

Tero Myhrberg

3ds Maxin käyttö arkkitehtuurisessa valaistussuunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

29.5.2016

Tekijä Otsikko	Tero Myhrberg 3ds Maxin käyttö arkkitehtuurisessa valaistussuunnittelussa
Sivumäärä Aika	28 sivua + 5 liitettä 29.5.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	insinööri Juha Hälikkä lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Insinööriyössä tutkittiin mahdollisuutta käyttää 3ds Max -ohjelmaa arkkitehtuurisen valaistuksen visualisoinnissa ja simuloitujen tuloksien luomisessa. Tämän jälkeen vertaillaan saatuja tuloksia todellisiin mitattuihin arvoihin.</p> <p>Aluksi tutustuttiin käytettävissä olevaan valaisimen rakenteeseen ja tekniikkaan. Seuraavaksi valaisimella suoritettiin sarja mittauksia. Mittausten jälkeen tilannetta ruvettiin rakentamaan 3ds Maxilla. Mittaustilanteet mallinnettiin ja suoritettiin laskelmat ohjelman omalla mallinnustehosteella.</p> <p>Mittausten ja laskelmien arvoissa oli eroavaisuuksia ja selvää kaavaa niiden väliltä ei löytynyt.</p> <p>3ds Max toimii erinomaisesti visualisoinnissa, ja sillä saa hyviä mallikuvia, mutta valaistuslaskelma ohjelmalla ei ole kovin luotettava.</p>	
Avainsanat	valaistus, 3ds Max, visualisointi, LED

Author Title	Tero Myhrberg Use of 3ds Max in architectural lighting design.
Number of Pages Date	28 pages + 5 appendices 29 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Electrical Building Services
Instructors	Juha Hälikkä, Bachelor of Engineering Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to determine the possibility of using 3ds Max software to visualize architectural lighting, to create simulated results and, finally, to compare them to real measurements. The first step in the final year project was to choose the right light-fixture, and gather the real measurements for the project. After this, the simulated representation was created with the 3ds Max software. The simulations and models were then measured and calculations done with the modelling software provided by 3ds Max.</p> <p>The real measurements and calculated values showed dissimilarities, but no distinct pattern could be found. In conclusion, the 3ds Max software was an excellent tool to visualize a design, as it provided very effective reference pictures, but the light-fixture calculations, on the other hand, proved to be unreliable.</p>	
Keywords	lighting, 3ds Max, visualization, LED

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	4
2	Yritysesittely	4
3	Valaistuksen peruskäsitteet	4
3.1	Valovoima (I, kandela [cd])	5
3.2	Valovirta (Φ , lumen [lm])	5
3.3	Valaistusvoimakkuus (E, luksit [lx])	5
3.4	Luminanssi (L, kandela/neliömetri [cd/m^2])	6
3.5	Väriämpötila (kelvin [K])	6
3.6	Epäsuora ja suora valo	7
4	Valo	7
4.1	Mitä valo on?	7
4.2	Valkoinen valo	8
5	LED	10
6	Mittaukset	10
6.1	Mittauksien suoritus paikka ja mitattava valaisin	10
6.2	Mittalaitteet	11
6.3	Kontrollimittaus	11
6.3.1	Kontrolli 1	11
6.3.2	Kontrolli 2	12
6.4	Mittaus	13
6.4.1	Mittaus 1–6	13
6.4.2	Mittaus 7–12	14
6.4.3	Tulos	14
7	3ds Max	15
7.1	Autodesk ja 3ds Max	15
7.2	Käyttö	15

7.2.1	Tilan visualisointi	15
7.2.2	Mitattavan kiven visualisointi	16
7.2.3	Valaisimien visualisointi	17
7.3	Tilojen visualisointi	18
7.3.1	Kontrolli 1 -tilan luonti	18
7.3.2	Kontrolli 2 -tilan luonti	19
7.3.3	Mittaustila	20
7.4	Mittauspisteiden kohdistus	21
8	Havaintojen vertaaminen laskelmiin ja johtopäätökset	22
8.1	Kontrolli 1:n laskelmien vertailu ja johtopäätökset	22
8.2	Kontrolli 2:n laskelmien vertailu	23
8.2.1	Kontrolli 2:n kuvien silmämääräinen vertailu	24
8.2.2	Johtopäätökset kontrolli 2:n osalta	25
8.3	Mittauslaskelmien vertailu ja johtopäätökset	26
9	Yhteenveto	27
	Lähteet	28
	Liitteet	
	Liite 1. Valaisimen BM47 tekniset tiedot	
	Liite 2. Mittauspöytäkirja	
	Liite 3. Kontrolli 1 – mallinnuskuvat mittausverkolla	
	Liite 4. Kontrolli 2 – mallinnuskuvat mittausverkolla	
	Liite 5. Mittaus 1-12 – mallinnuskuvat mittausverkolla	

Lyhenteet

3ds Max	3D-mallinnusohjelma
.3DS	3ds Maxin käyttämä tiedostomuoto
.IES / .LDT	tiedostoformaatteja; jotka pitävät sisällään mitatun valokuvion 3D-mallin.
LED	Light Emitting Diode; loistediodi; LEDi
WRGB	Valaisimessa on kaikki värit samaan aikaan päällä.

1 Johdanto

Insinööriyössä tutkitaan 3ds Maxin käyttöä (arkkitehtuurisessa) valaistussuunnittelussa. Tavoitteena on todeta mittauksien pohjalta 3ds Maxin tulosten paikkansapitävyys.

Ongelmana on valaistusvoimakkuuden havainnointiin vaikuttava katselukulma. Ihminen havaitsee valon vaikutuksen ja voimakkuuden eritavalla riippuen kohteen katselukulmasta. Valaistuslaskelmaohjelmat eivät huomioi katselukulmaa pinnankirkkauden tuloksissa.

Valaistus mittaukset tehdään erillisessä huoneessa, mikä myös mallinnetaan. Tuloksia verrataan sen jälkeen, ja jos löytyy poikkeamia, ne pyritään rajaamaan. Tarkastellaan, saadaanko mahdolliset poikkeamat vastaamaan mittauksia käyttämällä jonkinlaista korjauskerrointa.

2 Yritysesittely

Ramboll on johtava kansainvälinen suunnittelu- ja konsultointialan yritys. Yritys perustettiin 1945 Kööpenhaminassa, Tanskassa. Konzernin pääomistajana on Ramboll-säätiö. Toimistoja on 300, ja niitä on 35 eri maassa. Työntekijöitä on maailmanlaajuisesti 13 000, ja Suomessa on jo yli 2 000 asiantuntijaa.

