineering  |
| Degree Programme  | Electrical Engineering   |
| Specialisation option   | Electrical Power Engineering   |
| Instructors   | Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer<br>Matti T. Sinisalo, M.Sc. (Eng.) |
| <p>This thesis handles luminance measurement, mostly focusing on luminance mapping with a hand-held digital camera. Because at the moment there is not a proper reason for extended use of luminance measurement regarding the Finnish code of practice of lighting, this research pays attention to understanding of luminance and its limits, primarily focusing on interior office premises. The subject of the thesis is current because at the moment, CIE's indoor lighting division is preparing a report about luminance in lighting design. Because there are different expectations and code of practices for road lighting and for interior- and exterior lighting, the research does not take a stand on it.</p> <p>Three pieces of equipment with different kinds of properties were tested in this research considering their accuracy and specialties. Software chosen for this research are iPhotoLux, PhotoLux and LMK LabSoft. Accuracy testing was made by comparing values measured with cameras to a common telephotometer.</p> <p>With a compact theory part at the beginning of this study, the designer can get information on aspects of luminance and guidelines. The second half of the paper introduces the designer to luminance mapping and how one can benefit from these pieces of equipment at work.</p> <p>Results show that if a measure target is only simple surface or obvious spot luminance, a telephotometer is still a valid tool for that. When there are more surfaces to measure and it is necessary to get extensive understanding of the surface luminance, luminance mapping is a competent tool for that. With luminance mapping it is easier to create visuals and with these it is easier to compare luminances.</p> |  |
| Keywords  | luminance, visual comfort, luminance mapping                         |

## Sisällys

### Käsitteet ja lyhenteet

|     |                                       |    |
|-----|---------------------------------------|----|
| 1   | Johdanto                              | 1  |
| 2   | Pinnan vaikutus valaistukseen         | 2  |
| 2.1 | Luminanssi                            | 2  |
| 2.2 | Heijastuminen                         | 3  |
| 2.3 | Heijastussuhde                        | 4  |
| 3   | Näkömukavuus                          | 8  |
| 4   | Luminanssin mittaaminen               | 17 |
| 4.1 | Mittaaminen ilman kameraa             | 18 |
| 4.2 | Mittaaminen kuvantavilla menetelmillä | 19 |
| 5   | Kvanttavat menetelmät                 | 23 |
| 5.1 | Tarkkuuden testijärjestely            | 24 |
| 5.2 | iPhotoLux-ohjelma                     | 27 |
| 5.3 | LMK LabSoft -ohjelma                  | 29 |
| 5.4 | PhotoLux-ohjelma                      | 35 |
| 6   | Johtopäätökset                        | 38 |
|     | Lähteet                               | 41 |

## Käsitteet ja lyhenteet

|                    |   |
|--------------------|---|
| CIE                | International Commission on Illumination (ransk. Commission Internationale de l'Éclairage). Kansainvälinen järjestö, joka on erikoistunut tutkimaan ja jakamaan tietoa näkemisestä, valaistuksesta, väreistä ja kuvatekniikasta.  |
| Epäsuora valaistus | Menetelmä, jossa valaisin ei valaise suoraan työaluetta, vaan valovirrasta 90 - 100 % heijastuu työalueelle esim. katoista tai tähän tarkoitukseen asennetusta heijastimesta.   |
| Ergonomia          | Ergonomia on tekniikan ja toiminnan sovittamista ihmiselle niin, että kokonaisuus on mahdollisimman mukava, eikä aiheuta pitkässäkin juoksussa rasitusta fyysiselle tai psyykkiselle kunnolle. Ergonomiatila on tila, jossa vaaditaan hyvää ergonomiia.   |
| HDR-kuvaus         | <i>High Dynamic Range</i> eli laajan valotusalueen kuvaus, jossa otetaan samasta näkymästä useita kuvia eri valotuksilla, jotka sitten yhdistetään yhdeksi kuvaksi tietokoneohjelmalla. Näin saadaan kaikille kuvan pikseleille valon intensiteetti ja värikoordinaatti, mikä mahdollistaa kuvan paremman muokkaamisen. |
| IESNA              | Illuminating Engineering Society of North America tai lyhyemmin IES. CIE:tä vastaava järjestö, joka toimii Yhdysvalloissa.  |
| Heijastussuhde     | Pinnalta heijastuneen valovirran suhde pinnalle tulleeseen valovirtaan, mikä ilmaistaan prosentteina tai murtolukuna.   |

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Luminanssi                | Luminanssi kuvaa pinnan lähettämää valoa havainnointisuuntaan. Sen yksikkö on kandela/neliometri [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ] ja tunnus L. Luminanssista voidaan käyttää yleiskielessä nimitystä valotiheys.               |
| Luminanssisuhde           | Suhdeluku pienimmän ja keskimääräisen luminanssiarvon välillä.   |
| Munsellin värikartta      | Värien määrittämiseen tehty värikartta, josta saadaan selville myös heijastussuhde.  |
| Negatiivinen polariteetti | Näytön tai työkohteen luminanssisuhdetta kuvaava ilmaus, joka tarkoittaa sitä, että merkit ovat vaaleammat kuin tausta.  |
| Positiivinen polariteetti | Näytön tai työkohteen luminanssisuhdetta kuvaava ilmaus, joka tarkoittaa sitä, että merkit ovat tummemmat kuin tausta.   |
| Sopeutumistaso            | Se luminanssitaso, johon silmä on sopeutunut tietyllä hetkellä. Määräytyy pisteestä, johon silmä on kohdistunut.   |
| Näytön luminanssi         | Mitataan näytön valkoisen osan maksimiluminanssista. Suurluminanssinäytöissä valkoisen osan luminanssi $> 200 \text{ cd}/\text{m}^2$ ja pienluminanssinäytöissä $\leq 200 \text{ cd}/\text{m}^2$ .                       |
| Valaiseva pinta           | Tässä työssä käytetään käsitettä myös pinnasta, joka todellisuudessa vain heijastaa tai läpäisee valoa. Se, että heijastaa vai emittoiko pinta valoa, on yhdentekevää, kun ei olla kiinnostuneita sähköisistä suureista. |
| Valaistusvoimakkuus       | Valaistusvoimakkuus on pinnalle tulleen valovirran määrä suhteessa pinta-alaan. Sen yksikkö on lumen/neliometri [ $\text{lm}/\text{m}^2$ ] tai lyhyemmin [ $\text{lx}$ ] ja tunnus E                                     |
| Valovoima                 | Valovoima on valaisimen lähettämä valon määrä tiettyyn suuntaan. Sen yksikkö on kandela [ $\text{cd}$ ] ja tunnus I.   |

|                        |   |
|------------------------|---|
| Valovirta              | Valovirta on lampun lähettämä valovoima koko ympäröivään avaruuteen. Sen yksikkö on lumen [lm] ja tunnus $\phi$ .   |
| Valaistuksen tasaisuus | Valaistuksen tasaisuus tarkoittaa alueella olevan hämärimmän pisteen valaistusvoimakkuuden suhdetta keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen.   |
| Työalue                | Alue, jonka sisällä varsinainen näkötehtävä suoritetaan. Työalue ei välttämättä viittaa työskentelyyn, vaan sillä voidaan tarkoittaa tässä yhteydessä myös liikkumista tai rentoutumista. |

## 1 Johdanto

Tässä insinööriytyössä tutkitaan luminanssin mittaamista helpottavia kuvantavia menetelmiä, huomioiden erityisesti niiden helppokäyttöisyys. Koska luminanssista ei liiemmin puhuta eurooppalaisissa standardeissa, tässä työssä perehdytään myös luminanssiin liittyviin suunnittelukohtiin. Pääpaino teoriaosuudessa on toimistoissa, sillä suurin osa insinööritoimiston kohteista on toimistorakennuksia.

Työ tehtiin Granlund Oy:lle, joka tarjoaa useiden suunnittelualojen lisäksi valaistus-suunnittelua niin ulko- kuin sisävalaistuskohteisiin. Yhtiössä oletetaan, että kuvantavat mittausmenetelmät voisivat tuoda lisäarvoa suunnitteluun varsinkin saneerauskohteissa, koska niiden avulla pystyttäisiin visuaalisesti esittämään, mitkä alueet vaativat lisävalaistusta tai muuta kunnostusta esimerkiksi heijastussuhteiden osalta. Jos kuvista saataisiin helposti luminanssisuhteet, voitaisiin esittää ongelma-alueet ja ryhtyä jatko-toimenpiteisiin.

Luminanssin mittaaminen kenttämittauksiin tarkoitetulla luminanssimittarilla on aikaa vievää, jos halutaan kattava käsitys tilan luminansseista. Tähän ongelmaan on ollut jo yli kymmenen vuotta ratkaisu kuvantavien menetelmien puolella, mutta mittalaitteistot ovat olleet, ja ovat osin vieläkin, hintavia. Kun valaistuksen suunnittelukriteerit ovat perustuneet suurelta osin pelkkään valaistusvoimakkuuteen, ei ole ollut tarpeellista hankkia kuvantavia mittalaitteistoja (1).

Nyt kuitenkin näyttää siltä, että luminanssiperusteisten kriteerien merkitys on kasvanut sisävalaistuksessa ja niitä on alettu huomioida enemmän. Kansainvälisen valaistujärjestön CIE:n sisävalaistusasioita käsittelevä kolmas divisioona valmisteleo raporttia luminanssipohjaisesta suunnittelusta, minkä jälkeen on odotettavissa suosituksia suunnitteluun (2; 3). Oletettavasti luminanssiperusteisen suunnittelun ja luminanssien mittaamisen merkitys kasvaa tulevaisuudessa. Jos suunnittelijat jo nyt alkavat totutella luminanssien laajempaan huomioimiseen, on niiden sisällyttäminen suunnitteluun tulevaisuudessa helpompaa.



## 2 Pinnan vaikutus valaistukseen

### 2.1 Luminanssi

Ihminen aistii valon luminansseina pinoilla ja luminanssierot mahdollistavat tehokkaan näkemisen. Suomalainen vastine sanalle on valotiheys, joka kumminkin kuulostaa sen verran vieraalta korvaan, että tässä työssä käytetään termiä luminanssi. Usein kuulee puhuttavan pintakirkkaudesta, joka viittaa enemmänkin englannin termiin *brightness*, joka on täysin eri asia. Tämä on niin sanotusti aistinvarainen *suure*, jota ei voida mitata. Se riippuu ihmisen kyvystä havaita valoisuus, kuten iästä ja kyseisten silmien ominaisuuksista, luminanssisuhteista ja valaisimien tai ikkunoiden valonjaosta. Luminanssin yksikkö on [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ] kandela neliömetriä kohden ja tunnus L. Luminanssin yleinen kaava on

$$L = \frac{d\Phi}{dA * \cos\theta * d\Omega} \quad (1)$$

*dΦ on pinnalle tuleva valovirta, joka sisältää suunnan*

*dA on pinta – ala, jolle valovirta kohdistuu, sisältäen paikan*

*cosθ on pinnan normaalin ja valonsäteen välinen kulma.*

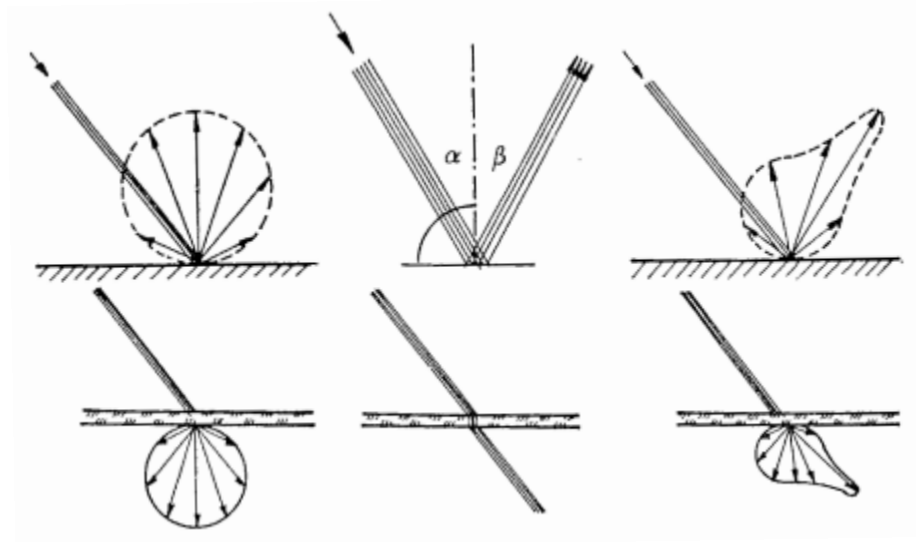
Luminanssi on teoriassa pinnan lähettämä, läpäisevä tai heijastava valovoima tietyssä äärettömän pienessä avaruuskulmassa ja suhde tätä suuntaa vastaan kohtisuorassa tasossa olevan pinnan projektion pinta-alaan. Kuitenkaan luminanssiarvojen muutokset eivät sovellu aritmeettiseen tarkasteluun käytännössä. Toisin sanoen, kun luminanssiarvo kasvaa tietyn kertoimen verran silmän aistima kirkkaus ei muutu samassa suhteessa, vaan kuten monet muutkin aistit, muutos on likimain logaritmisella merkityksellisillä alueilla. Jos silmän sopeutumistaso pysyisi muuttumattomana, voitaisiin sanoa, että kun luminanssi kasvaa kymmenkertaiseksi on silmän aistima kirkkaus kaksinkertaistunut. Kumminkaan tämä ei käytännössä päde, sillä silmä sopeutuu koko ajan valitsevaan tilanteeseen.

Pienin luminanssimuutos, jonka silmä havaitsee, on noin 2 - 3 % sopeutumisarvosta. (4, s. 23 - 25.) Kaavasta ja määritelmästä voidaan huomata, että luminanssiin vaikuttaa valovoima, pinta-ala ja tulokulma. Kun valovoimaan vaikuttaa silmänherkkyyskäyrä  $v(\lambda)$ , joka on mitattu kahden asteen näkökartiossa, on myös luminanssi määritetty kahden asteen näkökartiossa. Tässä kahden asteen näkökartiossa sijaitsee pääasiassa

vain tappisoluja, jotka osallistuvat näkemiseen, kun luminanssi on yli  $0,001 \text{ cd/m}^2$  ja hallitsevat näkemistä, kun luminanssi on yli  $3 \text{ cd/m}^2$ . Kumminkin tätä määritelmää käytetään toistaiseksi kaikissa tilanteissa, vaikka luminanssitasot olisivat alle  $3 \text{ cd/m}^2$ . Tämän lisäksi luminanssiin vaikuttaa pinnan heijastussuhde ja sen optiset heijastus- tai taitto-ominaisuudet.

## 2.2 Heijastuminen

Valon käyttäytymiseen vaikuttaa olennaisesti myös pinnan heijastus- tai läpäisyominaisuudet, jotka on esitetty kuvassa yksi.



Kuva 1. Vasemmalta oikealle haja-, suunta- ja sekaheijastus; taittuminen vastaavasti alla (4, s. 31)

Kun pinta on täydellisesti hajaheijastava, ja siihen osuu valonsäde, pinta näyttää yhtä kirkkaana jokaiseen suuntaan. Kun valo käyttäytyy pinnalla näin, sitä kutsutaan Lambertin lain mukaan hajonneeksi. Tällöin kaava pinnan luminanssille on

$$L = \frac{\rho E}{\pi} \quad (2)$$

*L on pinnan luminanssi*

*$\rho$  on heijastussuhdeluku*

*E on pinnan valaistusvoimakkuus.*

Jos pinta on täydellisesti suuntaheijastava ja tarkkarajainen valonsäde heijastuu siitä saavuttamatta silmää, pinta näyttäytyy pimeänä. Tällöin pinnan luminanssin kaava on

$$L = \rho L_v, \quad (3)$$

$L_v = \text{valonlähteen luminanssi valon tulosuuntaan},$

mutta heijastunut luminanssi on tällöin vain tulokulmaa vastaavaan heijastuskulmaan. Nämä pätevät vastaavasti läpäiseville pinnoille. Käytännössä lähellä näiden teoreettisten pintojen ominaisuuksia ovat valkoinen normaali tulostuspaperi ja peili, mutta usein pinnat kumminkin ovat jotain näiden heijastusten välillä, jolloin niitä kutsutaan sekaheijastaviksi, ja yllä olevat kaavat eivät niihin päde. Kuten useat maalatut pinnat, sekaheijastavat pinnat näyttäytyvät johonkin suuntaan kirkkaammalta kuin toiseen riippuen valon tulokulmasta. Kuitenkin sekaheijastavat pinnat näyttäytyvät jokaisesta suunnasta tarkasteltuna valaistuilta. Luminanssien laskenta myöskään valaistuksenlaskentaohjelmilla ei ole virheetöntä, sillä esimerkiksi DIALuxiin ei pystytä määrittämään muun kaltaista pintaa kuin Lambertin lain mukaan heijastava, jolloin sillä, mistä suunnasta pintaa ohjelmassa tarkastellaan, ei ole merkitystä luminanssiarvolle.

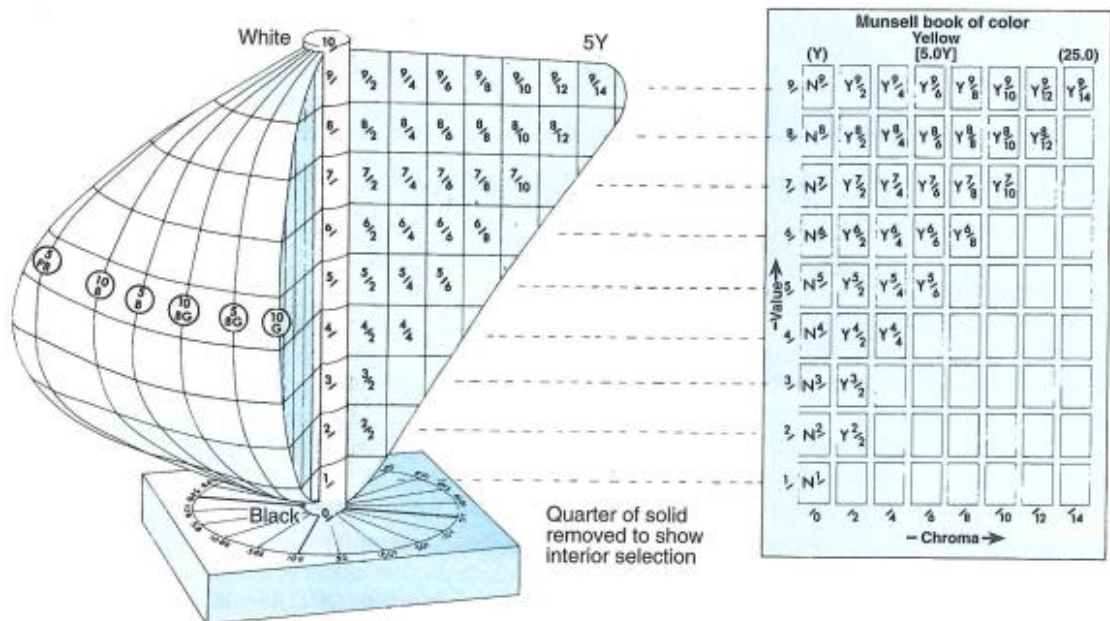
### 2.3 Heijastussuhde

Pintojen heijastussuhteet ovat olennaisia pintaluminanssin kannalta. Heijastussuhde on pinnalta heijastuneen valovirran suhde pinnalle tulleeseen valovirtaan. Sen voi mieltää pinnan valoa absorboivana ominaisuutena. Sisätyöpaikkojen valaistusstandardissa on suositettu arvoja pintojen heijastussuhteille seuraavasti:

- sisäkatto 0,7 - 0,9
- seinät 0,5 - 0,7
- lattia 0,2 - 0,4 (1, s. 16).

Samansuuntaisia arvoja suosittaa myös IESNA (Illuminating Engineering Society of North America). IESNA:n käsikirjassa osalle pinnoista suositetut heijastussuhteet ovat vieläkin suurempia. Tilanjakajille ja kalusteille IESNA suosittaa arvoja 0,4 - 0,7 ja 0,25 - 0,45 (5, s. 11-2).

Heijastussuhde vaikuttaa pintaluminanssiin niin, että kun heijastussuhde pienenee, pienenee myös pintaluminanssi. Jos maalataan seinä täysin mattamustalla maalilla, jonka heijastussuhde on nolla, pintaa ei saada kirkkaaksi edes tehokkaalla valopesulla. Tämä pätee yhtäläillä myös tiloille. Jos heijastussuhteet ovat pienet, tilaa ei saada vaikuttamaan valoisalta riippumatta valaistusvoimakkuudesta. Munsellin värikarttaa (kuva 2) voidaan käyttää apuna, kun valitaan värejä tiloihin, joissa vaaditaan hyvää näköergonomiaa, sillä tämän värikoodiston avulla saadaan helposti selville myös heijastussuhde.



Kuva 2. Munsellin värikartta (5, s. 4-12)

Munsellin värikartastossa x-akselin arvo korreloi värikylläisyyttä, ja y-akselilla oleva arvo 10 - 0 korreloi heijastussuhdetta. Tämä korrelaatio (kuva 3, ks. seur. s.) on kumminkin tarkasti voimassa vain, kun värejä tarkastellaan päivänvalossa. Eri värit löytyvät ympyrältä niin, että ympyrä on jaettu sataan osaan. Jokaisesta väristä on viisi eri pääsävyä ja värien välissä välivärit, joista on myös viisi eri sävyä.

| Munsell Value | Luminous Reflectance<br>Factor (percent) |
|---------------|--|
| 10.0          | 100.0                                    |
| 9.5           | 87.8                                     |
| 9.0           | 76.7                                     |
| 8.5           | 66.7                                     |
| 8.0           | 57.6                                     |
| 7.5           | 49.4                                     |
| 7.0           | 42.0                                     |
| 6.5           | 35.3                                     |
| 6.0           | 29.3                                     |
| 5.5           | 24.0                                     |
| 5.0           | 19.3                                     |
| 4.5           | 15.2                                     |
| 4.0           | 11.7                                     |
| 3.5           | 8.8                                      |
| 3.0           | 6.4                                      |
| 2.5           | 4.5                                      |
| 2.0           | 3.0                                      |
| 1.5           | 2.0                                      |
| 1.0           | 1.2                                      |
| 0             | 0  |

Kuva 3. Muuntotaulukko Munsell-arvosta heijastussuhteeksi (5, s. 4-12)

Värikoodia tulkitaan niin, että ensimmäinen numero ilmaisee sävyn ja kirjain sen perässä värin. Toinen numero ilmaisee kirkkauden, ja siitä jakoviivalla erotettu viimeinen numero kylläisyyden. Värikartasta voidaan huomata, miten saman kylläisyysasteen omaavat kaksi eri väriä voivat heijastaa valoa huomattavan eri tavalla. Esimerkiksi miten keltaisen (5Y 8/12) heijastussuhde on 57,6 mutta kirkkaimman saman kylläisyyden omaavan punaisen (5R 6/12) heijastussuhde onkin enää 29,3.

Valaistussuunnittelu perustuu edelleen pitkälti valaistusvoimakkuuteen [lx], jonka määrittää lamppujen valovirta [lm] ja pinta-ala, jolle valovirta jakautuu. Syynä tähän on varmasti pitkälti se, että valaistusvoimakkuus on helpompi mitata, eikä se vaadi niin paljon lähtötietoja.

Usein projektien alkupuolella onkin niin, että suunnittelijalla ei ole tietoa tilan pintojen väreistä. Pinnan värityksen vaikuttaessa luminanssiin, on valaistussuunnittelijan yksinkertaisempaa edetä valaistusvoimakkuusperusteisesti, jolloin tarvittava suure on mahdollista määrittää ilman, että tiedetään pinnan väriä, jolle valaistus kohdistuu. Jos valaistussuunnittelu etenee muun suunnittelun kanssa samaan tahtiin, voi olla, että valaistusratkaisut ovat jo pitkälti päätetty, ennen kuin pintojen värit ovat tiedossa. Toinen tilanne, jossa pintojen värejä ei oteta valaistuksessa huomioon, on silloin kuin tilan omistaja vaihtuu tai tilaa kunnostetaan. Tällöin saatetaan uusia pintavärit, mutta tekniikka jätetään kumminkin ennalleen.

Heijastussuhteen vaikutuksen suuruus valaistusvoimakkuuteen riippuu käytettävästä valaistustavasta. Suorassa valaistuksessa heijastussuhde ei merkittävästi vaikuta työalueen, alue jolla toiminta tapahtuu, valaistusvoimakkuuteen, koska valovoima kohdistuu suoraan tälle alueelle. Heijastussuhde vaikuttaa valaistusvoimakkuuteen merkittävästi, jos käytetään epäsuoraa- tai suoraa/epäsuoraa valaistusta. Valaistusta kutsutaan epäsuoraksi, jos 90 - 100 % valovoimasta kohdistuu kattoon tai seinien yläosiin, josta se sitten heijastuu työalueelle pintojen heijastussuhteen määräämällä tehokkuudella.

Jos päädytään käyttämään epäsuoraa valaistusta, on myös sisustussuunnittelijan syytä olla tietoinen tästä, sillä tätä menetelmää käytettäessä pintojen heijastussuhteiden on syytä olla mahdollisimman suuria, kun suunnitellaan tiloja, joissa vaaditaan suurta valaistusvoimakkuutta. Jos oletetaan, että käytetään pelkästään epäsuoraa valaistusta ideaalivalaisimella, jossa ei ole häviöitä, määrittävät heijastussuhteet koko asennuksen hyötysuhteen. Jo pelkästään mahdollisimman valkoinen maali on heijastussuhteeltaan 0,9, joka tarkoittaa 90 % hyötysuhdetta tässä kuvitellussa systeemissä. Toki tällöin täytyy myös olettaa, että valaisin ei varjosta katosta heijastuvaa valoa.

Kun kasvavissa määrin ollaan kiinnostuneita myös energiankulutuksesta, olennaista on saavuttaa tavoiteltu valaistusvoimakkuus mahdollisimman pienellä teholla. Jos pintamateriaalit ovat tummia, häiritsee se valon heijastumista työalueille, jolloin voidaan joutua käyttämään suhteettoman paljon energiaa valaisemaan työaluetta.

Todella harvoin on mahdollista kohdistaa kaikki valo horisontaalitasoon ja vaikka tämä olisikin mahdollista, näin ei kannattaisi toimia. Tällä tavalla ei saavuteta ergonomista työskentely-ympäristöä, sillä näin ei saada riittävän tasaista luminanssijakaumaa työkohteen ja lähiympäristön välille. Seinä- ja kattopinnat ovat usein tasahajottavia, mikä edistää niiden valaistusta tasoittavaa vaikutusta. Kun katto rajaa tilan pystysuunnassa, sieltä heijastunut valo leviää mahdollisimman laajalle alueelle tilaan.

Valon kohdistaminen horisontaalitasoon ei myöskään ole uusimman standardin (1) mukaista, sillä siinä on annettu myös valaistusvoimakkuudet ja -tasaisuudet suljettujen tilojen tärkeimmille pinnoille, katolle 30 lx ja seinille 50 lx, molempien tasaisuus 0,1. Valaistuksen tasaisuudella tarkoitetaan pienimmän valaistusvoimakkuuden suhdetta keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen. Kumminkin monille tiloille, kuten koulut ja toimistot, suositetaan vieläkin suurempia arvoja, seinille 75 lx ja katolle 50 lx. Kun näiden lisäksi tilan pinnoille on suositettu heijastussuhteet, saadaan tilan luminanssit

tasapainoon ilman, että tarvitsee itse asiassa puhua luminansseista yhtään mitään. Tämä vain edellyttää sitä, että suunnittelijat huomioivat myös nämä pystypintojen valaistusvoimakkuussuosituksot suunnitelmissaan. Pystypinnoista heijastunut hajavalot myös tasoittaa horisontaalitason valaistusvoimakkuutta, mikä on hyväksi lopputulokselle.

### 3 Näkömukavuus

Näkömukavuuteen vaikuttaa pääasiassa näkökentässä olevien pintojen luminanssi-contrasti, joka itse asiassa mahdollistaa sen, että hahmotamme ympäröivän todellisuuden. Kun tiloja suunnitellaan ihmisille, on ristiriitaista, että suunnittelun pääpaino on valaistusvoimakkuudessa, vaikka emme itse asiassa havaitse kyseistä suuretta ollenkaan.

Valoisuusvaikutelma käsittää suuremman näkösektorin kuin luminanssi, joka on määritelty vain kahden asteen näkökartiossa. Siihen kuinka valoisalta tila vaikuttaa, vaikuttaa pääasiassa useiden pintojen luminanssisuhteet, jolloin ihmisen on havaittava laajempi alueen kuin tuon kahden asteen näkökartio. Kumminkin lukunopeuteen ja virheettömyyteen vaikuttaa vain työkohteen luminanssi-contrasti. Joten, vaikka tila saadaan vaikuttamaan valoisalta tehokkaalla seinien valopesulla, työalueen valaistukseen on kiinnitettävä myös huomiota. Vallitseva valaistustilanne koostuukin aina tilan kaikista pinnoista.

Sisätyöpaikkojen valaistustandardissa (1) sanotaan, että hyvässä valaistuksessa on valaistusvoimakkuuden lisäksi oleellista: luminanssijakauma, valon suuntaus, valon vaihtelevuus ja häikäisy. Kaikkien näiden huomioiminen sisätilojen valaistussuunnittelussa on haasteellista, kun pitäisi samaan aikaan tehdä tilasta viihtyisä ja mielenkiintoinen, kumminkin huomioiden myös valaistusergonomia ja näkötehokkuus. Tämä vaikuttaa työtehokkuuden lisäksi ihmisten viihtyvyyteen, minkä voi mieluummin ajatella syyseuraus-suhteena kuin kahtena erillisenä asiana. Toki tähän tehokkuuteen vaikuttaa moni muukin asia.

Onneksi kumminkin tilat voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään toiminnan perusteella: tiloihin, joissa oleskellaan pitkiä aikoja, ja työtehtävä vaatii keskittymistä pieniin yksityiskohtiin, kuten tekstiin; tiloihin, joissa työtehtävä ei vaadi pitkäaikaista keskittymistä

yksityiskohtiin. Näistä jälkimmäisessä ei tarvitse keskittyä näköergonomiaan, vaan voidaan käyttää myös suurempia luminanssisuhteita tekemään tilasta mielenkiintoinen.

Ihmissilmä pystyy havainnoimaan todella laajan alueen luminansseja, mutta tämä vaatii sopeutumisen vallitsevaan luminanssitason. Sopeutuminen vaatii silmän lihasten liikettä ja aivotyöskentelyä. Vaikka kohteen luminanssisuhte ei olisi liian suuri, voivat suurilla pinnoilla nähdyt tasaiset suhteellisen pienetkin kontrastierot aiheuttaa päänsärkyä, kun silmä joutuu sopeutumaan jatkuvasti uuteen luminanssitason, esimerkiksi katsottaessa valkoista paperia, jossa on tasapaksuja mustia raitoja. Myös pelkästään pitkäaikainen tekstiin keskittyminen voi aiheuttaa vastaavaa epämukavuutta.

Epätasaisessa luminanssijakaumassa on kaksi asiaa, jotka aiheuttavat ongelmia riippuen epätasaisuuden laadusta: suuret kontrastierot ja häikäisy. Sopiva luminanssitasaisuus tekee tilasta miellyttävän silmälle, mutta liian tasainen luminanssijakauma tekee tilasta yksitoikkoisen ja hämmentävän. Jos luminanssijakauma on liian tasainen, syvyysnäkö ja pintojen erottaminen häiriintyy. Luminanssitasaisuus on pienimmän luminanssin suhde keskimääräiseen.