Yritys tarjoaa infrastruktuurin, ympäristön ja rakennusten suunnitteluun, rakennuttamiseen, rakentamiseen ja ylläpitoon sekä johdon konsultointiin liittyviä asiantuntijapalveluita. Tavoitteena on luoda aidosti koko yhteiskunnan toimintaa kehittäviä ratkaisuja.
[1.]

3 Valaistuksen peruskäsitteet

Jokaisella fysiikan alalla on neljä perussuuretta, joista kolme on kaikille yhteisiä ja yksi yksilöllinen. Yhteisiä suureita ovat massa, pituus ja aika. Valaistustekniikan yksilöllinen suure on valovoima.

3.1 Valovoima (I, kandela [cd])

Valovoima on perussuure, josta kaikki valaistussuureet on johdettu. SI-järjestelmän mukainen mittayksikkö valon intensiteetille eli valon voimakkuudelle eli valovoimalle on kandela. Yksinkertaisimmillaan yksi kandela vastaa yhdestä kynttilästä lähtevää valovoimaa yhden metrin päässä kynttilästä. Matemaattisesti kandela on luumen setradiania kohti (lm/sr). [2, s. 34–35.] Valovoiman määritelmä on nykyisin sanatarkasti seuraava:

Valonlähteen valovoima tiettyyn suuntaan on yksi kandela (1 cd) silloin, kun valonlähde säteilee monokromaattista, 540×10^{12} Hz:n taajuista säteilyä ja sen säteilyteho tähän suuntaan on $1/683$ W/sr [2, s. 35.]

3.2 Valovirta (Φ , luumen [lm])

Ilmaisee yhden valonlähteen tuottaman valon määrän. Koska silmän herkkyys on erilainen eri aallonpituuksilla, niin wattien sijasta säteilyteho ilmoitetaan luumeneina. Kynttilän tuottama valovirta on suuruusluokkaa 10 luumenia [2, s. 35–36.]

3.3 Valaistusvoimakkuus (E, luksi [lx])

Yksi luksi on kynttilän antaman valon määrä metrin päähän. Keskipäivän auringonvalo on yli 100 000 lx. Valaistusvoimakkuus kertoo, kuinka paljon valoa valonlähteestä osuu jollekin pinnalle. Valo joko läpäisee, absorboituu tai heijastuu pinnasta. Pinnalle saapuvaa valovirran tiheyttä kutsutaan valaistusvoimakkuudeksi. Valaistusvoimakkuus [E] saadaan jakamalla valovirta (Φ) pinnan alalla (A).

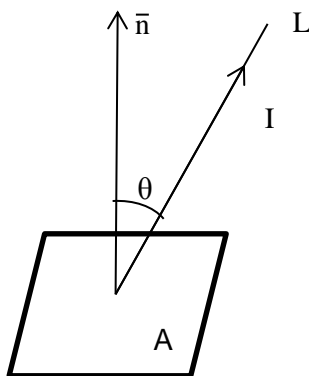
$$E[lx] = \frac{\Phi[lm]}{A[m^2]}$$

[2, s. 36; 4.]

3.4 Luminanssi (L, kandela/neliometri [cd/m²])

Luminanssi kuvaa valoa, jonka pinta säteilee tai heijastaa ja silmä havaitsee sen. Mitä isompi luminanssi pinnassa on, sitä kirkkaammalta se vaikuttaa (kuva 1). Siten luminanssi on pinnan kirkkautta. Luminanssi saadaan jakamalla valovoima pinnan alalla ja heijastuman kulmalla. [2. s. 42–43; 4.]

$$L \left[\frac{cd}{m^2} \right] = \frac{I[cd]}{A[m^2] \times \cos\theta}$$



Kuva 1. Luminanssin heijastuminen pinnasta [2, s. 43.]

3.5 Väriämpötila (kelvin [K])

Valon värivaikutelma on valonlähteestä säteilevää näkyvää valon väriä. Väriämpötila on sellaisen mustan kappaleen lämpötila, jonka säteilemä valo vastaa tarkasteltavaa valoa. Voimakkaasti värillisellä valolla ei ole väriämpötilaa.

Säteilylähteen värin määrittelyssä on tarkoituksenmukaista käyttää väriämpötilan käsitettä. Se määritellään mustan kappaleen absoluuttisena väriämpötilana siten, että mustan kappaleen ja tutkittavan säteilyn lähteen valon värilaatu astaaavot toisiaan. Musta kappale on musta huoneen lämpötilassa 300 K, punainen lämpötilassa 800 K, valkoinen lämpötilassa 5 000 K ja sininen lämpötilassa 60 000 K. [2, s. 59.]

Ihminen näkee väriämpötiloja 2 800–11 000 K. Lämminsävyinen valo on noin 2 700–3 000 K, valkoinen valo 4 000 K (kuva 2), päivänvalo 5 500 K, sininen taivas yli 8 000 K.



Kuva 2. Valkoisen valon värilämpötila

3.6 Epäsuora ja suora valo

Suoralla valolla tarkoitetaan valonlähteestä valaistavalle pinnalle suoraan tulevaa valoa ja epäsuoralla valolla taas tarkoitetaan seinän, katon tai jonkun muun pinnan kautta valaistavalle pinnalle heijastettavaa valoa [3].

4 Valo

4.1 Mitä valo on?

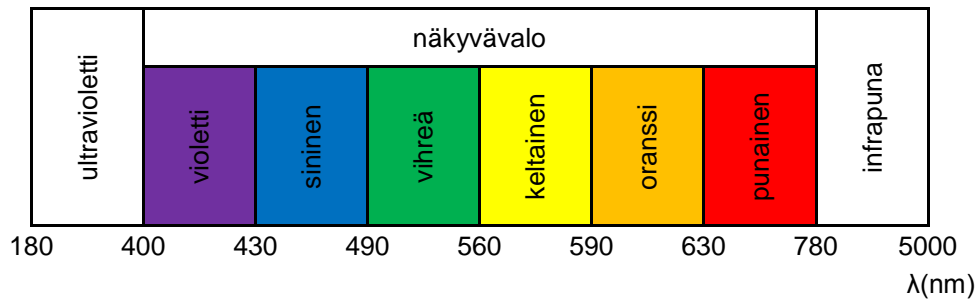
Valo on näkyvää säteilyenergiaa. Valaistustekniikan kannalta kiinnostavaa on sähkömagneettisen säteilyn (taulukko 1) spektrialueelta ultraviolettisäteily, näkyvävalo ja infrapunasäteily (taulukko 2).