Luminanssisuhde, tai teknisemmin ilmaistuna luminanssikontrasti, voidaan laskea kolmella eri tavalla riippuen käyttötarkoituksesta. Sisätyöpaikoilla tai muissa tiloissa voidaan käyttää ensimmäistä kaavaa, joka soveltuu hyvin kohteisiin, joissa jompikumpi alueista voidaan ajatella kohteena tai tausta-alueena.

$$C = \frac{(L_g - L_l)}{L_g} \quad (4)$$

$C$  = kontrastisuhte

$L_g$  = suurempi luminanssi

$L_l$  = pienempi luminanssi

Weberin kontrasti soveltuu esimerkiksi kohteille, kuten painetut tekstit tai muut näkökohteet. Weberin kontrasti lasketaan kaavalla

$$C = \left| \frac{(L_t - L_b)}{L_b} \right| \quad (5)$$

$L_t$  = kohteen luminanssi

$L_b$  = taustan luminanssi.



Tapauksissa, joissa pinnalla toistuu jokin kuvio tai luminanssi tasaisesti, kuten pintakuviointit, voidaan käyttää Michelsonin kontrastia, joka lasketaan kaavalla

$$C = \frac{(L_{\max} - L_{\min})}{(L_{\min} + L_{\max})}. \quad (6)$$

IESNA:n käsikirjan mukaan työkohteen ja lähialueen välisen luminanssieron ei olisi syytä olla suurempi kuin 1:3. Myös Suomen Valoteknillinen Seura (SVS) on suosittanut näitä suhteita vanhassa käsikirjassaan, josta ei ole tehty uudempia julkaisuja 80-luvun jälkeen. Luminansseja laskettaessa tai mitatessa työkohteena on se nimenomainen asia minkä kanssa tilassa työskennellään, toimistossa yleensä tietokoneen taustavalaistu näyttö tai valkoinen paperi. Jos työkohteena on valkoinen paperi, tämä yleensä 500 lx:n valaistusvoimakkuudessa tarkoittaa sitä, että myös pöydän olisi syytä olla suhteellisen vaalea.

Lähialue on 0,5 m levyinen alue työpöydällä työkohteen ympärillä. Tähän sisältyy myös seinäpinnat tai sermit, jos ne ovat tämän alueen sisällä. Kun nykyaikana suuri osa toimistotyöstä on näyttöpäätetyöskentelyä, voisi olla aiheellista ajatella lähialuetta hieman laajemmin. Kun lähialue on tarkoitettu alueeksi, joka on työkohteen vieressä, olisi lähialueen pinta syytä nostaa horisontaalitasoon näytön kohdalle ja tutkia mihin katse hakeutuu, kun se siirtyy näytöstä sivuun. Jos tilassa ei ole sermejä, voi olla, että katse itse asiassa karkaakin metrien päähän, vaikka se siirtyisi horisontaalitasossa vain 10 cm sivuun.

Jos näkökentässä on jatkuvasti kohteita, joiden luminanssisuhde verrattuna työalueeseen on suurempi kuin 1:3, silmän hermosto rasittuu. Tämä arvo ylittyy helposti tilanteissa, joissa joudutaan työskentelemään sekä piirustusten, että negatiivisen polariteetin näytöillä. Negatiivinen polariteetti tarkoittaa näyttötekniikassa sitä, että merkit ovat vaaleat ja tausta tumma, kuten yleensä teknisillä suunnittelijoilla. Tällöin, jos tilan valaistusvoimakkuus on 500 lx, on valkoisen paperin luminanssi noin 130 cd/m<sup>2</sup>, ja näytön keskimääräinen luminanssi noin 30 cd/m<sup>2</sup>, jolloin ylittyy suositusluminanssisuhde 1:3 (7, s. 42). Voisikin olla suotavaa, että suunnittelijat siirtyisivät käyttämään positiivisen polariteetin näyttöjä.

Työalueen ja ympäröivän tilan luminanssiero voi olla suurempi, mutta kumminkin alle 1:10. Tämä tarkoittaa yleensä seinien ja katon luminanssien pohtimista. Tässä kohtaa on hyvä huomata, että jos näitä pintoja joudutaan valaisemaan luminanssieron

tasoittamiseksi, on myös pinnan valaistus oltava riittävän tasainen, jotta se ei taas itsessään aiheuta ärsytystä. Näiden pintojen valaistus mielletään tasaiseksi, jos luminanssisuhde on pienempi kuin 1:5. (7, s. 3). Kuitenkin toisesta kirjallisuudesta (8, s. 35) löytyy viittauksia siihen, että luminanssin olisi syytä olla vieläkin tasaisempi. Niin, että suhteella 4:5 saavutetaan vielä tasainen luminanssi, mutta tätä suuremmat luokitellaan epätasaiseksi luminanssijakaumaksi ja jo 1:10 aikaansaisi dramaattisen valoisuusvaihtelun. Tilanne, jossa luminanssiero kahden pisteen välillä muuttuu pehmeästi, on huomattavasti miellyttävämpi silmälle eikä aiheuta niin suurta ärsytystä, kuin jos luminanssin muutos on tarkkarajainen.

Jos pinnan suurin luminanssiarvo on  $425 \text{ cd/m}^2$ , haitallista heijastumista ei synny, kunhan kyseessä ei ole erityisen kiiltävä pinta (5, s. 11-3 - 11-4). Seinän valaisuun on yleensä hyvä valita seinänpesuoptiikalla varustettuja valaisimia ja tällöinkin on syytä tutkia, ettei seinälle synny epäsymmetrisiä valokuvioita. Näitä syntyy myös helposti normaalistakin toimistovalaistuksesta, kun viedään valaisimet liian lähelle seinää. Kaikkien valaisevien pintojen luminanssiarvo on syytä pitää alle  $10\,000 \text{ cd/m}^2$ , jotta epämiellyttävää häikäisyä ei syntyisi mistään kulmasta katsottaessa (5, s. 10-5).

Kuitenkin suositettuja luminanssisuhteita ei tarvitse noudattaa läpi tilan, kunhan tilan suurimmat pinnat ovat suositusten mukaiset. Lähinäön alueella työskentely rasittaa silmää ja silmä on rentoutuneena, kun kohdistuspiste on kaukana. Tämän vuoksi olisi suotavaa, että myös nimenomaan hyvää ergonomiaa vaativissa tiloissa olisi kaukonäön alueella kohteita, jotka voivat ylittää edellä mainitut luminanssisuhdearvot. Tällöin silmän on helppo kohdistua niihin pienten lepohetkien aikana, tai kun ihminen ei työskentele nimenomaisen työkohteen kanssa. Näitä voidaan tehdä tiloihin korostevärien, kohdevalojen tai taideteosten avulla.

Tutkimustulosten perusteella, jos käytetään sopivasti ns. *säihkyviä* valaisimia, kuten kirkaat kohdevalaisimet, voidaan aikaansaada 20 % valoisammalta vaikuttava tila, jolloin ei tarvita niin suurta koko tilan kattavaa valaistuvoimakkuutta aikaansaamaan sama vaikutelma (5, s. 3-38). Jos lähdetään tekemään tämän tyylistä suunnittelua, se pitää olla hyvin toteutettu, jotta ei aiheuteta häikäisyä.

Ongelmaksi voi muodostua trendit, joissa toimistoihin valitaan kaikille pinnoille tummia materiaaleja. Jos näissä tapauksissa ei tutkita pintaluminansseja, voi helposti käydä niin, että koko tilaan muodostuvat suuret kontrastierot työ- ja ympäröivän alueen välillä

rasittavat työntekijöiden silmiä. Varsinkin ikkunaseinän olisi syytä olla mahdollisimman vaalea, koska ikkunat ovat yleensä tilan kirkkaimpia pintoja valaisimien jälkeen ja jos pintamateriaali ikkunaseinällä on tumma, on kontrasti ikkunan ja seinän välillä suuri, jolloin häikäisyä syntyy entistä herkemmin. Ikkunoiden tuottamaa ärsytystä voidaan pienentää myös pyöristetyillä karmeilla, jolloin luminanssi muuttuu sulavammin kuin kulmikkailla. Myös valaisimet vasten tummia pintoja aiheuttavat helpommin häikäisyä kuin vastaavat valaisimet nähtynä vasten vaaleita pintoja. Hyvää ergonomiaa vaativissa tiloissa, joissa työskennellään pitkiä aikoja, olisi syytä huomioida ensisijaisesti fysiologiset vaatimukset, joiden rajoissa voidaan tehdä tilasta mielenkiintoinen ja trendikäs.

Kiusahäikäisy aiheutuu siitä, että näkökentässä on liian kirkkaita kohteita silmän senhetkiseen sopeutumistasoon nähden. Näitä ovat esimerkiksi valaisimet, joiden luminanssi on huomattavasti suurempi kuin ympäristön. Tämän voi havaita avattaessa verhot pimeässä huoneessa aurinkoisena päivänä. Silmä sopeutuu vallitsevaan luminanssitasoon, jos ikkuna on riittävän iso tai havaitsija riittävän lähellä, jotta ikkunan pinta-ala näkökentässä on riittävän laaja.

Toisin kuin kontrastierojen tuomat ongelmat, häikäisy voi tulla myös perifeeriseltä näköalueelta eli alueelta, joka on näköalueen reunoilla, noin  $31^{\circ}$  -  $60^{\circ}$ . Pahimmillaan häikäisy voi aiheuttaa tilapäistä näkökyvyn häiriintymistä, kun häikäisylähteen luminanssi on huomattavasti vallitsevaa sopeutumistasoa suurempi. Sisätyöpaikkojen valaistuksen aiheuttamaa kiusahäikäisyä arvioidaan UGR-indeksin avulla. UGR-indeksin asteikko on 10 - 28 kolmen numeron välein. Kymmentä pienemmät UGR-arvot pyöristetään kymppiin. UGR-indeksi on kokeellisesti kehitetty, mutta sen luotettavuus on todettu käytännössä riittäväksi.

Kumminkin UGR-indeksin laskeminen on manuaalisesti todella hankalaa, mutta valaistuskalkulaattoreilla se voidaan määrittää helposti, kun tiedetään työpisteiden paikat ja henkilöiden katselusuunnat. Siihen vaikuttavat valaisimen taustan luminanssi, valaisimen valaisevien osien luminanssi havaitsijan suunnasta, avaruuskulma, jossa nämä valaisevat osat näkyvät ja Guthin sijaintikerroin, joka on verrannollinen valaisimen sijainnin poikkeamaan katselusuunnasta. Häikäisyä voi aiheuttaa myös tasainen luminanssijakauma, jos luminanssi on liian suuri silmän havainnointikyvyille. Tätä voi tapahtua muun muassa lumisessa maisemassa kirkkaana päivänä.  
(5, s. 3-29, 3-31)

Vaikka ihmissilmä ei kykene hahmottamaan tarkasti kohteita, jotka ovat perifeerisellä näköalueella, se havaitsee siellä tapahtuvan liikkeen tai epätavalliset kohteet, kuten kirkkaat tai välkkyvät valaisimet. Kun tällä alueella on ärsytystä aikaansaava kohde, pyrkii ihminen vaistomaisesti tarkastamaan sen. Jos kohde osoittautuu ihmiselle vaarattomaksi, tai se ei herätä muuten kiinnostusta, on sen havainnointi tarpeetonta ihmiselle tämän ensimmäisen tarkastuksen jälkeen. Kumminkin, jos esimerkiksi liian kirkas valaisin on tämänkin jälkeen näkökentässä, se alkaa aiheuttaa ärsytystä, koska sitä on vaikea olla havaitsematta tämän aistinvaraisen havainnoinnin takia. Kun ihminen yrittää tällöin sulkea sen pois mielestä, se aiheuttaa turhaa rasitusta aivoille. (5, s. 3-29.)

Ihmissilmä yrittää sopeutua kohdistuspisteen luminanssiin (5, s. 3-4). Kuitenkin ongelmia aiheutuu, jos tilan vallitseva luminanssitaso on huomattavasti poikkeava verrattuna kohdistuspisteen luminanssiin, ja luminanssitaso kohdistuspisteessä on jakautunut pienelle alueelle. Tällöin kohdistuspiste aiheuttaa joko häikäisyä, tai se näyttäytyy täysin mustana, eikä tähän tasoon pystytä sopeutumaan. Tämä on käytännön esimerkki siitä, miten valoisuuden havainnointiin vaikuttaa suurempi alue kuin vain tuo kohdistuspiste.

Pinnan koko ei varsinaisesti vaikuta luminanssi-arvoon, mutta kun tarkastellaan vallitsevaa valaistustilannetta, pieni kirkas piste vaikuttaa kirkkaammalta kuin suurempi saman luminanssin lähettämä pinta. Tätä kutsutaan *pinta-ala*-ilmiöksi. Tutkimuksissa on havaittu, jos vierekkäin on valkoinen ja musta pinta, mustan pinnan koon kasvaessa se vaalenee. Samaan aikaan vaalea pinta vaikuttaisi kirkastuvan ja pinta-alasuhteen vieläkin pienentyessä näyttäen lähes valaisevalta. (6.)

Tästä syystä jotkin LED-valaisimetkin ovat häikäiseviä, sillä niissä valopisteet ovat pieniä. Häikäisyä aiheuttaa myös se, että LED-valonlähteet mahdollistavat sen sijoituksen pieneen tilaan ja näin ollen häikäisysojausta ei automaattisesti synny. Useat vanhat valonlähteet tarvitsevat heijastimen toimiakseen hyvin, mikä jo itsessään vaatii sen verran myös syvyyttä, että valo-osa jää osittain piiloon. LED-tekniikassa voidaan käyttää linssitekniikkaa, jolloin valo-osa jää helposti näkyviin. Kuitenkin, jos tehdään LED-valaisimia toimistokäyttöön, niiden pintaluminanssit saadaan siedettäviin rajoihin mikroprismojen ja opaalikalvojen avulla.

Standardissa (1) on määritetty niiden valaisimien valopinnan suurin sallittu luminanssi, mitkä näkyvät yli 65°-kulmasta ja voivat kuvastua näytöltä. Tätä ei voida mitata tarkasti

normaalilla pisteluminanssimittarilla, sillä kyseessä on keskiarvo koko valaisevan pinnan luminanssista. Valaisimille on suositettu eri luminansseja riippuen näytön luminanssista ja luminanssikontrastista.

- 3 000 cd/m<sup>2</sup>, kun kyseessä on suurluminanssinäyttö (valkoisen pisteen luminanssi > 200 cd/m<sup>2</sup>) ja kyseessä on positiivinen polariteetti, tarkoittaen esimerkiksi normaalia tekstinkäsittelyä, jossa tausta valkoinen ja merkit mustia.
- 1 500 cd/m<sup>2</sup>, kun työskennellään pienluminanssinäytöllä (valkoisen pisteen luminanssi < 200 cd/m<sup>2</sup>) positiivisella polariteetilla tai työskenneltäessä suurluminanssinäytöllä, kun kyseessä on negatiivinen polariteetti.
- 1 000 cd/m<sup>2</sup>, kun työskennellään pienluminanssinäytöllä ja ohjelma käyttää negatiivista polariteettia.

Näyttöpäätteillä työskenneltäessä on tärkeitä huomioida, että kirkkaat valaisimet tai ikkunapinnat voivat heijastua näytöltä, jos ne on asetettu työntekijän taakse. Tämä alentaa näytön kontrastia, joka taas huonontaa näkötehokkuutta. Kun näkötehokkuus huononee riittävästi, pyrkii työntekijä muuttamaan työasentoa niin, että heijastumat eivät enää kuvastu työntekijän silmään. Tämä aiheuttaa turhaa ja pitkäaikaista rasitusta työntekijälle, joka pitkällä aikavälillä voi käydä kalliiksi myös työnantajalle joko lääkärinpalkkioina tai sairauspoissaoloina.

Joitakin asioita voidaan parantaa työpisteen uudelleen sijoittelulla, mutta tietyt asiat, kuten näytön paikka ja työtuolin ergonominen asento tulee säilyttää hyvänä, jotta uudelleensijoittelu ei aiheuta samoja ongelmia kuin työntekijän itsensä tekemät muutokset omassa istuma-asennossa häikäisyn poistamiseksi. Myös näytön kirkkauden suurentaminen voi helpottaa asiaa, jolloin luminanssisuhde näytön ja näytöstä kuvastuvan valaisimen välillä pienenee, eikä näin ollen valaisin heijastu näytöltä niin selvästi.

Käytettäessä pelkästään suoraa valaistusta, lattian ollessa tumma, saattaa katto helposti jäädä hyvin hämäräksi, kun sinne ei heijastu riittävästi valoa. Katon ollessa yleensä hyvin vallitseva elementti tilassa, kun lattiat ovat täynnä kalusteita, saattaa tällöin tilan valoisuusvaikutelma jäädä hämäräksi. Varsinkin käytettäessä alasvaloja voi myös varjot muodostua ongelmallisiksi. Tästä toisen ääripään tilanne on, kun käytetään pelkästään epäsuoraa valaistusta. Täysin epäsuora valaistus saattaa tehdä tilasta lattean, koska kaikki valo on diffuusia ja jakautuu pinnoille hyvin tasaisesti. Tällöin varjonmuodostus on lähes olematonta ja tilan hahmottaminen vaikeaa. Myös ihmisten kasvonpiirteitä on vaikeampi erottaa, mikä on myös tärkeä osa hyvää valaistusta.

Näistä ongelmista päästään eroon, kun yhdistetään suoraa ja epäsuoraa valaistusta. Kun pääosana halutaan pitää suoraa valaistusta, jolla usein saavutetaan muun muassa parempi energiatehokkuus, voidaan katon valaisuun käyttää esimerkiksi 10 - 20 % valaisimien valovirrasta. Jos katon heijastussuhde on yli 0,7, on katon luminanssi riittävä tekemään tilasta valoisampi. Jos taas tavoitteena on saavuttaa hyvä epäsuora valaistus, voidaan varjonmuodostusta ja tilan hahmottamista parantaa käyttämällä noin 30 - 40 % valaisimien valovirrasta suoraan komponenttiin. Tällöin myös valaisimen hyötysuhteen alavalon osalta on oltava riittävä, jotta sen on mahdollista muodostaa varjoja huolimatta suuresta diffuusin valon osuudesta.

Kun käytetään pelkästään epäsuoraa valaistusta, kattopinnasta muodostuu tilan kirkkain pinta mahdollisten ikkunoiden jälkeen. Tällöin, jos sen tasaisuuteen ei kiinnitetä huomiota, myös epäsuora valaisu voi aiheuttaa kiiltokuvastumista tai epäsuoraa häikäisyä. Hyvin suunniteltu epäsuora valaistus on toimiva nimenomaan näyttöpäätetyöskentelyyn tarkoitetuissa tiloissa, mutta valaistusvoimakkuussuositusten täyttämiseksi valaistustehot ovat usein suuremmat kuin käytettäessä suoraa valaistusta. Jos tilassa tehtävä työskentely keskittyy pääasiassa tietokoneella työskentelyyn, amerikkalaisten ohjeiden mukaan tilan pintojen kirkkauden on oltava alle  $850 \text{ cd/m}^2$ , jottei haitallista harsoheijastumista tietokoneen näytöltä pääsisi syntymään. Euroopassa voitaisiin perustellusti soveltaa sivulla 14 suositettuja arvoja myös katon maksimi luminanssille.

Jos työskennellään avotoimistossa, jossa näytön takaa näkyy myös tilan valaistua kattoa, on syytä käyttää rajoittavana tekijänä luminanssisuhdetta 1:10 työkohteen ja tausta-alueen välillä, jossa työkohteena on näytön keskimääräinen luminanssi. Tilassa, jossa työskennellään näyttöpäätteillä, olisi katon luminanssitasaisuuden syytä olla 1:4 tai pienempi ja huolellisella suunnittelulla sekä oikeilla valaisimilla voidaan päästä luminanssisuhteeseen 1:2. Tällöin vältetään samat ongelmat, joita aiheuttaa valaisinten kuvastuminen näytöltä. Kuten aikaisemmin todettiin pintojen luminanssisuhteista puhuttaessa, myös tässä tapauksessa pätee raja-arvo  $425 \text{ cd/m}^2$ , minkä alapuolella tasaisuudesta riippumatta häikäisyä ei pitäisi syntyä. Jos tilassa ei työskennellä näyttöpäätteillä voivat luminanssit olla suuremmat, mutta silloin täytyy muistaa työalueen ja tausta-alueen luminanssisuhde 1:10. Tällöin olisi syytä myös huomioida, että luminanssiarvot muuttuisivat sulavasti, eivätkä valaisimet tekisi tarkkarajaisia läikkiä kattoon. (7, s. 46 - 47.)

Ulkotilojen luminanssisuhteisiin vaikuttaa hyvin paljon ympäristö. Jos alue on muuten hämärä, jo pienelläkin luminanssisuhteella saadaan korostettua yksityiskohtia. Myös kaupunkisuunnittelulautakunta ja rakennusmääräykset vaikuttavat käytettäviin luminanssitasoihin ja -suhteisiin kaupungissa sekä taajama-alueilla, mutta nyrkkisääntönä voidaan pitää 1:20 (5, s. 21-3). Tämä tarkoittaa, että valaistun rakennuksen julkisivun ei olisi hyvä olla yli kaksikymmenkertaisesti kirkkaampi kuin viereisten rakennusten tai muun ympäristön.

Ulkotyöpaikkojen valaistusstandardi (9, s. 10) asettaa raja-arvoja luminansseille riippuen sijainnista:

- Julkisivun keskimääräinen luminanssi on  $0 \text{ cd/m}^2$ , rakennuksissa, jotka sijaitsevat pimeillä luonnonkauniilla paikoilla kuten kansallispuistoissa. Näillä paikoilla kylttien suurin luminanssi saa olla  $50 \text{ cd/m}^2$ .
- Alueilla, jotka ovat valoisuudeltaan vähäisiä, kuten maaseudut ja pienet kylät, julkisivun keskimääräisen luminanssin tulisi olla alle  $5 \text{ cd/m}^2$  ja kylttien suurin luminanssi  $400 \text{ cd/m}^2$ .
- Pienissä kaupungeissa, niin kuin monet suomalaiset kaupungit ovat, julkisivujen keskimääräinen luminanssi saisi olla  $10 \text{ cd/m}^2$  ja kylttien suurin pisteluminanssi  $800 \text{ cd/m}^2$ .
- Suurien kaupunkien keskustat, joissa on paljon toimintaa myös yöaikaan, julkisivun luminanssi voi olla  $25 \text{ cd/m}^2$  ja kylttien sekä mainosvalojen suurin luminanssi  $1\,000 \text{ cd/m}^2$ .

Luminanssisuhteita arvioidessa on hyvä muistaa, että luminanssi on se, minkä silmä havaitsee ja vaihtelevalla luminanssijakaumalla saadaan piilotettua tai nostettua kohteita esiin ja johdattamaan katsetta tilassa. Tätä käytetään esimerkiksi myymälöissä tuotteiden esiintuomiseksi ja näissä tilanteissa dramaattiset suhteet ovat eduksi. Jos tuotteet ovat tummia, ne voidaan asettaa vaaleata valaistua taustaa vasten tai vaaleat tuotteet voidaan asettaa tummaa taustaa vasten. Tällä tavalla ei myöskään tarvitse tuottaa kontrastia pelkästään valaistusvoimakkuudella vaan voidaan päästä huomattaviin energiansäästöihin luomalla kontrastia pintamateriaaleilla, minkä jälkeen kohde voidaan valaista kevyesti.

Luminanssisuhteiden avulla johdattamista taas voidaan käyttää tiloissa, missä ihmisten haluttu liikesuunta on helppo määrittää. Tutkimuksissa on havaittu, että ihmiset hakeutuvat kohti kirkkaampaa aluetta, ja myös tasaisesti valaistusta tilasta on helppo havaita tärkeä kohde, jos se on nostettu esiin käyttäen suurempaa luminanssia pinnoilla. Esimerkkinä voidaan taas käyttää myymälöitä, joissa luminanssitasot ovat yleensä korkeammat kuin ostoskeskuksen käytävällä, jotta katse hakeutuu myymälään.

#### **4 Luminanssin mittaaminen**

Kuten määritelmästä voidaan huomata luminanssin ja näin ollen valon aistimukseen vaikuttaa suunta ja valaisevan pinnan koko. Tämän vuoksi on olennaista, mistä pisteestä valaistustilannetta tarkastellaan. Luminanssin mittaaminen pitäisikin aina suorittaa siitä kohdasta ja korkeudesta, mistä ihminen sitä normaalisti tarkastelee, esimerkiksi työpisteeltään silmien korkeudesta 1,2-metrillä tai seisnessä 1,6-metrillä. Kuitenkin, jos on mahdollista mitata tilan käyttäjän henkilökohtainen korkeus, mistä hän valaistustilannetta tarkastelee, olisi syytä käyttää tätä. Myös kohde- ja työpistevalaisimien on oltava päällä mittauksia suoritettaessa, koska varsinkin kohdevalaisimet voivat aiheuttaa huomattavaa häikäisyä, jos ne ovat näkökentässä.

Myös ulkopuoliset valaistusolosuhteet on syytä ottaa huomioon. Jos kyseessä on asennustarkastus, tilaa on syytä tutkia auringon asema huomioiden ja pyrkiä ajoittamaan mittaukset niin, että aurinko paistaa sisään mahdollisimman haitallisesti. Jos tilaa käytetään myös öisin, mittaukset on hyvä suorittaa myös yöaikaan, koska tällöin luminanssijakauma on usein hyvin erilainen johtuen mitättömästä luonnonvalosta. Mittausten aikana voidaan käyttää verhoja estämään häikäisyä, jos myös käyttäjien on mahdollista käyttää niitä normaalisti. Jos asennuksessa on käytetty loistelamppuja, niitä pitäisi polttaa uudisasennuksessa 100 tuntia ennen mittausten suorittamista ja kaasupurkauslamppujen pitäisi olla päällä tunti ennen mittauksen suorittamista. Kun kyseessä on tilassa havaittu ongelma, on syytä tiedustella, tapahtuuko tämä johonkin tiettyyn aikaan vai läpi vuorokauden ajasta riippumatta.



Mittausten yhteydessä kirjataan myös

- mittarin ominaisuudet
- ympäristön lämpötila
- suoritettut valaisinhuollot
- huonepintojen heijastussuhteet
- lamppulaji ja lampun ikä
- valaisimien malli
- liitäntälaitteiden laji
- päivänvalon vaikutus
- ajankohta
- verkkojännite

mittaustulosten yhteyteen, jotta myöhemmin on mahdollista selvittää, mikä vaikuttaa haitallisiin luminansseihin ja miten asia voitaisiin korjata.

#### 4.1 Mittaaminen ilman kameraa

Normaali läpikatsottava kenttäkäyttöön tarkoitettu luminanssimittari mittaa yleensä  $1^\circ$  -  $5^\circ$  olevan sektorin, joten mittari täytyy kohdistaa pisteeseen, josta mittaus halutaan suorittaa. Tätä kulmaa voidaan säätää mittarista riippuen, mutta yleisesti ottaen noin  $1^\circ$  -  $2^\circ$  on sopiva, sillä se vastaa parhaiten silmän ominaisuuksia.

Alkuun tilasta on hyvä tulostaa kuva, joka on otettu mittauskohteesta työskentelysuuntaan. Tilasta voidaan myös piirtää karkea perspektiivikuva, josta selviää tärkeimmät näkökohteet luminanssimittausten kannalta, kuten

- työalue
- välitön lähiympäristö
- tausta-alue
- katsojaa vastapäätä olevat pystypinnat
- ikkunat
- lattia
- katto
- valaisimet.

Kun suoritetaan mittauksia, tulokset kirjataan kuvaan, josta niitä on helppo tulkita myöhemmin. Jos pinnoille syntyy valaisimista tai auringosta kirkkaita valokuvioita niiden luminanssit on myös hyvä kirjoittaa kuvaan oikeille paikoille. (4.)

#### 4.2 Mittaaminen kuvantavilla menetelmillä

Kameran kenno tai filmi on kuin ihmissilmä, ja se aistii pintojen lähettämän valovoiman, siis luminanssin. Jos kameraa käytetään automaattisäädöillä, se pyrkii säätämään mittausalueen kirkkauden mahdollisimman lähelle harmaata, kuten ihmissilmäkin pyrkii sopeutumaan vallitsevaan luminanssitasoon. Näin tehdessä kamera myös pyrkii saamaan mahdollisimman laajasti tummien ja vaaleiden sävyt kuvaan, jotta myöskään kuvan reunat, jotka ovat tarkennusalueen ulkopuolella, eivät jäisi mustiksi tai ylivalottuneiksi. Kameralla tähän säätöön on kolme muuttujaa käytettävissä: ISO-herkkyys (*International Organization for Standardization*), aukon-arvo ja suljinnopeus. Todella kirkkaissa kohteissa joudutaan käyttämään filttäreitä kameran linssin edessä, kuten myös silmien edessä joudutaan toisinaan käyttämään tummennuksia, kun katsotaan liian kirkkaita kohteita.

Kuten myöskään silmä, kamera ei pysty samaan aikaan ymmärtämään sekä todella kirkkaita että todella tummia kohteita, vaan se pystyy sopeutumaan vain tiettyyn

alueeseen kerrallaan ja alueen yli menevät luminanssit ovat joko ns. häikäiseviä eli ylivalottuneita tai täysin mustia eli alivalottuneita, ja näistä pikseleistä ei saada tarkkaa tietoa tallennettua kuvaan.

Kuvantavassa luminanssimittauksessa on tärkeää, että kuva-alaan ei tule kyseisiä yli- tai alivalottuneita alueita, koska näistä alueista kuvan analysointiohjelmat eivät saa tarkkoja luminanssiarvoja ulos. Jos ollaan kiinnostuneita vain rajoitetun skaalan luminansseista, voidaan mittaukset suorittaa vain yhdellä valokuvalla, jos yli- ja alivalottuneet luminanssitasot eivät ole kiinnostavia tilanteen kannalta. Se kuinka laaja luminanssialue pystytään kuvaamaan, riippuu siitä, ovatko arvot suuria vai pieniä. Kuten alussa todettiin, luminanssien aikaansaama aistimus muuttuu logaritmisesti. Tästä syystä kuvattaessa pieniä luminansseja, yhden valotuksen luminanssialue on huomattavasti kapeampi, kuin tilanteissa joissa mitattavat arvot ovat suuria.

Tilanteita, joissa ollaan kiinnostuneita koko kuva-alan luminansseista, tulee kumminkin usein esimerkiksi toimistoissa, kun näkymässä on ikkunoita ja heikosti valaistuja seiniä. Kun kuva-alan luminanssiskaala on liian laaja, eli kuvaan tulee väkisin myös ali- tai ylivalottuneita alueita, on tarpeellista käyttää HDR (*High Dynamic Range*) kuvausta eli ottaa samasta näkymästä useita valokuvia eri valotuksilla, jotta saadaan kaikki pikselit skaalan sisään. Tämä on yleensä tarpeellista suorittaa jalustan avulla, jotta kuvankäsittelyohjelma osaa yhdistää kuvat niin, että se on tarkka. Myös pelkästään yhden kuvan otoksia on hämärässä syytä ottaa jalustan päältä, jotta kun joudutaan käyttämään pitkiä valotusaikoja, kuva pysyy tarkkana. Myös ajastin on usein tarpeellinen, sillä se minimoi sormen aiheuttaman tärähdyksen laukaistaessa.