Taulukko 1. Sähkömagneettinen säteily

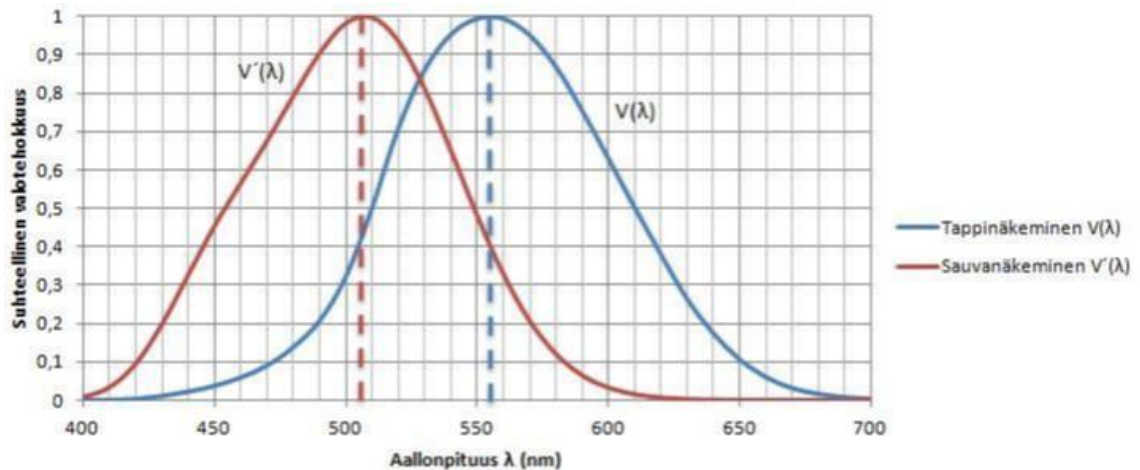
kosmiset säteet	gamma-säteet	röntgensäteet	ultraviolettisäteily	näkyvä valo	infrapunasäteily	mikroaallot	televisio ja FM-radio	AM-radio	sähkönjakelu
10^{-14}			10^{-8}	$4,0 \cdot 10^{-7}$ $4,8 \cdot 10^{-7}$	10^{-5}				10^6
$\lambda(\text{m})$									

Näkyvän valon alue koko sähkömagneettisesta spektristä on hyvin kapea. Ihmissilmä näkee vain aallonpituudet 400–780 nm. Arvot voivat vaihdella havaitsijan mukaan. Näkyvä valo voidaan jakaa kuuteen eri pääväriin, mutta raja ei ole selvä, vaan sävyt sekoittuvat toisiinsa rajojen alueelta. Mitä lyhyempiä aaltoja on, sitä violetimpaa valo on ja mitä pidempiä aaltoja, sitä punaisempaa valo on (taulukko 2).

Taulukko 2. Näkyvä valo



Ihminen ei havaitse kaikkia aallonpituuksia samalla tavalla. Suhteellisen silmänherkkyyden mukaan valoisassa ihmisen havaitsee n. 555 nm kelta-vihreän valon aallonpituuden 10 kertaa voimakkaammin, kuin pitkät tai lyhyet aallonpituudet. (Kuva 3.)



Kuva 3. Suhteellinen silmänäköherkkyys [4].

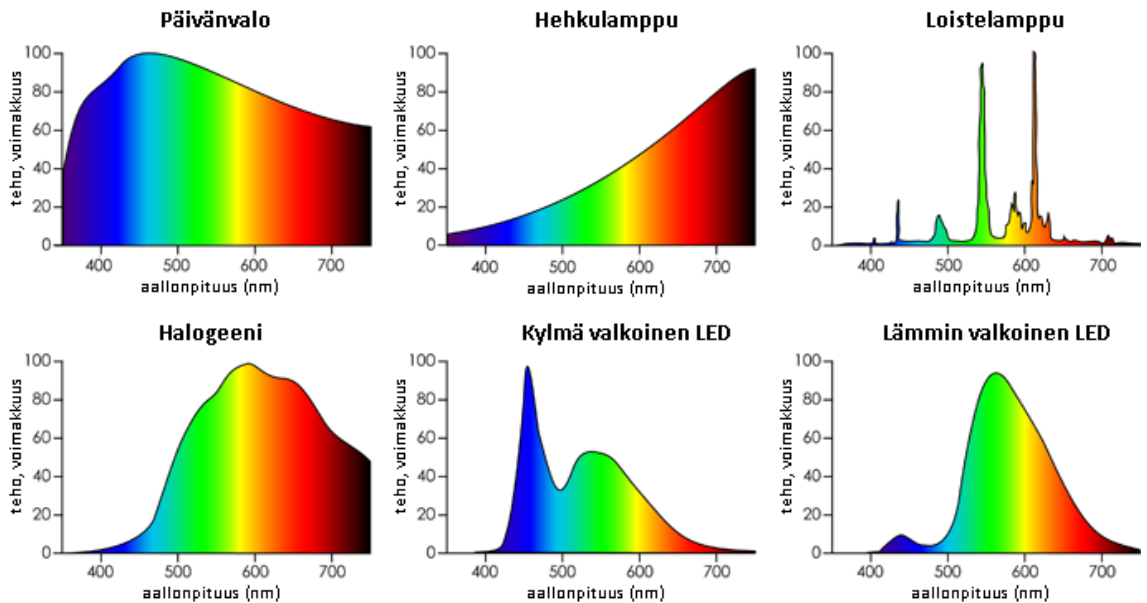
Hämärässä ihmisen havaitsee n. 505 nm vihreän valon aallonpituuden 10 kertaa voimakkaammin, kuin lyhyemmät ja pidemmät aallonpituudet (kuva 3).

4.2 Valkoinen valo

Tasaenergiaskaalinen valkoinen valo määritellään säteilyksi, jonka säteilyteho kaikilla näkyvän valon alueen aallonpituuksilla on vakio [2, s. 29.]

Valkoista valoa on erilaista, koska kaikki valkoinen valo ei ole täysin valkoista (kuva 4). Esimerkiksi hehkulampun säteily on pääasiassa keltaista ja punaista valoa. Loiste-

lamppu taas säteilee enimmäkseen vain vihreää ja oranssia valoa. Päivänvalo taas on sinistä valoa ja myös ihmissilmälle näkymätöntä UV-säteilyä. Sanotaan kumminkin, että lähes kaikki valonlähteet tuottavat ainakin jonkinasteista valkoista valoa. Sävyt vain ovat lähteestä riippuen joko kylmempiä tai lämpimämpiä. Valonlähteen voimakkaammat aallonpituuden korostavat aina sitä, minkä väristä valoa säteilevät. Päivänvalo saa valkoisen lumihangen hohtamaan sinisenä, ja hehkulamppu taas korostaa keltaisen ja punaisen sävyjä [2, s. 25–30.]



Kuva 4. Valkoisten valojen spektrejä [5].