Valokuvauksessa käytetään valo-arvoa (*Light Value*, LV) ilmaisemaan, miten kirkasta tilassa on. LV on standardi kuten luminanssikin, jossa pienet LV-arvot tarkoittavat hämärää tilaa ja suuret kirkasta. LV-0 on karkeasti hämärä huone ja LV-16 pilvetön päivä, skaala ylettyy myös miinus LV-arvoihin ja yli LV-16. Kun tiedetään LV-arvo, kuvaajat voivat suurin piirtein päätellä, kuinka kirkkaassa ympäristössä ollaan, ja voivat näin varautua oikeilla manuaalisäädöillä. (10.) Kun kuvataan automaattilla, kamera pyrkii säätämään aukon-arvon ja valotusajan niin, että kohde on keskiharmaa. Näiden säätöjen yhteyttä

kutsutaan valotusarvoksi (*Exposure Value*, EV) EV:n yhteys valotusarvoon ja suljinnopeuteen voidaan laskea kaavasta

$$2^{EV} = \frac{N^2}{T} \quad (7)$$

*N on aukon arvo*

*T on valotusaika sekunteina.*

Näitä molempia pystytään säätämään erikseen saaden aikaan sama valotusarvo, mutta tietyissä rajoissa. Näitä raja-arvoja voidaan siirtää muuttamalla ISO-herkkyttä. Valotusarvoon vaikuttaa myös luonnollisesti tilan luminanssitaso, sillä siitähän EV on ensisijaisesti riippuvainen ja tämän lisäksi ISO-herkkyys kaavan 8 mukaisesti.

$$2^{EV} = \frac{LS}{K} \quad (8)$$

*L on luminanssi*

*S on ISO – herkkyys*

*K on kameran kalibrointivakio*

Kalibrointivakio on valmistajakohtainen mm. Canoneilla 12.5, ja Minolta käyttää kerrointa 14. Nämä edellä mainitut kaavat yhdistämällä saadaan kaava luminanssille, jota voidaan käyttää luminanssien mittaamiseen karkeasti jopa ilman tietokoneohjelmaa.

$$L = \frac{KN^2}{TS} \quad (9)$$

Jos tätä kaavaa halutaan käyttää luminanssin mittaamiseen, täytyy varmistaa, että kohde on valotettu keskiharmaaseen joko manuaalisesti tai automaattisäädöillä. Myös se, onko käytössä keskipistemittaus vai mittaus koko kuva-alasta, vaikuttaa siihen, onko laskettu luminanssiarvo pisteluminanssi vai keskiarvo näkymästä. Koska yleisesti kamerat käyttävät eri K-kerrointa, ja myös linssit ovat erilaisia, luotettavien luminanssikuvien kuvaamiseen tehty ohjelma täytyy olla tavalla tai toisella kalibroitu kameralle ja linssille. Tästä syystä useat ohjelmat soveltuvat vain tietyn valmistajan kameroille tai jopa vain tietylle kameralle.

Digitaalinen valokuva on pikselimatriisi, jossa jokaisella pikselillä on värikoordinaatin lisäksi valon intensiteetti kyseisen pikselin kohdalla (11). Kun kaavalla yhdeksän saadaan kuva sidottua johonkin luminanssitason, voidaan muiden pikselien luminanssi laskea vertaamalla niitä pikseleihin, jotka kamera on valottanut keskiharmaaseen.

Jos kameran varustaa kalansilmä-objektilla sillä pystytään myös mittaamaan UGR-indeksi, mikä entisestään laajentaa kuvantavien menetelmien käyttökohteita. Kun kalansilmäobjekti on kalibroitu ohjelmalle, se pystyy määrittämään valaisimen näkyvien valopintojen avaruuskulman. Kalansilmä-objektilla saadaan myös helpommin otettua autenttisempia luminanssinäkymiä, kun kuva-alasta saadaan lähes samankokoinen kuin ihmissilmän näkemästä kuva-alasta. Tavallisella linssillä joudutaan yleensä työpistenäkymästä tallentamaan useita kuvia, jotta saadaan tarvittavat luminanssikohteet tallennettua, kun taas kalansilmä-objektiivilla riittää yksi HDR-kuvasarja.

Kun kuvantavilla menetelmillä on näin ollen mahdollista mitata myös UGR-arvoja, soveltuu se erinomaisesti valaistusasennuksen toimivuuden todentamiseen. Standardissa (1, s. 70) on UGR-indeksin todentamiseksi sanottu riittävän valaisinvalmistajan tarjoama häikäisyindeksitaulukko, jossa on ilmoitettu myös valaisinväli. Kumminkin näissä puitteissa toimiminen rajoittaa valaistussuunnittelijan työtä. Jos valaistussuunnittelija poikkeaa annetusta valaisinvälistä tai päätyy käyttämään jotain muuta asennusetäisyyttä katosta kuin valaisinvalmistajan suosittamaa, on hänen teoriassa pystyttävä todentamaan jollain muulla tavalla UGR-indeksin raja-arvon alittuminen. Myös, jos tilan pintojen heijastussuhteet poikkeavat standardissa suositetuista, tämä muuttaa asennuksen UGR-indeksiä. UGR-indeksin manuaalisen laskennan ollessa haastavaa antaa kuvantava luminanssimittaus oivan työkalun tähän.

Vinjetointi (engl. *vignetting*) on kuvassa esiintyvä virhe, joka aiheuttaa valovoima-arvon vääristymisen todellisuuden ja kuvan välillä siten, että kuvan reuna-alueet voivat olla tummemmat kuin keskusta. Helpoiten sen voi havaita, kun kuvataan tasaväristä pintaa. On selvää, että kun halutaan analysoida kuvasta valaistusta, todellisuuden ja kuvan olisi syytä olla mahdollisimman lähellä toisiaan.

Luonnollinen vinjetointi aiheutuu valon fysiikasta. Valon täytyy kulkea pidempi matka kuvan reuna-alueille kuin keskustaan ja koska valaistusvoimakkuus pienenee etäisyyden neliöön, pienenee myös kennoa valottavan valon energia yhtä pikseliä kohden. Toiseksi, kun linssiä tarkastellaan reuna-alueilta, linssin valoaukko vaikuttaa soikiolta,

joka on pienempi kuin ympyrä, joka näkyy linssiä suoraan katsottaessa. Tällöin reuna-alueilta pääsee vähemmän valoa linssille kuin keskeltä. Viimeinen asia, joka vaikuttaa luonnolliseen vinjetointiin liittyy Lambertin lakiin. Koska kuvan reuna-alueille tullut valo taittuu linssissä ja loppupeleissä osuu linssille jossakin kulmassa, valottaa tämä kulmassa tullut valo kennoa heikommin kuin suoraan linssin läpi keskelle kuva-alaa tullut valo.

Optinen vinjetointi aiheutuu optiikan fyysisistä ominaisuuksista, eli yksinkertaisesti siitä, että linssillä on pituus. Suurilla aukoilla, eli pieni aukon arvo, osa optiikan valoaukosta jää optiikan reunan taakse piiloon, jolloin reuna-alueet valottuvat vähemmän kuin keskusta. Tätä voidaan havainnollistaa purkillä: Jos katsotaan purkkiin suoraan ylhäältä, voidaan nähdä pohja kokonaisuudessa, mutta jos purkkiin katsotaan hieman sivusta, katsojaa lähinnä oleva pohjan reuna jää näkemättä.

Vinjetoinnista johtuvat ongelmat pienenevät, kun tarkennetaan lähelle, sillä tällöin optiikan heijastama kuva on suurimmillaan ja vinjetoitu alue on kennon alueen ulkopuolella. Kuitenkin usein tiloja kuvatessa tarkennus on alueen yläpäässä, ja sitä asiaa on vaikea lähteä muuttamaan, kun kuvan täytyy kumminkin olla terävä. Optinen vinjetointi saadaan korjattua pienentämällä aukkoa parin pykälän verran. Tästä syystä myös kalibroidut kamerat ja objektiivit ovat yleensä kalibroitu vain tietyille aukon arvoille, sillä suurilla aukoilla vinjetointi vääristää tuloksia reuna-alueilla. Vinjetointia voidaan korjata myös harmaa-filtterillä, joka on tummempi keskeltä kuin reunoilta, jolloin kuva-alue on tasaisempi. (12.)

## **5 Kuvantavat menetelmät**

Koska kameroita ja ohjelmia on saatavilla useita, työssä selvitettiin erityylisten laitteistojen ominaisuuksia, ja sitä kuinka helppokäyttöisiä ja luotettavia kamerat ja niille tarkoitetut ohjelmat ovat. Testiin valittiin iPhotoLux, koska sen ajateltiin olevan kätevä, kun samalla laitteella voidaan ottaa, sekä lukea luminanssikuva. Toiseksi laitteeksi testiin valittiin TechnoTeamin LMK LabSoft -ohjelma ja tähän Canonin EOS350-kamera, koska tämän laitteiston oletettiin olevan yksi parhaita markkinoilla tällä hetkellä. Sillä on myös Suomessa maahantuoja, jonka kautta laitteisto oli helppo hankkia testikäyttöön. Viimeinen testiin valittu kuvantava luminanssimittalaitteisto oli PhotoLux, varustettuna

Nikonin kompaktikameralla. Tämä valittiin, koska se saatiin helposti testiin koulun kautta, ja tällä voitiin myös testata kalansilmä-objektin toimintaa.

Näiden testissä olleiden lisäksi saatavilla on mm. Photosphere Mac-käyttöliittymälle. Tästä ohjelmasta on olemassa internetissä tutkimusmateriaalia englanniksi, ja koska saatavilla ei ollut Mac-konetta, päätettiin olla testaamatta ohjelmaa. Canonin kameroille on olemassa HDRScope, jonka saa hankittua internetistä. Tämä ohjelma toimii myös Windows-käyttöliittymällä.

### 5.1 Tarkkuuden testijärjestely

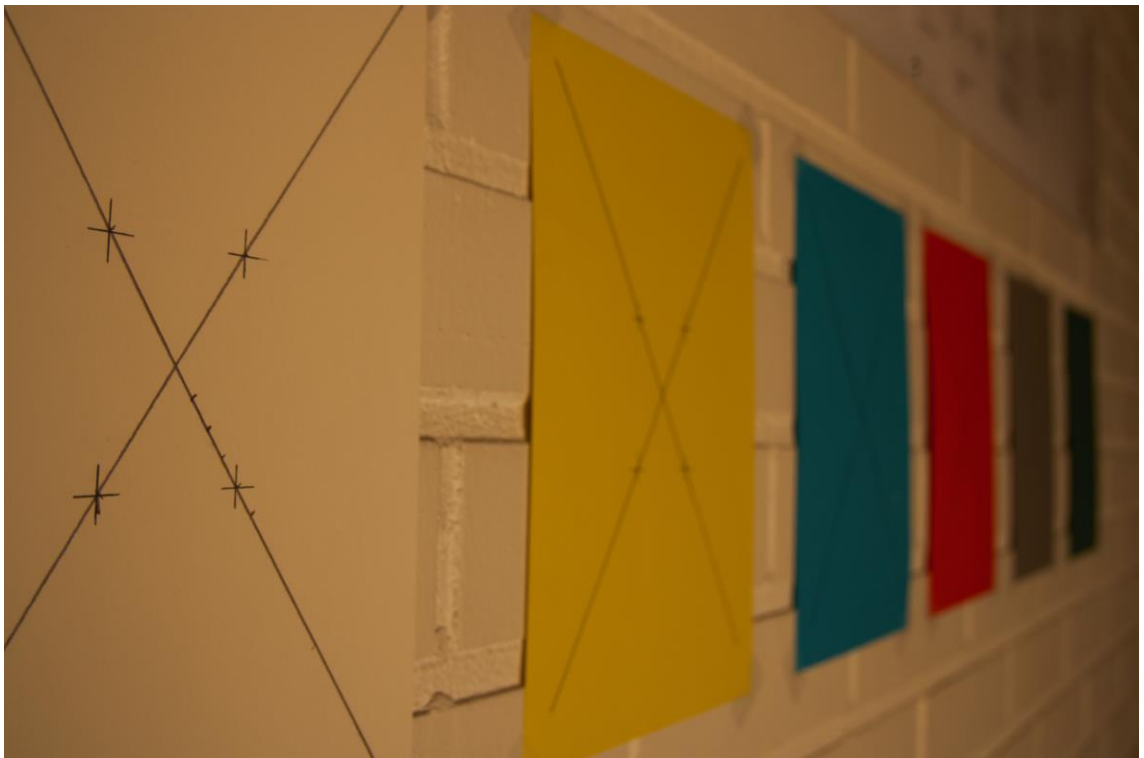
Mittaustuloksia ei voida pitää laboratoriotason mittauksina, sillä niissä on epäilemättä myös mittauserätarkkuutta. Kumminkin ne ovat suuntaa antavia, sillä olosuhteet on pyritty pitämään vakioina ja mittauspisteitä on valittu riittävästi, jolla on pyritty kompensoimaan mittauserhettä.

Mittaukset suoritettiin tilassa, jossa ei ollut ulkoisia valonlähteitä, jolloin valaistusta voidaan pitää muuttumattomana mittausten aikana. Mittaussarjaan kuului kolme eri valonlähdettä: monimetalli, LED ja loistelamppu. Monimetalli- ja LED-valaisimien eteen asetettiin opaalikalvo, joka hajotti keilat, jotta minimoitiin heijastukset ja epätasaisuudet. Loistelamppu oli normaalissa asennuspaikassaan katossa, eikä sen eteen näin laitettu hajottavaa kalvoa, koska valaistus todettiin muutenkin jo riittävän tasaiseksi. Monimetallilamppua pidettiin päällä puoli tuntia ennen mittausten suorittamista, jotta voitiin varmistua siitä, että monimetallilamppu oli varmasti vakaassa tilassa.

Paperin keskeltä mitattiin valaistusvoimakkuus ennen ja jälkeen mittauksen, jolla varmistettiin, että valaistusvoimakkuus ei muuttunut mittauksen aikana. Mittauskohteina käytettiin kuutta eriväristä A4-kokoista kartonkia. Koska pinnoittamatonta paperia voidaan pitää riittävän tarkasti Lambertin lain mukaan tasahajottavana pintana, laskettiin heijastuserroin kaavalla kaksi, jolla saatiin kartonkien heijastussuhteiksi (ks. seur. s.)

- valkoisella 0,79
- keltaiselle 0,75
- siniselle 0,27
- punaiselle 0,25
- harmaalle 0,25
- vihreälle 0,14.

Jotta saatiin määritettyä mahdollisimman tarkasti mittauspiste, piirrettiin paperin kulmista kulmiin viivat, ja keskustasta 4 cm päähän mittaviivat. Mittaukset otettiin jokaisesta sektorista, keskeltä kuviteltua viivaa, joka kulki mittaviivojen kautta (kuva 4). Neljän mittauspisteen perusteella saatiin keskiarvo paperin luminanssista, ilman että lyijykynän jälki vaikutti mittaustulokseen. Kun valittiin enemmän kuin yksi mittapiste paperilta, saatiin myös minimoitua mittavirheet, jotka syntyivät siitä, kun mitataan luminanssikuva yhden pikselin luminanssi.



Kuva 4. Mittauspisteet seinällä valaistuna kahdella valonheittimellä, joissa 150 W:n monime-  
tallilamput



Mittaustuloksissa vertailuarvoksi otettiin käsi­käyttöinen luminanssimittari, jonka pohjalta laskettiin kuvantavan luminanssimittauksen kuvan antamista luminansseista suhteellinen virhe. Taulukossa 1 (ks. seur. s.) on taulukoitu käsi­käyttöisen luminanssimittarin vertailuarvot. Luminanssimittarin (LS-100, sarjanumero 79013013) tukipisteenä käytettiin kolmijalkaa (kuva 5), joka oli sijoitettu 195 cm:n etäisyydelle seinästä, jossa paperit olivat kiinni. Samaa kolmijalkaa käytettiin myös kameroiden kiinnitykseen, paitsi iPadin, jonka kamera asetettiin käsivaraisesti samalle korkeudelle kuin muidenkin mittavälineiden linssit, kuitenkin tukien sitä kolmijalkaan, joka oli edelleen samassa pisteessä kuin muiden mittausten aikana.