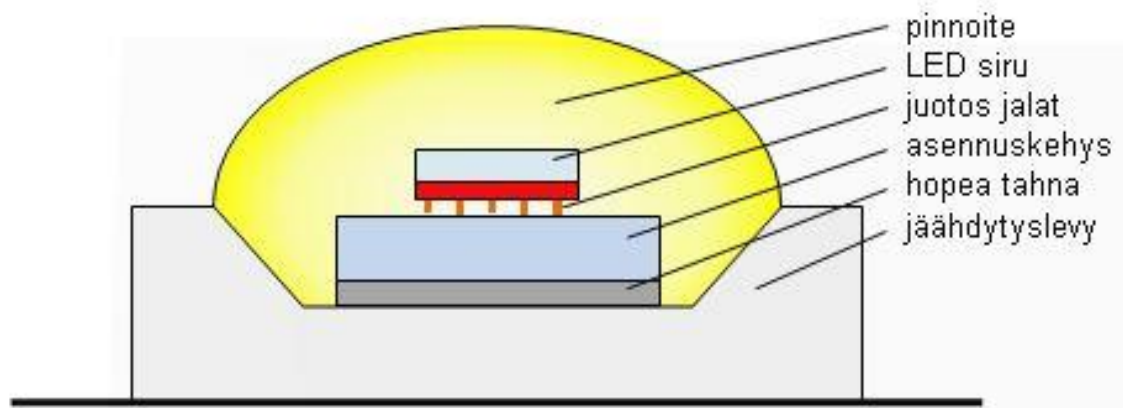
Myös valon värilämpötila voi vaikuttaa havaittavaan värin sävyyn. Matala värilämpötila korostaa enemmän punaisen sävyjä ja korkea värilämpötila taas korostaa enemmän sinisiä sävyjä. Matala värilämpötila voi tuntua lämpimältä ja korkea värilämpötila saa kaiken näyttämään kylmältä.

Tiivistettynä tämä tarkoittaa sitä, että jos valkoisessa valossa on kaikkia värejä saman verran, näkyy jokainen väri yhtä hyvin ja mikään väri ei korostu muita enempää. (Kuva 4.)

5 LED

Työssä tutkitaan LED-valaisimien tuottamaa valoa. LED-valaisimet ovat viime vuosina yleistyneet huomattavasti. Ledien hyviä puolia on jopa 80 %:n energiansäästöt ja puolet pidempi käyttöikä kuin hehkulamput, lisäksi Ledit syttyvät välittömästi ja niitä voidaan säätää 0–100 %. LED-valaisimet toimivat parhaiten viileässä ilmassa, joka lisää käyttöikää entisestään.

LED tulee sanoista Light-Emitting Diode. LED on puolijohdekomponentti, joka lähettää valoa. Valo saadaan aikaan, kun kiinteään aineeseen johdetaan myötäsuntaisesti sähkövirtaa, jonka jälkeen aine emittoi näkyvää valoa. Valo on lähes monokromaattista valoa, eli terävä piikki näkyvän valon spektrin alueella.



Kuva 5. LED-sirun rakenne

LED-siru koostuu kuudesta osasta. Valmistuksessa käytettävä puolijohdemateriaali määrää lähtevän valon aallonpituuden ja täten näkyvän valon värin (kuva 5).

6 Mittaukset

6.1 Mittauksien suoritus paikka ja mitattava valaisin

Mittaukset suoritettiin Lemuntie 3:ssa iGuzzini Finland & Baltic Oy:n tiloissa ja yrityksen valaisimilla, Linealuce Compact surface BM47:lla (liite 1). Yrityksellä on varsin kattava

esittelytila, jossa on nähtävänä ja kokeiltavana valaisimia laajasta valikoimasta. Tila on mahdollista pimentää täysin, mikä oli vaatimus mittauksia suoritettaessa.

6.2 Mittalaitteet

Mittalaitteina oli luminanssimittari Konica Minolta CS-100 ja luksimittari Konica Minolta T-10.

Luminanssimittarin etsimestä voi katsoa mittausalueen ja luminanssi cd/m^2 ilmestyy näyttöön. Mittaustulos näkyy myös ulkoisessa näytössä, mistä voi luminanssin lisäksi lukea värikordinaatit. Yhdellä mittausalueella katetaan $0,01\text{--}99\,990\text{ cd/m}^2$.

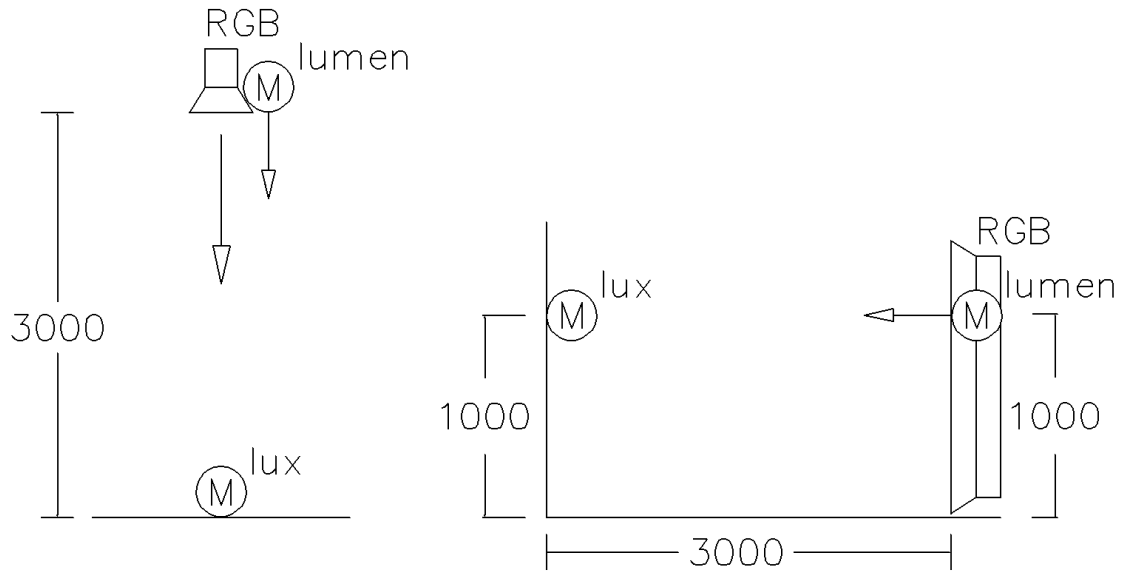
Luksimittari asetetaan mitattavaan kohtaan ja painetaan liipasimesta. Mittari näyttää luksien määrän laitteen näytössä. Mittausalue on $0,01\text{--}99\,900\text{ lx}$. [6]

6.3 Kontrollimittaus

Suoritettiin kaksi kontrollimittausa, joista ensimmäisessä tarkasteltiin valaisimen antamaa valotehoa kolmen metrin päässä olevalle seinälle. Toisessa kontrollimittauksessa havainnollistettiin valaisimen kykyä valaista seinä alhaalta ylöspäin. Nämä mittaukset suoritettiin, jotta tilanne voidaan jäljentää ja verrata sen jälkeen 3ds Maxin antamia tuloksia mitattuihin arvoihin.

6.3.1 Kontrolli 1

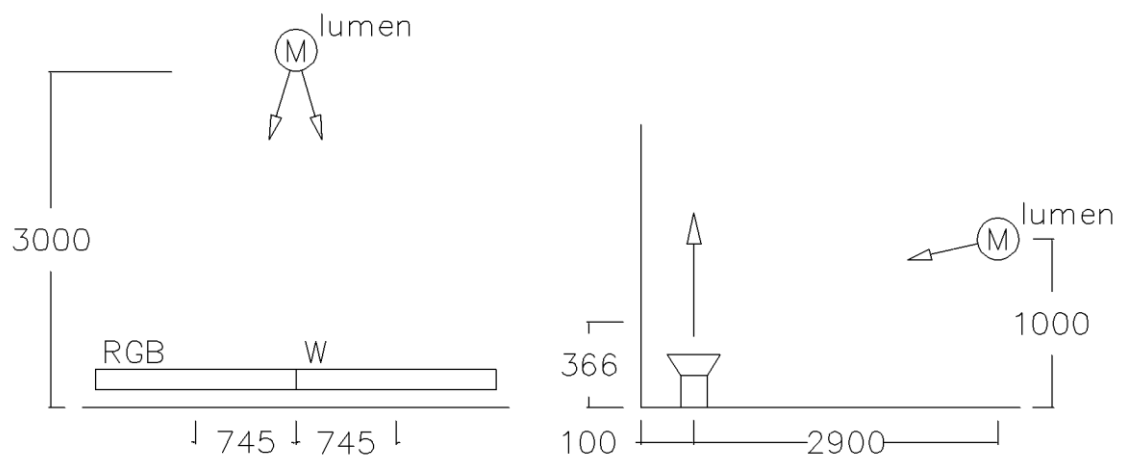
Ensimmäinen kontrollimittaus tehtiin valaisimen ollessa pystyssä ja 3 metrin päässä seinästä. Valaisin asetettiin 100 %:n teholle ja värit käytiin yksitellen läpi (kuva 6). Kuvassa näkyvä ympyröity M-kirjain kuvaa mittaria, jonka nuoli ilmoittaa mittaussuunnan ja teksti mittarin vieressä mittayksikön.



Kuva 6. Kontrolli 1, vasemmalla asettelu ylhäältä ja oikealla sivulta

6.3.2 Kontrolli 2

Sijoin valaisimet lattialle, seinän viereen. Mittauksen tein seinäpinnasta valaisimen keskeltä 300 mm:n korkeudelta valaisimen yläpinnasta. Luminanssit mitattiin 100 %:n teholla (kuva 7).



Kuva 7. Kontrolli 2, vasemmalla asettelu ylhäältä ja oikealla sivulta

6.4 Mittaus

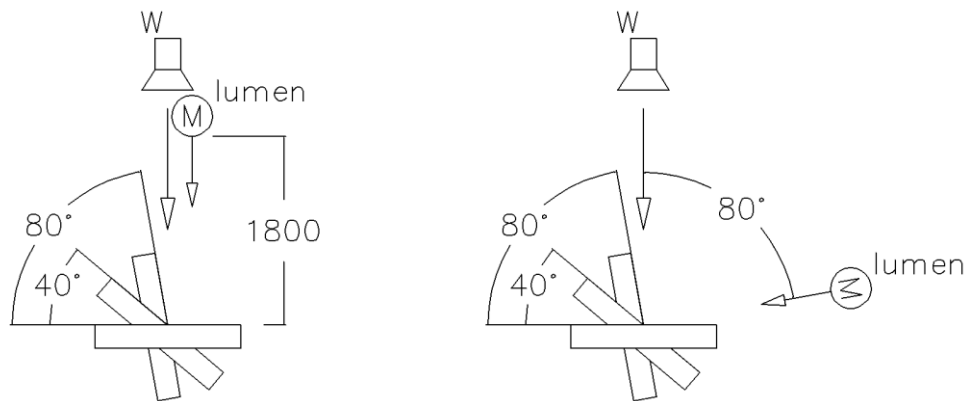
Seuraavaksi tarkasteltiin valon käyttäytymistä arkkitehtuurisessa valaistuksessa. Verrokkina käytettiin 140 mm x 140 mm x 20 mm:n kokoista graniittikappaletta, josta toinen puoli oli hiottu ja toinen karhea. Mittaukset suoritettiin kiven molemmilta sivuilta (kuva 8).



Kuva 8. Mittaustilanne 6. valaisimen suuntainen mittaus, karhea puoli ja kivi 80°:n kulmassa.

6.4.1 Mittaus 1–6

Sijoitin valonlähteen ja mittarin samansuuntaisesti, kohti kiveä (kuva 9). Ensimmäisessä mittauksessa kiven sileäpuoli oli kohtisuorassa valonlähteeseen nähden. Kiveä käännettiin seuraavassa vaiheessa 40° ja seuraavassa toiset 40°. Sama toistettiin karhealla puolella.



Kuva 9. Mittausasettelut, vasemmalla mittaukset 1–6 ja oikealla mittaukset 7–12

6.4.2 Mittaus 7–12

Sitten siirsin mittaria 80° kivistä katsottuna oikealle (kuva 9) ja toistin aikaisemmin tehdyt kuusi mittausa.

6.4.3 Tulos

Mittauksista 1–6 on havaittavissa, että kiven kääntyessä mitattu luminanssi pienenee. Karkealla pinnalla saadaan hieman sileämpää puolta korkeampia mittaustuloksia, eroa on korkeintaan 20 cd/m^2 . Prosentteissa arvot ovat kumminkin huomattavasti suurempia. Karkean puolen arvot ovat 22 % suurempia kiven ollessa 0° :ssa, 34 % suurempia 40° :n kulmalla ja peräti 94 % suurempia 80° :n kulmalla. Pinnalla on siis huomattavasti enemmän merkitystä, mitä enemmän valonlähde on seinän suuntaisesti.

Mittauksista 7–12 havaitaan karkean puolen antavan hieman alle 40 % suuremman luminanssi mittaus arvot 0° :n ja 80° :n kulmalla. Kiven ollessa 40° :n kulmassa, mittauksissa 8 ja 11 ei ole eroa sileän ja karkean puolen välillä.