Kuva 5. Mittausjärjestely

Taulukko 1. Käsikäyttöisen luminanssimittarin mittaustulokset ja toistokokeen maksimivirhe

| Väri                 | HIT                    |               | LED                    |               | T8                     |               |
|----------------------|------------------------|---------------|------------------------|---------------|------------------------|---------------|
|                      | L [cd/m <sup>2</sup> ] | mittavirhe    | L [cd/m <sup>2</sup> ] | mittavirhe    | L [cd/m <sup>2</sup> ] | mittavirhe    |
| valkoinen            | 243,00                 | 2,26 %        | 78,27                  | 3,18 %        | 100,37                 | 2,33 %        |
| keltainen            | 195,45                 | 2,33 %        | 65,50                  | 2,58 %        | 99,78                  | 1,96 %        |
| sininen              | 54,51                  | 2,83 %        | 17,44                  | 3,13 %        | 32,71                  | 4,65 %        |
| punainen             | 50,99                  | 2,50 %        | 17,66                  | 2,70 %        | 38,77                  | 3,48 %        |
| harmaa               | 34,97                  | 1,58 %        | 11,95                  | 2,18 %        | 30,28                  | 1,21 %        |
| vihreä               | 14,17                  | 2,33 %        | 4,66                   | 1,79 %        | 14,02                  | 2,82 %        |
| <b>maksimi virhe</b> |                        | <b>2,83 %</b> |                        | <b>3,18 %</b> |                        | <b>4,65 %</b> |

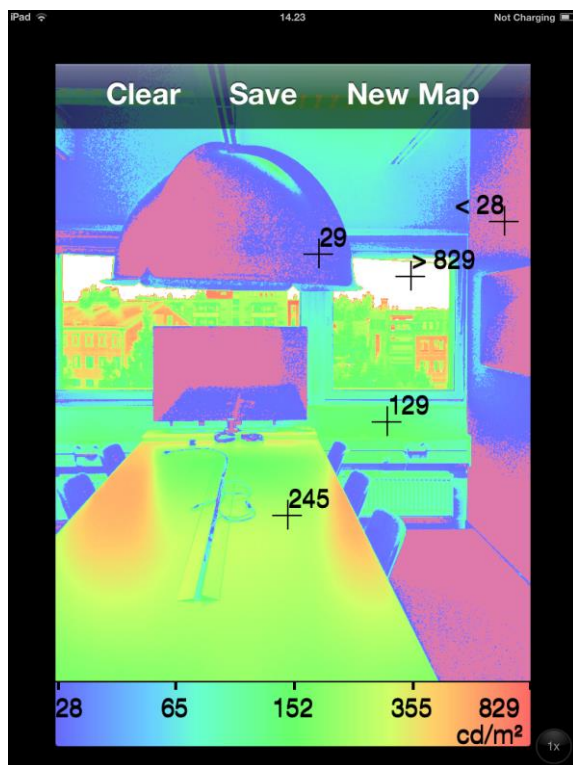
Luminanssimittarin virheen ollessa 2 % voitiin havaita, että mittaustulosten suhteellinen keskivirhe on enemmän kuin tämä 2 %, joten virheenä voidaan käyttää uusia virherajoja. Mittausvirheet johtuvat pääasiassa siitä, että mittaus otettiin tarkoituksella hieman eri kohdasta paperia, jotta saatiin luminanssiarvo laajemmalla alueelta paperia, ja minimoitua pinnan epätasaisuuden ja valaistuksen mahdollisten kirkkaiden pisteiden ja epätasaisuuden aiheuttamat virheet.

## 5.2 iPhotoLux-ohjelma

iPhotoLux-ohjelma, kuten nimi antaa viitteitä, on kehitetty Applen alustalle. Ohjelman löytää helposti Internetistä hakukoneella ohjelman nimellä etsien. Ohjelma täytyy ladata Apple Storesta, mutta se ei aiheuta ongelmia, kun ollaan muutenkin tekemisissä Applen laitteiden kanssa. Asennus on tehty yksinkertaiseksi, kuten Applen ohjelmien kohdalla yleensäkin, eikä minkään näköisiä kalibrointitiedostoja tarvitse asentaa. Tämä voidaan toisaalta ajatella haittana, sillä ohjelmaa ei voida käyttää muilla kuin Applen laitteilla. Testiin laitteeksi valittiin iPad 64GB malli A1430 pääasiassa näytön suuren koon takia, koska luminanssikuvan analysoiminen suuresta kuvasta on huomattavasti helpompaa kuin pieneltä näytöltä.

Ohjelmaa avattaessa voidaan valita, otetaanko uusi kuva vai käytetäänkö vanhaa kuvaa luminanssien kartoitukseen. Näytöllä näkyvää kohdistuspistettä on syytä käyttää, jotta varmistetaan, että kohde, josta luminanssit halutaan mitata, saadaan mittausskaalan sisään. Kun kuva on otettu, painetaan *Map*, ja iPhotoLux laskee kuvasta luminanssiarvot. Näyttöä koskettamalla saadaan pisteluminanssi näkyviin ja kaksoisnäpäytyksellä saadaan esiin valikko, jossa on vaihtoehtoina: puhdistusta

luminanssipisteistä, tallenna tai ota uusi kuva, kuten kuvasta 6 voidaan havaita. Tällöin alareunassa näkyy myös väriasteikko, joka kertoo mikä väri esittää mitäkin luminanssitasoa väärävärivärikuvasssa.



Kuva 6. iPhotoLuxin näkymä luminanssikuva-tilassa

Mittausten aikana havaittiin, että tarkan pisteen luminanssiarvoa on hankala saada, koska sormi on pisteen edessä, ja on vaikea arvioida mistä pisteestä luminanssi otetaan. Ohjelmassa ei myöskään ole tarkennustoimintoa, jotta voitaisiin määrittää tarkemmin mittauspiste. Apple Storessa oleva huomautus kertoi, että ohjelma on kalibroitu iPhone:n kameralle, ja tämä mittaus suoritettiin iPadillä.

iPad ilmeisesti käyttää keskelle painotettua valonmittausta. Vaikka kohdistuspiste kohdistettiin kuva-alan kirkkaimpaan pisteeseen, alue jäi toisinaan tästä huolimatta ylivalotetuksi. Tästä on esimerkiksi haittaa tilanteissa, joissa huoneessa on pieni tai pieniä ikkunoita, jolloin niiden pinta-ala suhteessa koko kuvaan on pieni. Tämä on siinä suhteessa haitallista, että nimenomaan näissä tilanteissa olisi syytä saada luotettavia tuloksia tällaisten ikkunoiden luminansseista, sillä ne myös helposti aiheuttavat häikäisyä. Toisinaan syystä tai toisesta iPhotoLux ilmoitti, että kuva on yli kalibrointialueen, mikä on hyvä varoitus suunnittelijalle, ettei kuvaan kannata luottaa. Kuitenkin olisi

kiinnostavaa tietää mistä syystä tämä johtui, koska aina kyseistä varoitusta ei tullut vaikka osa pikseleistä oli yli- tai alivalottuneita.

iPadillä saadut mittausarvot poikkeavat huomattavasti vertailuarvosta. Taulukosta 2 sarakkeesta *mittausvirhe* voidaan nähdä, että virhettä luminanssikuvasta mitattujen arvojen välillä verrattuna keskiarvoon ei ole merkittävästi, ottaen huomioon, että myös käsikäyttöisellä mittarilla virhettä oli. Kumminkin, kun katsotaan *suhteellinen ero* -saraketta, havaitaan, että virhettä suhteessa käsikäyttöiseen luminanssimittariin on merkittävästi.

Taulukko 2. iPhotoLuxin mittaustulokset

|     | Mittausvirhe | Suhteellinen ero LS-100 verrattuna |
|-----|--------------|------------------------------------|
| HIT | 6,49 %       | 105,56 %                           |
| LED | 7,32 %       | 86,04 %                            |
| T8  | 3,61 %       | 111,12 %                           |

iPadille saatavaa iPhotoLuxia ei voida pitää soveltuvana valaistusteknisiin mittauksiin sen huomattavan mittavirheen vuoksi. Tämä oletettavasti johtuu siitä, että ohjelma on kalibroitu iPhoneille. Tämän työn suorituksen aikana Apple Storen sivuilla kumminkin luki, että tulossa on seuraava versio, joka on täysin yhteensopiva iPadin kanssa, joten tämän testaaminen jääköön myöhemmäksi. Siihen on tulossa myös mukaan ominaisuus, joka mahdollistaa HDR-kuvien ottamisen, joten tällä saadaan myös katettua helposti yli- tai alivalottuneiksi jääneet pikselit, joten parannusta on ilmeisesti luvassa.

### 5.3 LMK LabSoft -ohjelma

Kokeiluun valittiin LMK Mobile -ohjelma, sillä sen arvioitiin olevan riittävä valaistus-suunnittelijoiden peruskäyttöön, vaikka TechnoTeamillä on tarjolla myös paljon kehittyneempiä kuvantavia luminanssimittareita. Suomessa on TechoTeamin edustus, joten laitteisto on helppo hankkia. Laitteistoon kuuluu Canonin perinteinen järjestelmäkamera, objektiivi ja LMK LabSoft -ohjelmisto. Kamera otetaan mukaan mittauskohteeseen ja tulokset analysoidaan myöhemmin, kun tietokone on saataville. Mittauksia tehdessä kameran ei siis tarvitse olla yhteydessä tietokoneeseen, mutta suoraan kamerasta ei voida tulkita mittaustuloksia. LabSoft soveltuu myös muille LMK:n kameroille. Paketissa tulee mukana kyseiselle kameralle ja linssille kalibroitiedosto, joka täytyy ladata

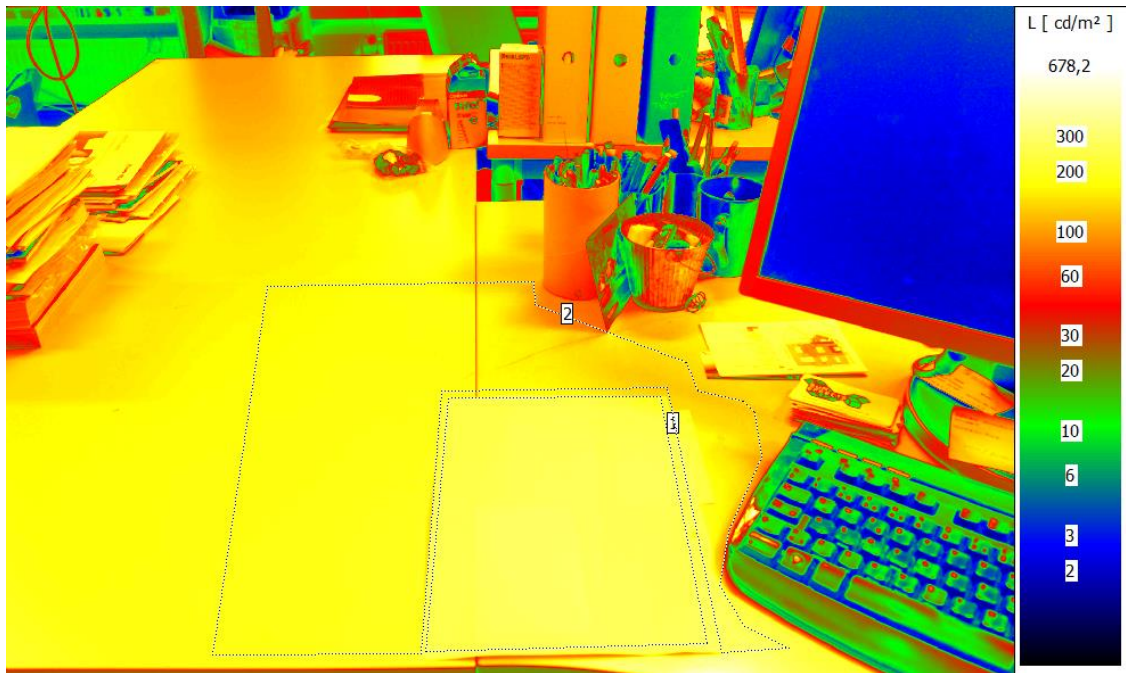
ohjelmaan, kun sen käynnistää. Tämän jälkeen ohjelma on käyttövalmis, eikä omia kalibrointeja välttämättä tarvita.

Tiedoston tallennusmuodoksi kamerasta valitaan RAW-tiedosto, joka on pakkaamaton ja näin ollen siinä säilyy kaikki tieto, mitä kameran kennolle on saatu. ISO-herkkyttä voidaan säätää tarpeen mukaan, mikä laajentaa mitattavien luminanssien skaalaa. Aukko kyseisellä kameralla täytyy säätää 4 - 10 väliin.

Suuret aukot on jätetty pois kalibroinnista vinjentoinnin häiriöiden takia ja pienet aukot taas siitä syystä, että tällöin kennolle saadaan vähemmän valoa, ja koska kyseessä on RGB-kemmo, se ei ole riittävän herkkä, kun puhutaan pienistä aukoista. Myös eri valonlähteet aiheuttavat eri virheen, joka johtuu valonlähteiden vaihtelevasta spektristä. Näin tapahtuu myös monilla muillakin mittareilla, kuten vanhoilla valovoimamittareilla. Kamerassa on HDR-ominaisuus, jolla saadaan helposti otettua kolme eri valotusarvon kuvaa samasta näkymästä, kuitenkin vain +/- EV 2.0. Sitä on syytä käyttää aina, kun on jalusta saatavilla.

Kuvaa otettaessa valotus säädetään manuaalisesti tasapainoon niin, että mittausalue on mahdollisimman lähellä keskiharmaata. Tämä tapahtuu säätämällä aukon arvoa ja valotusaikaa, niin että kamerassa oleva valotusmittari näyttää nollaa. Se on itse asiassa EV-arvo, mutta siinä nollopiste on keskiharmaa, jotta se olisi havainnollisempaa kuvaajalle. ISO-arvo kannattaa olla mahdollisimman pieni, jos valaistusolosuhde ei vaadi suurempaa herkkyttä. Ohjelmaan voidaan hakea myös yksittäisiä kuvia, jos on todettu, että ne riittävät halutun luminanssialueen tarkasteluun. Kun kuva on avattu ohjelmaan, voidaan aloittaa luminanssien analysointi.

Kuten muissakin ohjelmissa, kursorilla voidaan lukea yksinkertaisesti pisteluminanssi luminanssikuvasta. Luminanssinäkymä voidaan tulostaa ja siihen saadaan näkyviin myös asteikko, jota voidaan skaalata joko lineaarisesti tai useaan eri logaritmiin riippuen, mitkä luminanssitasot ovat kiinnostavia. Tämän lisäksi voidaan rajata alueita, kuten kuvassa 7 (ks. seur. s.), joista ohjelma antaa laskentatiedot joko taulukkona tai 3D-kuvana, jossa luminanssit on ilmaistu väreinä ja dimensiona. 3D-kuva on käännettävissä ohjelmassa.



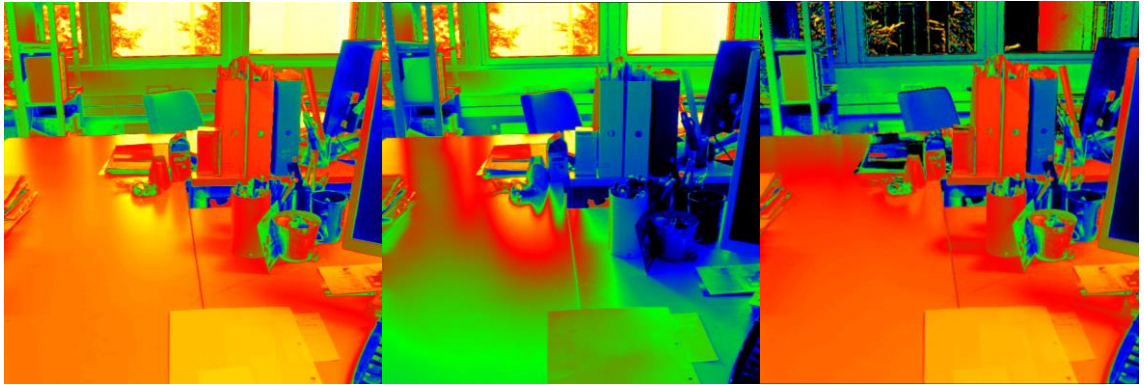
Kuva 7. LabSoftin luminanssinäkymä, jossa asteikko on skaalattu kolmosen logaritmin mukaan; pöydällä paperi (työkohde), joka rajattu alueella yksi, lähiympäristö eli pöydän pinta rajattu alueella kaksi

Rajaus-ominaisuus on kätevä, kun mittauksen kannalta kiinnostavat alueet voidaan rajata, ja näin saadaan suurin ja pienin luminanssi helposti haettua alueelta, esimerkiksi, jos mitataan kylttejä tai mainoksia, joiden raja-arvot ovat pisteluminansseja. Kuitenkaan LMK Mobile ei pysty mittaamaan LED-näyttöjä, sillä LED:n spektri on liian epämääräinen kameran kennolle. Alueet toimivat hyvin myös sisätilojen mittauksessa. Niillä voidaan määrittää työ- lähi- ja ympäröivät alueet ja näin saada niistä nopeasti tietää keskimääräinen luminanssi ja luminanssisuhteet ilman, että tarvitsee mitata yksittäisten pisteiden luminansseja.