Voidaan todeta, että valaistavalla pinnalla ja valaisimen kulmalla valaistavaan pintaan on huomattava merkitys [Liite2].

7 3ds Max

7.1 Autodesk ja 3ds Max

Autodesk on johtava 3D-suunnittelun ja viihdeteollisuuden ohjelmistoja ja palveluita tarjoava maailmanlaajuinen yritys. Se on perustettu vuonna 1982, ja yrityksen pääkonttori sijaitsee San Rafaelissa, Kaliforniassa.

Yrityksen tuotteita ovat esim. AutoCAD ja 3ds Max (aiemmin 3D Studio ja 3D Studio Max). 3ds Max on yksi maailman laajimmin käytössä oleva 3D-mallinnusohjelma. 3ds Max on ollut markkinoilla vuodesta 1990, ja ohjelmasta on julkaistu uusi versio kerran vuodessa. Tämän hetken uusin versio on 3ds MAX 2016. Tässä työssä käytettiin vuoden 2015 versiota. [7, 8.]

7.2 Käyttö

Koska aikaisempi kokemukseni 3ds Maxista sijoittuu yli kymmenen vuoden päähän, Aloitin ohjelman mieleen palauttamisen perusteista. Katsoin aloittelijoille suunnattuja opetusvideoita ja tein niissä esiintyviä tehtäviä.

Videoita on saatavilla lukemattomia määriä ja niiden laatu vaihtelee suuresti. YouTube-palvelussa on niin harrastelijoiden kuin Autodeskin tekemiä opetusvideoita. Lisäksi laadukkaampia, mutta maksullisia opetusvideoita on esimerkiksi Puralsight (aikaisemmin Digital Tutors) -yrityksellä.

Pieni kertaaminen oli suotavaa muutenkin, koska ominaisuuksia on tullut hurjasti lisää ja ohjelman ulkoasu oli myös muuttunut huomattavasti.

7.2.1 Tilan visualisointi

Mallintaminen aloitettiin helpoimmasta, eli mittaushuoneesta. Koska huone oli suorakaiteen mallinen, huoneen pystyi tekemään helposti 3ds Max -perustyökaluilla. Huoneen luontiin käytin laatikkoprimitiiviä ja syötin huoneen mittatiedot laatikolle. Huone, jossa mittaus suoritettiin, oli 5 metriä leveä, 10 metriä pitkä ja 3,5 metriä korkea. Koska

laatikko tulisi toimimaan tilan ulkoseinänä, piti mallinnusasetuksista muistaa valita 'Force 2-Sided'. Valinta on 'Render Frame Window' -valikossa ja sieltä 'Options' -kohdasta. Ilman kyseistä valintaa huoneen seinät olisivat läpinäkyviä sisäpuolelta.

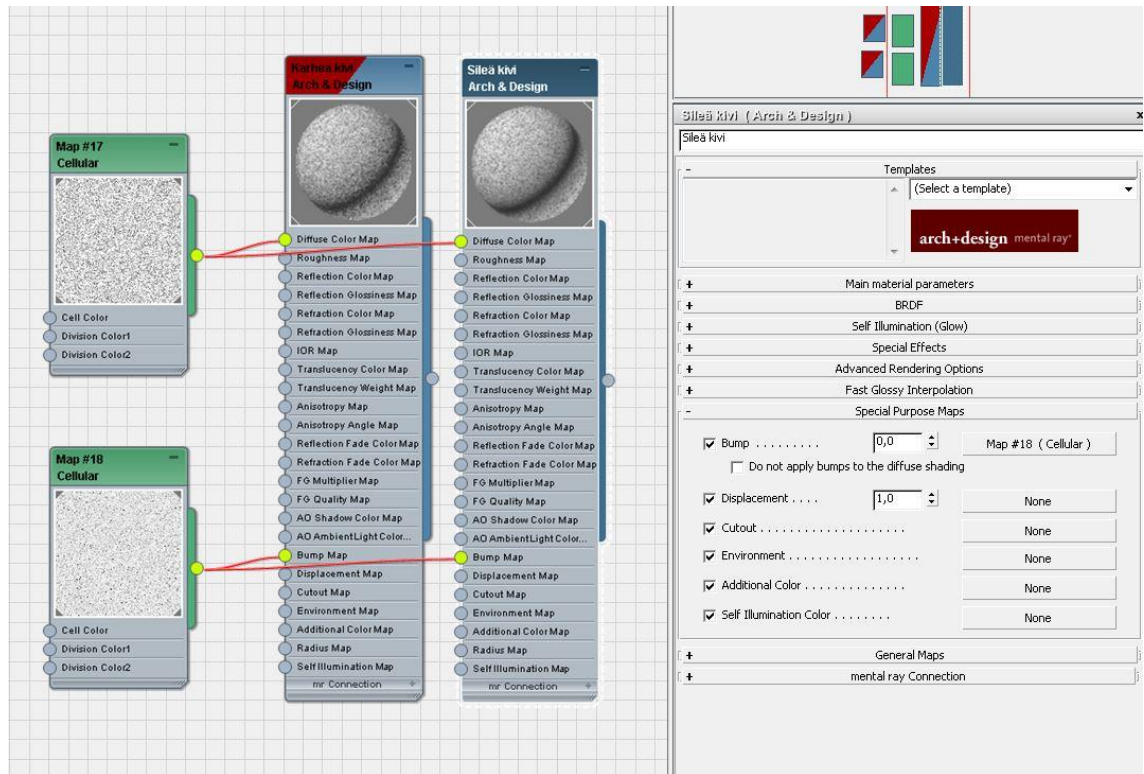
Mittaushuone pitää muuttaa 'editable mesh' -työkalulla muokattavaksi, jotta pinnoille voidaan antaa eri tekstuurit. Materiaaleja hallinnoidaan 'Material Editor' -valikossa. Siellä on Autodeskin valmiiksi luomia tekstuureja. Seinille asetettiin 3ds maxin valmiista materiaaleista 'Autodesk Wall Paint', jonka väriksi asetettiin valkoinen. Lattialle ja katolle asetettiin sama materiaali kuin seinälle, mutta mustana.

7.2.2 Mitattavan kiven visualisointi

Myös kivi luotiin laatikkoprimitiiviä käytettiin. Kiven mitat (14 cm x 14 cm x 2 cm) syötettiin laatikolle, minkä jälkeen laatikko muutettiin myös 'editable mesh' -työkalulla muokattavaksi. Tämän jälkeen kivelle lisättiin 'UVW Map' -objektien muunnos listasta (Modifier List). Tämän jälkeen luotiin kivelle tekstuuri ja pinta.

Avataan 'Material Editor' -valikko ja lisätään 'mental ray' -valikon alta 'Arch & Design' -materiaali. Materiaaliin liitetään 'Cellular' -kohinakartta 'Diffuse Color Map'- ja 'Bump Map' -kohtaan. 'Diffuse Color Map' 'Cellular' -kartalla määrittelee kiven ulkonäön ja 'Bump Map' määrittelee kiven karheuden ja kohdan 'Cellular' kartta määrittelee karheuden kuvion.

Asetin ensin kiven karhean pinnan. Tämän jälkeen kopioin valmiin 'Arch & sign' -materiaalin edellisen vierelle ja muutin 'Bump Map' -kohdasta 'Special Purpose Maps' -kohdan alta löytyvän 'Bump' -arvon 0. Sitten nimesin molemmat materiaalit pinnan mukaan karheaksi ja sileäksi kiveksi (kuva 10).



Kuva 10. Valmiit kivimateriaalit

7.2.3 Valaisimien visualisointi

Valaisimen rakensin valmistajan sivuilta saatavasta 3D-mallista ja erillisillä valonjakotiedostoilla. Mallissa oli valmiina valonjakotiedostot. Koska tahdoin jokaisen värin ja LEDin erikseen, purin mallin 'Disassemble Objects' -käskyllä. Poistin valmiit valonjaot ja lisäsin jokaiselle LEDille oman valonjakotiedoston. Lisäksi jouduin muuttamaan jokaisen värin antaman luumenmäärän valmistajalta saadun korjauskerrointaulukon mukaan (taulukko 3).

Taulukko 3. Valmistajan antamat kertoimet

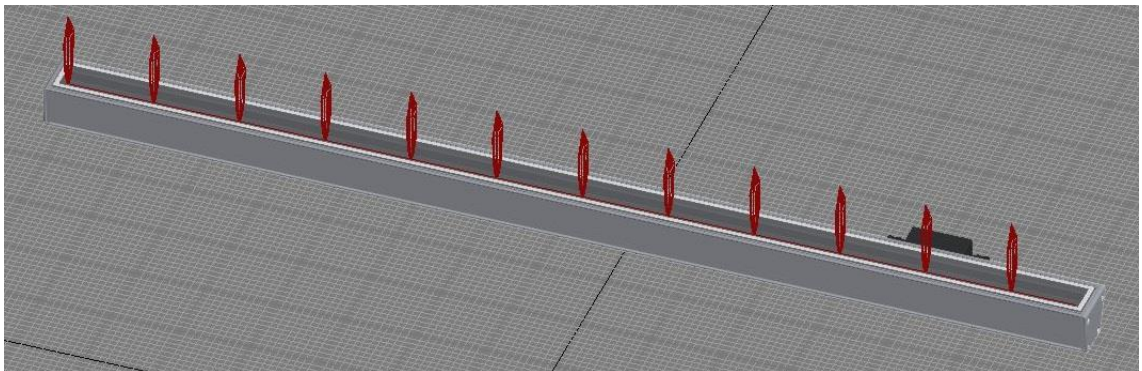
	Kerroin
WRGB	1,00
White	0,51
Red	0,23
Green	0,38
Blue	0,15

Korjauskertoimien avulla pystyin laskemaan kokonaisvalovirran avulla (2 970 lm) jokaiselle värille oman valovirran ja sen jälkeen jakaa sen vielä LEDien lukumäärällä (taulukko 4).

Taulukko 4. Ledikohtaiset lumenit

	Kerroin	Luumenia	LED lkm: 12
WRGB	1,00	2 970 lm	
White	0,51	1 515 lm	126,23 lm/kpl
Red	0,23	683 lm	56,93 lm/kpl
Green	0,38	1 129 lm	94,05 lm/kpl
Blue	0,15	446 lm	37,13 lm/kpl

Tämän jälkeen jokaiselle valaisimen LEDille voitiin antaa oma valovirta arvo. Sitten kasasin valaisimen paketiksi 'Assemble Objects' -työkalulla ja tallensin jokaisen mallin erikseen (kuva 11).



Kuva 11. Valmis valaisin, punaisilla LEDillä.

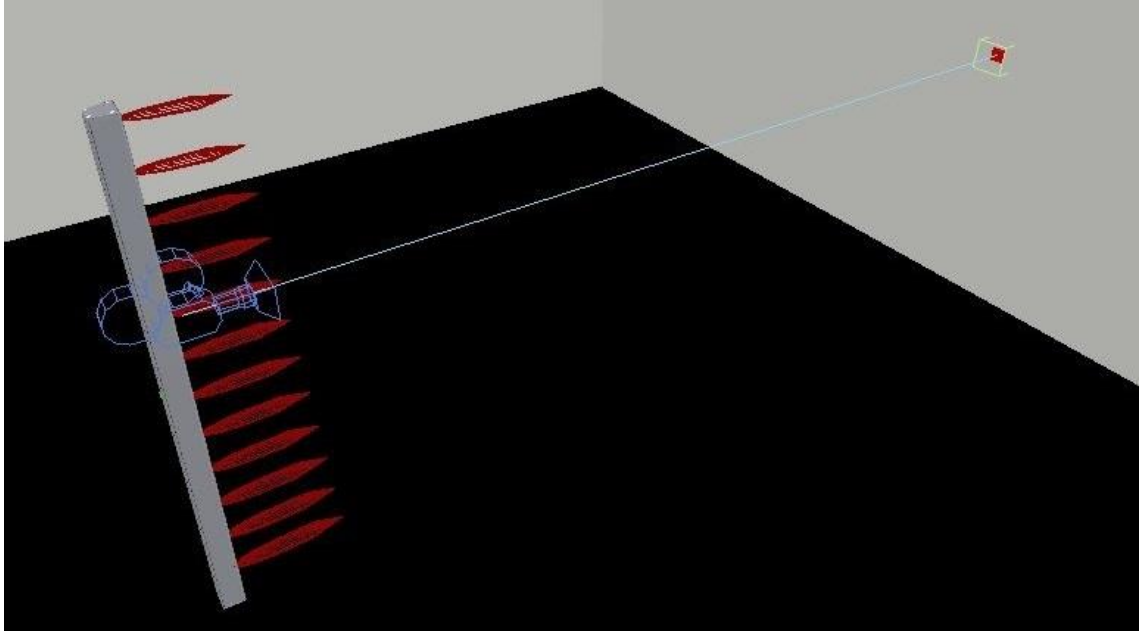
7.3 Tilojen visualisointi

Esimerkkien visualisointi alkoi objektien sijoittamisella tilaan. Kun tila ja valaisimet on saatu paikalleen, kamera on asetettu mahdollisimman tarkasti samaan kohtaan, jossa mittari sijaitsi mittaustilanteessa.