Toinen tapa analysoida luminanssisuhteita ohjelman avulla on rajata työalue, esimerkiksi paperi tai tietokoneen näyttö. Kun saadaan keskimääräinen luminanssi, voidaan laskea luminanssisuhteen avulla raja-arvot lähi- ja ympäröivän alueen luminansseille. Näitä arvoja voidaan verrata matemaattisesti ohjelman avulla kuvan luminansseihin ja ohjelma ilmoittaa visuaalisesti kaikki ylittävät tai alittavat pikselit. Jos ollaan kiinnostuneita alittavien tai ylittävien alueiden luminansseista, onnistuu luminanssialueen skaalaus myös matemaattisten funktioiden puolelta.

Toisinaan valaistuksen kanssa työskennellessä joudutaan myös yötöihin, sillä kuten aiemmin todettiin, toisinaan tilojen luminanssisuhteet täytyy määrittää myös

yönäkymässä, jos tilassa työskennellään öisin. Tähän löytyy LabSoftista matemaattisten funktioiden puolelta apua, sillä siinä pystytään myös vähentämään luminanssikuvia toisistaan, kuten kuvasarjassa 8. Oikeanpuoleisesta kuvasta voidaan huomata, kuinka ikkunasta tuleva heijastus on vähennetty verrattuna vasemmanpuoleiseen kuvaan. Vasemmanpuoleisessa kuvassa valaistus on päällä ja keskimmaisessa ei.



Kuva 8. Kuvasarja, jossa vasemmanpuoleisesta kuvasta on vähennetty keskimäinen, jolloin erotus on oikeanpuoleinen kuva.

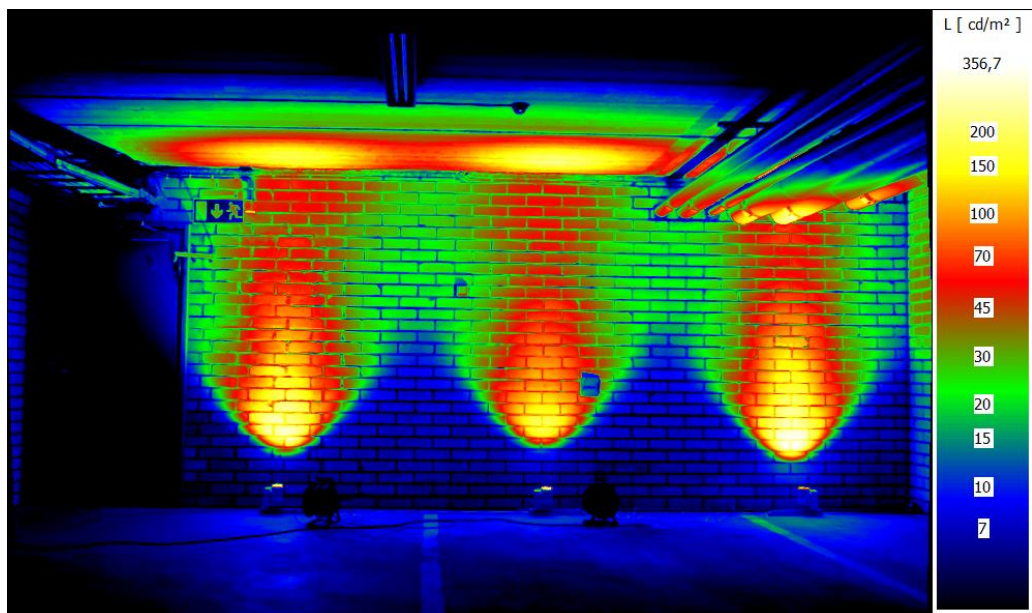
Kuitenkaan tätä ei voida käyttää, jos sisätilat ovat suorassa auringonpaisteessa, koska suorassa auringonvalossa luminanssitasot ovat huomattavasti korkeampia, kuin keinovalossa, jolloin ohjelma ei pysty enää erottamaan, mikä osuus on auringosta ja mikä keinovalosta. Kuitenkin jos käytetään verhoja, voidaan yönäkymä rekonstruoida vähentämällä kuvat toisistaan. Yönäkymästä on toisinaan tarve määrittää ulkovalojen vaikutusta sisätilaan, mitä ei myöskään voida huomioida päivällä tämän ohjelman avulla. Muita sovelluksia tälle toiminnolle voisi olla koeasennuksissa valaistusten vertailu toisiinsa tai valaistushuollon vaikutus luminanssitasoihin, jolloin ei tarvitse manuaalisesti laskea erotusta vaan se saadaan kuvantavasti näkyviin. Myös valaistushuollossa, joissa halutaan vaihtaa valonlähteen tyyppiä, esimerkiksi halogeenistä LED-polttimeen, voidaan havainnollisesti nähdä muutos valonjaossa, kun vähennetään vanhasta valaistustilanteesta otettu luminanssikuva uudesta.

Toinen tilanne, jossa valaistuksen kanssa joudutaan työskentelemään öisin, on ulko- ja julkisivuvalaistukset. Tällöin, kohteen vaativuudesta riippuen, joudutaan tekemään koevalaistuksia valituilla valaisimilla, jotta saadaan tarkempi käsitys, kuinka kyseiset valonjaot ja lamputyypit käyttäytyvät pinnoilla. Osa tätä koevalaistusta on myös määrittää luminanssitasot, jotka soveltuvat ympäristöön. Tämä onnistuu helpoiten, kun saadaan

valaistua todellista kohdetta ja nähdään, miltä tietty luminanssitaso näyttää ympäristössä. Luminansseja voidaan mitata myös suoraan viereisistä taloista.

LabSoftin matemaattisia funktioita voidaan käyttää myös tässä hyödyksi. Usein on niin, että valittuja valaisimia ei saada testiin kuin korkeintaan muutama kappale, mutta silti koevalaistus olisi hyvä saada toteutettua kokonaisuudelle rakennukselle. Kumminkin yhdellä valaisimella on mahdollista saada luminanssikuva koko rakennuksen valaistusta julkisivusta, kunhan kameran paikkaa ei muuteta kuvien ottamisen välissä. Valaistaan julkisivua jokaisesta suunnitellusta kohdasta, joista jokaisesta otetaan HDR-kuva. Tämän jälkeen, kun koko julkisivu on käyty läpi, voidaan aloittaa kuvan käsittely.

Ensin yksittäiset kuvasarjat vähennetään valaisemattomasta julkisivusta, jolloin saadaan ympäristön hajavalon pois kuvasta, jotta sitä ei summata montaa kertaa samaan kuvaan, joka aiheuttaisi virhettä pintojen luminansseissa. Tämän jälkeen kuvat, joista on saatu hajavalon pois, voidaan yhdistää yhdeksi kuvaksi, johon voidaan kertaalleen lisätä valaisematon rakennus, jotta saadaan myös ympäristön hajavalon tuoma luminanssi mukaan kuvaan. Näin saadaan aikaan luminanssikuva valaistusta julkisivusta vain yhden valaisimen avulla, esimerkkinä kuva 9, jossa valaistusta seinä käyttäen yhtä LED-valaisinta.



Kuva 9. Luminanssikuva seinästä, joka valaistuu vain yhdellä LED-valaisimella



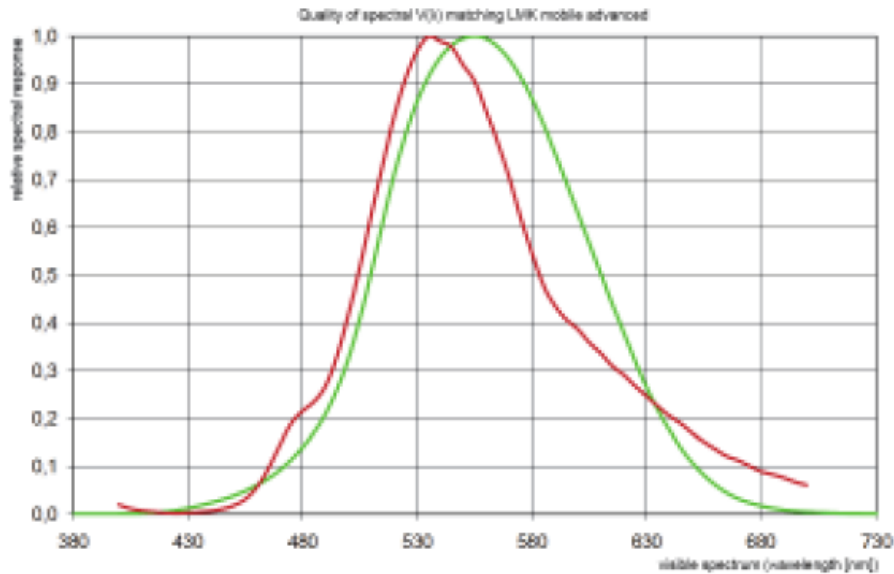
Mittaustuloksista (taulukko 3) nähdään miten LMK Mobilen luminanssiarvot eroavat LS-100:n mittaustuloksista. *Toistovirhe*-sarake ilmaisee, kuinka paljon LMK Mobilen mittaustulokset eroavat keskiarvosta ja lampputyypin alla oleva sarake ilmaisee eron LS-100:n arvoon.

Taulukko 3. LMK Mobilen luminanssiarvot verrattuna LS-100:een

| Väri      | Toistovirhe ± | HIT     | LED     | T8      |
|-----------|---------------|---------|---------|---------|
| valkoinen | 2,49 %        | 4,15 %  | -2,04 % | -4,98 % |
| keltainen | 2,18 %        | 4,69 %  | 0,91 %  | -5,24 % |
| sininen   | 3,87 %        | 9,58 %  | 5,58 %  | -5,17 % |
| punainen  | 3,16 %        | -2,12 % | -2,70 % | -9,51 % |
| harmaa    | 1,81 %        | 0,71 %  | -2,66 % | -7,27 % |
| vihreä    | 2,29 %        | 4,85 %  | 0,81 %  | -7,38 % |
| keskiarvo | 2,63 %        | 3,64 %  | -0,02 % | -6,59 % |

Mittaustuloksista havaittiin, että myös digitaalikameraa käytettäessä eri värien- ja valaisimien spektrit vaikuttavat mittavirheeseen. Tämä on syytä huomioida nimenomaan luminanssisuhteita mitatessa, sillä jos luminanssien virheet ovat eri puolilta nollapistettä, tulee luminanssisuhteen virheestä vieläkin suurempi. Kumminkin TechnoTeam ilmoittaa nämä virherajat selkeästi tuote-esitteessä ja kalibrointitodistuksessa.

Vaikka ohjelma on kalibroitu kameralle, perinteisellä digitaalikameralla otettujen luminanssikuvien virheet johtuvat pääasiassa siitä, että RGB-kennon  $V(\lambda)$ -käyrä ei vastaa standardikäyrää. Standardi  $V(\lambda)$ -silmänherkkyyskäyrä ilmaisee tehokkuutta, jolla silmä pystyy aistimaan eri aallonpituuksia. Myöskään LS-100 luminanssimittarin  $V(\lambda)$ -käyrä ei tarkalleen noudattele standardikäyrää, mutta kumminkin huomattavasti paremmin kuin RGB-kenno. Kuvasta 10 (ks. seur. s.) voidaan nähdä, kuinka punaisella esitetty LMK Mobilen vastaavuuskäyrä on hieman siirtyneenä kohti pienempiä aallonpituuksia. Tämä tosin on eduksi, jos ollaan kiinnostuneita pienistä luminansseista, joissa tutkimusten mukaan myös ihmissilmän  $V(\lambda)$ -käyrä siirtyy kohti pienempiä aallonpituuksia.



Kuva 10. Silmän  $V(\lambda)$ -käyrä vihreällä ja LMK Mobilen käyrä punaisella (13)

Jos käytössä on käsikäyttöinen luminanssimittari, voidaan LabSoft-ohjelmalla kalibroida jokainen luminanssikuva kyseessä olevan valaistuksen mukaan, mutta tällöin kuvantavan luminanssimittauksen kätevyys kärsii, jos kohteeseen tarvitaan joka tapauksessa kantaa myös läpikatsottava luminanssimittari ja määrittää jonkin tarkan pisteen luminanssi molemmilla menetelmillä. Toki tämä ominaisuus on hyvä, jos työskennellään samassa tilassa paljon, esimerkiksi tuotteiden testauksessa, ja tarvitaan luotettavia mittaustuloksia.

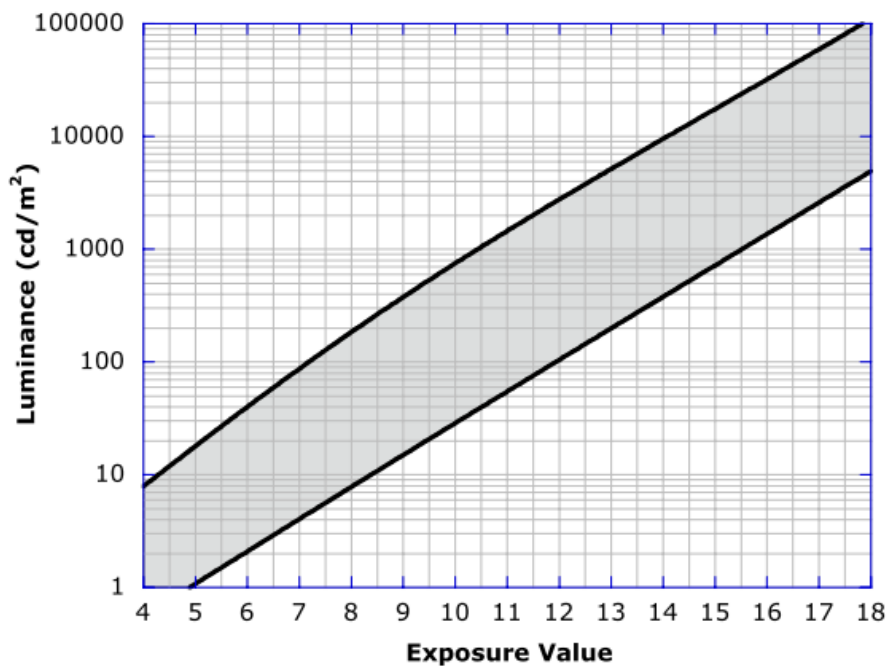
Kumminkin tilojen mittaukseen näillä virherajoilla saadaan riittävän tarkkoja mittaustuloksia. Testissä käytetty kamera ei ollut varustettu kalansilmälinsillä, joten sitä ominaisuutta tämän kanssa ei päästy testaamaan. Jos kameran hankkii kalansilmälinsillä, voidaan sillä myös erillisellä lisäosalla laskea UGR-indeksi. Lisäosan ohjeita lukiessa se vaikuttaa hieman monivaiheiselta, mutta koska sitä ei saatu testattua, on vaikea arvioida sen toimivuutta käytännössä.

#### 5.4 PhotoLux-ohjelma

PhotoLux on monipuolisempi kuin pikkusiskonsa iPhotoLux. Pakettiin sisältyy tietokoneohjelma ja kameran kalibrointi. Ohjelman kanssa voidaan käyttää mitä tahansa riittäväillä käsisäädöillä varustettua kameraa, kunhan se lähetetään kalibrointiin. Tässä

kohtaa täytyy huomauttaa, että testi-kamera ei ollut käynyt kalibroinnissa, joten osa virheestä voi johtua tästä. Testissä olleessa laitteistossa oli käytössä Nikon Coolpix kamera. Ohjelman mukana tulee kalibroitaulukot, joiden mukaan valitaan valotusaika ja aukon arvo jokaista tilannetta varten erikseen. Tätä varten täytyy mittauksessa olla mukana luminanssimittari, jolla mitataan luminanssiarvot joita halutaan kuvantaa.

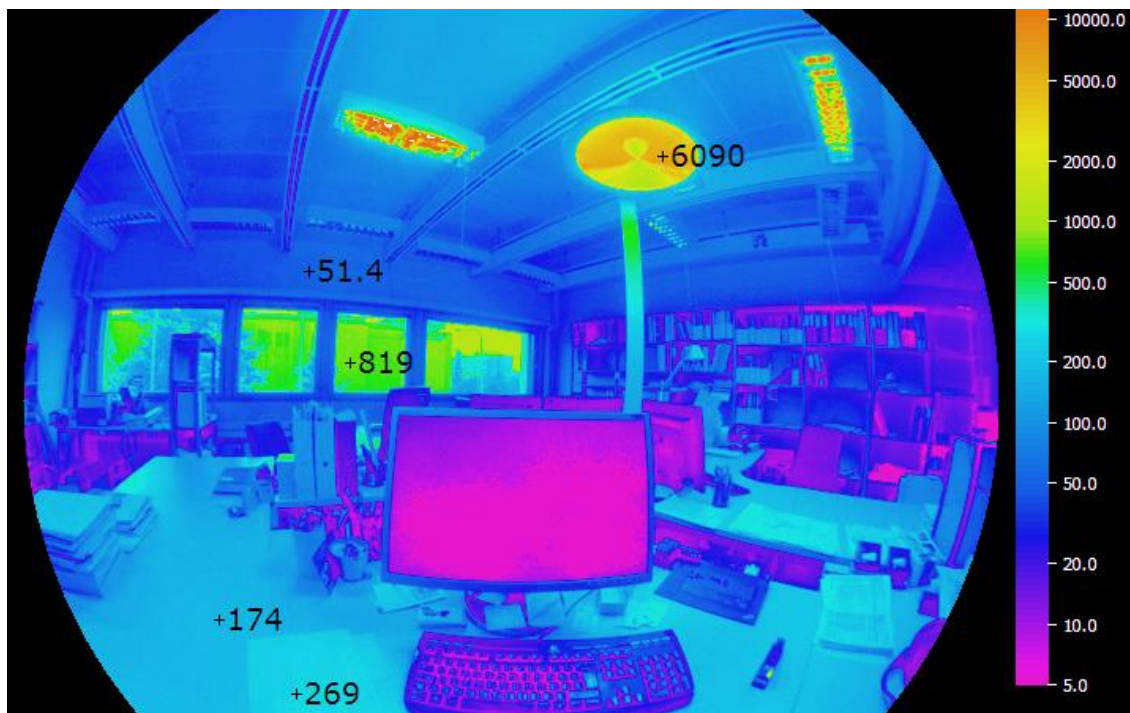
Kuvassa 11 olevasta taulukosta valitaan luminanssiarvojen perusteella vaadittu EV-arvo, jonka mukaan säädetään kameran manuaaliasetukset kohdalleen toisen taulukon perusteella. Tästä voidaan huomata, kuinka luminanssi on yhteydessä kameran valotusarvoon ilman mitään erityisen korkeaa matematiikkaa, kuten kaavasta 5 voitiin huomata. Kamerassa täytyy olla valittuna ISO-herkkyys 100, koska kalibroitaulukot on tehty vain yhdellä herkkyydellä. Kuten aiemmin todettiin, ISO-herkkyyden kanssa pysytään säätämään luminanssialuetta, jolla voidaan toimia.



Kuva 11. Luminanssin ja EV-arvon vastaavuustaulukko Nikon kameralle ISO-herkkyydellä 100 (14)

Testissä olleessa kamerassa ei ollut mahdollisuutta automaattiseen sarjavalotukseen joten, jos kuva-alan luminanssi on liian suuri, joudutaan manuaalisesti ottamaan useita kuvia eri valotuksilla noudattaen aiemmin mainittua kaavaa.

Kun kuva on ladattu ohjelmaan ja aloitetaan luminanssien laskenta, ohjelma ilmoittaa automaattisesti, jos kuvassa on yli- tai alivalottuneita pikseleitä, jolloin voidaan hakea kuvia toisilla valotusarvoilla täydentämään kuvaa. Kamera oli varustettu kalansilmä-objektilla, kuten kuvasta 12 voidaan huomata.



Kuva 12. PhotoLuxin luminanssikuva otettuna kalansilmä-objektilla

Kuvasta voidaan lukea kursorilla yksittäisen pikselin luminanssi tai laskea määrätyn alueen maksimi-, minimi- ja keskimääräinen luminanssi. Myös luminanssisuhteiden määrittäminen onnistuu helposti, kun rajatuista alueista saadaan keskimääräinen luminanssi. Tämän jälkeen voidaan manuaalisesti laskea luminanssisuhteen avulla sallittu maksimi- tai minimiluminanssi, jonka jälkeen ne voidaan syöttää ohjelmassa olevaan sarakkeeseen, joka värjää raja-arvon yli olevat pikselit eri värillä. Kumminkaan ohjelmasta ei saada laskentatietoja ulos muuten kuin kirjaamalla ne käsin toiseen tiedostoon. Toki luminanssikuva saadaan tulostettua, jolloin siinä näkyy asteikko ja merkatut pikseliluminanssit. Kalansilmällä varustettuna laitteistolla saadaan helposti määritettyä UGR-indeksi vain parilla klikkauksella.

PhotoLuxin mittaustulokset ovat varsin vaihtelevat, kuten voidaan havaita taulukosta 4 (ks. seur. s.). Toistovirheen perusteella ei voida epäillä, että virhe olisi pelkästään mitausvirhettä. Mittaustulosten perusteella voitaisiin sanoa, että eniten ongelmia aiheutuu

vihreästä ja sinisestä väristä. Loistelampulla mittausravot ovat pienemmät kuin vertailumittarilla. Kumminkin osa mittausravoista on varsin kiitettävästi samoissa lukemissa vertailumittarin kanssa. Tarkkojen luminanssipisteiden saaminen kuvasta on hieman haasteellista, sillä sitä ei voida suurentaa millään ohjelman ominaisuudella.

Taulukko 4. PhotoLuxin mittaustulokset

| Väri      | Toistovirhe ± | HIT     | LED     | T8       |
|-----------|---------------|---------|---------|----------|
| valkoinen | 2,40 %        | -2,98 % | -4,05 % | -11,95 % |
| keltainen | 5,11 %        | 1,56 %  | -1,52 % | -11,26 % |
| sininen   | 5,08 %        | 16,22 % | 15,86 % | 0,12 %   |
| punainen  | 3,49 %        | -0,18 % | 5,02 %  | -7,79 %  |
| harmaa    | 3,82 %        | -3,92 % | 5,44 %  | -9,33 %  |
| vihreä    | 3,23 %        | 19,27 % | 35,66 % | 10,60 %  |
| keskiarvo | 3,86 %        | 3,64 %  | -0,02 % | -6,59 %  |

Photoluxissa ei ole mitään erityistä, mutta sillä onnistuu perinteiset luminanssimittaukset todella kätevästi. Uudemmissa kameroilla myös mittaustulokset voivat olla tarkemmat. Hieman ylimääräistä vaivaa on kuvan ottamisessa, kun jokainen kuva pitää säätää erikseen taulukon avulla. UGR-indeksin laskenta on tehty ohjelmassa todella helppoksi.

## 6 Johtopäätökset

IESNA:n suosituksista löytyy huomattavasti enemmän mainintoja luminansseista kuin sisätyöpaikkojen valaistusstandardissa (1), jossa luminansseista puhutaan yleisellä tasolla ja kerrotaan, mihin luminanssitasapaino vaikuttaa ja mitä tulee välttää, jonka jälkeen kerrotaan suositusravot heijastuskertoimille ja tilan seinien sekä katon valaistusvoimakkuudelle. Kumminkaan varsinaisista luminanssisuhteista ei anneta suosituksia. Myöskään alemman korkeakoulu-tason koulutuksessa ei mitenkään erityisesti nostettu luminanssia esiin, vaikka se selvästi on suurempi asia kuin tämänhetkiset standardit Euroopassa antavat ymmärtää.

Vaikka luminanssi on haasteellinen ottaa huomioon monien muuttujien takia, kuten työpisteen sijoittelun, tilan pintojen ja työtehtävän laadun takia, olisi silti tärkeätä, että myös suunnittelija tiedostaisi luminanssit niiden vaikuttaessa kumminkin näkemiseen niin olennaisesti. Ymmärrettävistä syistä suunnittelu on helpompaa, kun keskitytään

luminanssin sijaan valaistusvoimakkuuteen ja onhan tämä kuitenkin edellytys luminanssin muodostumiselle. Jos SFS-standardia noudatetaan riittävällä tarkkuudella, myös muiden kuin työaluepintojen osalta, on mahdollista saavuttaa tasainen luminanssijakauma, jolla taataan ergonominen työskentely-ympäristö.

Kameralaitteistojen virherajoista voidaan sanoa mittaustulosten perusteella, että virheet ovat suurimmat, kun mitataan pintaluminansseja pinnoista, joiden värit ovat näkyvän aallonpituusalueen reunoilta. Tätä on vaikeaa saada kalibroitua korjauskertoimella, kun eroa manuaaliseen luminanssimittariin on nollapisteen molemmilta puolilta.

Kun halutaan tietää vain yksittäisen pinnan luminanssi, on käsiikäyttöinen läpikatsottava luminanssimittari kätevämpi kuin kuvantavat menetelmät, ainakin niin kauan kuin tabletilaitteille saatavat ohjelmat ovat yhtä epätarkkoja kuin testi antaa olettaa. Muiden laitteistojen vaatiessa tietokoneen rinnalleen ja kuvien lataamisen ohjelmaan, pystytään LS-100 mittarin kaltaisilla mittareilla määrittämään myös keskimääräinen luminanssi hieman laskinta ja paperia käyttämällä nopeammassa ajassa kuin kuvantavilla menetelmillä. Kuitenkin esimerkiksi valaisimen pinnasta mitattaessa luminanssiarvo voi heittelehtiä paljonkin, riippuen mistä kohdasta mittaus on suoritettu. Tällöin kuvantavan menetelmän ominaisuus, jolla saadaan laskettua määritetyn alueen keskimääräinen luminanssi, on kätevä.

Kun kyseessä on iso tila, josta halutaan määrittää pintojen keskimääräiset luminanssit, voidaan kuvantavilla menetelmillä selvittää pienemmällä vaivalla ainakin, jos käytössä on kalansilmä-objektilla varustettu kamera, joka ei tarvitse kummempia esilaskelmia kuvan ottamiseen. Tällöin ei kulu aikaa siihen, kun hankitaan tai piirretään tilasta kuva ja lasketaan keskimääräisiä luminansseja. Kvantavilla menetelmillä myös tallentuvat kätevästi kaikki auringosta tai valaisimista tulevat valokuviot. Kun hankitaan kameraan kaukolaukaisin, voidaan se ohjelmoida ottamaan kuvia tietyin väliajoin. Tällöin saadaan kattava käsitys tilan luminansseista, joihin vaikuttaa päivänvalokomponentti koko vuorokauden ajalta ilman, että kenenkään tarvitsee päivystää auringon kulkua, mikä myös säästää työtunteja.

Yksinkertaisimmillaan ohjelmissa ei ole muita toimintoja kuin pisteluminanssin määrittäminen ja havainnollinen vääräväritys. Tällöin sen edut verrattuna läpikatsottavaan luminanssimittariin ovat marginaaliset. Kun käytetään kyseisen kaltaista ohjelmaa, olisi vähintään syytä, että luminanssiarvot olisivat lähellä läpikatsottavan luminanssimittarin

arvoja. Tällöin, jos luminanssit voitaisiin lukea suoraan tabletin näytöltä, voitaisiin säästää aikaa, joka kuluu yksittäisten pisteiden luminanssin määrittämiseen ja kirjaamiseen paperille. Tätä vaihtoehtoa olisi syytä tutkia siinä vaiheessa lisää, kun iPhotoLuxista tulee päivitetty versio.

Kuvantavan luminanssimittauksen hyödyt korostuvat silloin, kun ohjelmalla voidaan käsitellä luminanssikuvia tai muutenkin vertailtaessa tai testatessa erilaisia valaistustilanteita. Tällä käsittelyllä tarkoitetaan myös pelkästään sitä, että voidaan määrittää, mitkä luminanssiarvot ovat yli tietyn raja-arvon. Jos luminanssipohjainen suunnittelu tulee osaksi standardia, todennäköisesti myös valaistuksen todentamiseen liittyviä kohtia täydennetään. Se mitä todentamiseen sen jälkeen kuuluu, on toistaiseksi arvoitus, mutta muihin teoksiin pohjautuen voisi olettaa, että siihen kuuluu tämän jälkeen myös luminanssisuhteiden todentaminen, mihin kuvantavat menetelmät soveltuvat loistavasti.

## Lähteet

- 1 Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2010. SFS-EN 12464-1. Helsinki: SESKO ry
- 2 Kallasjoki Tapio. 2013. Lehtori, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. Keskustelu 6.5.2013.
- 3 Pöytäkirjat 3. divisioonan kokouksista vuosilta 2010 ja 2011, Minutes. Verkkodokumentti. CIE, 3. division. <[http://div3.cie.co.at/?i\\_ca\\_id=567](http://div3.cie.co.at/?i_ca_id=567)>. Luettu 4.6.2013.
- 4 Ahonen, Veikko, Kasurinen, Esko, Timonen Tapani. 1996. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. Jyväskylä: GUMMERUS
- 5 Illuminating Engineering Society of North America. 2000. The IESNA Lighting Handbook. United States: IESNA
- 6 Bartholomew, Edward. 2011. Convention Proceedings PLDC in Madrid. Applied Darkness s.10-12.
- 7 Illuminating Engineering Society of North America. 2004. ANSI/IESNA RP-1-04 American National Standard Practice for Office Lighting. New York: IESNA
- 8 Descottes, Hervé, Ramos, Cecilia. 2011. Architectural Lighting: Designing with Light and Space. New York: Princeton Architectural Press
- 9 Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2007. SFS-EN 12464-2. Helsinki: SESKO ry
- 10 Understanding exposure value in photography. Verkkodokumentti. Shane Messer. <http://www.picturecorrect.com/tips/understanding-exposure-value-in-photography/>. Luettu 27.7.2013.
- 11 Luminanssin mittaaminen digitaalikameralla, Measuring Luminance with a Digital Camera. Verkkodokumentti. Peter D. Hiscocks. <http://www.ee.ryerson.ca/~phiscock/astronomy/light-pollution/luminance-notes.pdf>. Luettu 23.7.2013.
- 12 Vinjetointi, Vignetting. Verkkodokumentti. Paul van Walree. <http://toothwalker.org/optics/vignetting.html>. Luettu 23.7.2013.



- 13 LMK Mobilen Advanced –esite. Verkkodokumentti. Techno Team Bildverarbeitung GmbH.  
[http://www.technoteam.de/e898/e97/e286/e287/e1028/LMK\\_ma\\_EOS550D\\_EN\\_eng.pdf](http://www.technoteam.de/e898/e97/e286/e287/e1028/LMK_ma_EOS550D_EN_eng.pdf). Luettu 24.7.2013
- 14 Käyttöohje. Soft Energy SARL. Photolux System Guide Coolpix 5400