7.3.1 Kontrolli 1 -tilan luonti

Sijoitin valaisimen pystyyn, 3 metrin päähän seinästä. Kamera asetettiin valaisimen viereen 1 metrin korkeudelle (kuva 12).

Lisäsin myös pienemmän kuution mitattavalle seinälle. Sijoitin 50 mm x 50 mm:n kokoisen kuution 1 000 mm lattian yläpuolelle ja seinän keskilinjalle. Näin pystyin havainnollistamaan mittauspisteen sijainnin määrittelyssä. (Lisää luvussa 7.4 Mittauspisteiden kohdistus.)



Kuva 12. Kontrolli 1 –tilan asetelma, punaisilla LEDillä.

7.3.2 Kontrolli 2 -tilan luonti

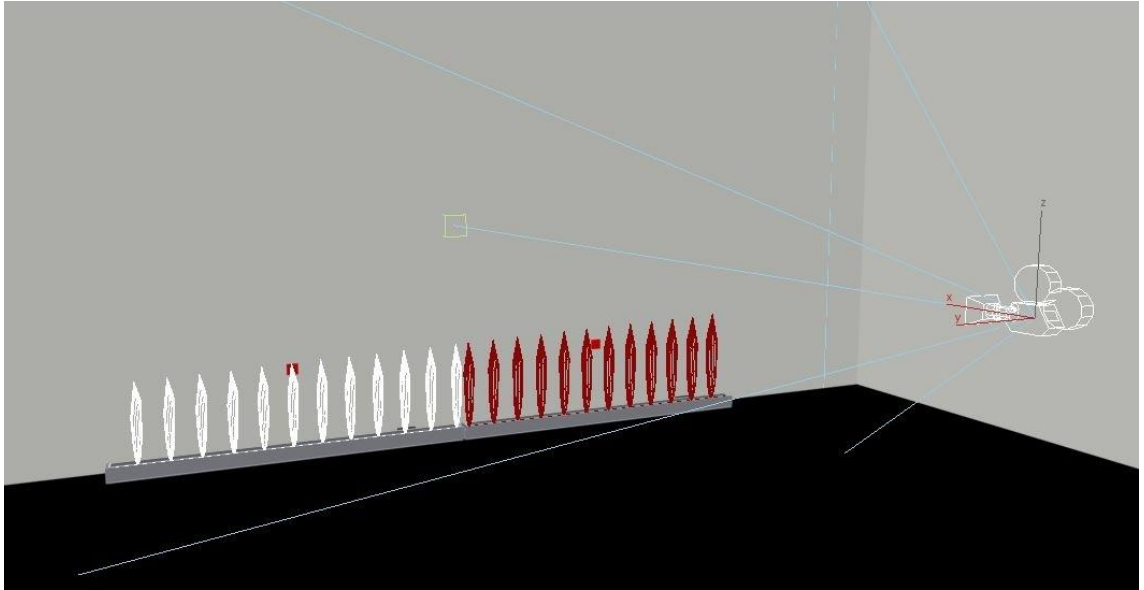
Huoneen takaseinälle sijoitettiin kaksi valaisinta keskilinjän molemmille puolille 100 mm irti seinästä ja kiinni toisiinsa.

Mittauspisteet havainnollistettiin kahdella (punaisella) 50 mm x 50 mm:n neliöllä seinässä. Kuutiot sijoitettiin seinälle 366 mm lattian yläpuolelle ja seinän keskilinjasta 745 mm molempiin suuntiin (kuva 13). Kamera sijoitettiin 3 metrin päähän seinästä ja 1 metrin korkeuteen.

Kameran asetukset asetettiin vastaamaan fyysisen kameran tietoja.

- Kuvasuhde on 3:2

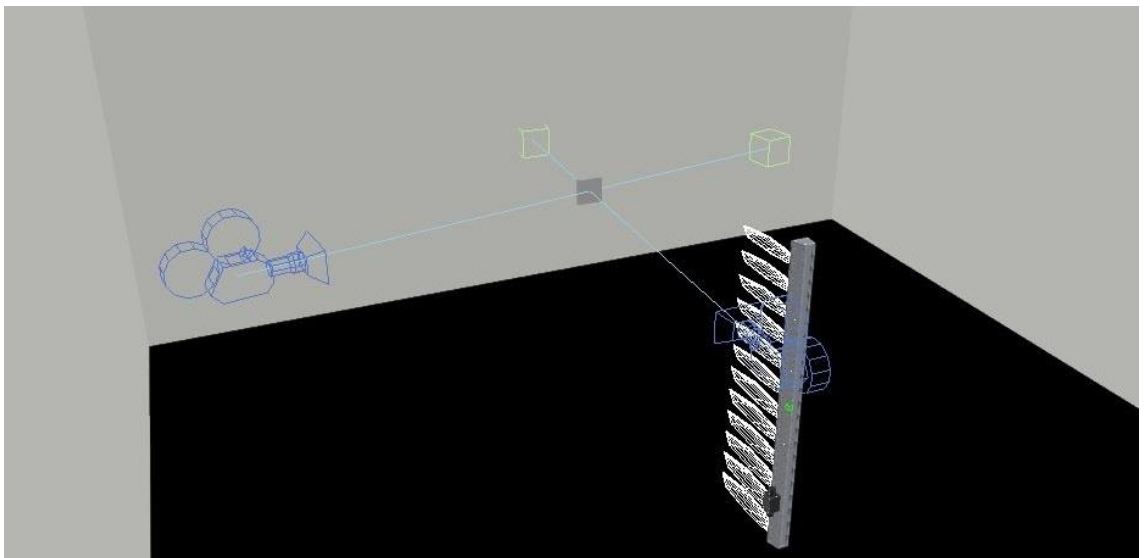
Näin tehtiin siksi, että kuvista tulisi visuaalisesti mahdollisimman vertailukelpoisia.



Kuva 13. Kontrolli 2 –tilan asetelma, vertailussa valkoinen ja punainen valo.

7.3.3 Mittaustila

Pohjana käytin samaista huonetta, kuin kontrolli 1 -tilassa. Kivi, jonka pinnasta mittaus suoritettiin, sijoitettiin 1 metrin korkeuteen ja 1,8 metrin päähän valaisimesta ja kamerasta. Lisäsin myös toisen kameran samaan tilaan 1,8 metrin päähän kivistä, siten että kivistä katsottuna kamera sijoittui oikealle puolelle ja kameroiden välinen kulma on 80° (kuva 14).



Kuva 14. Mittaus–tilan asetelma

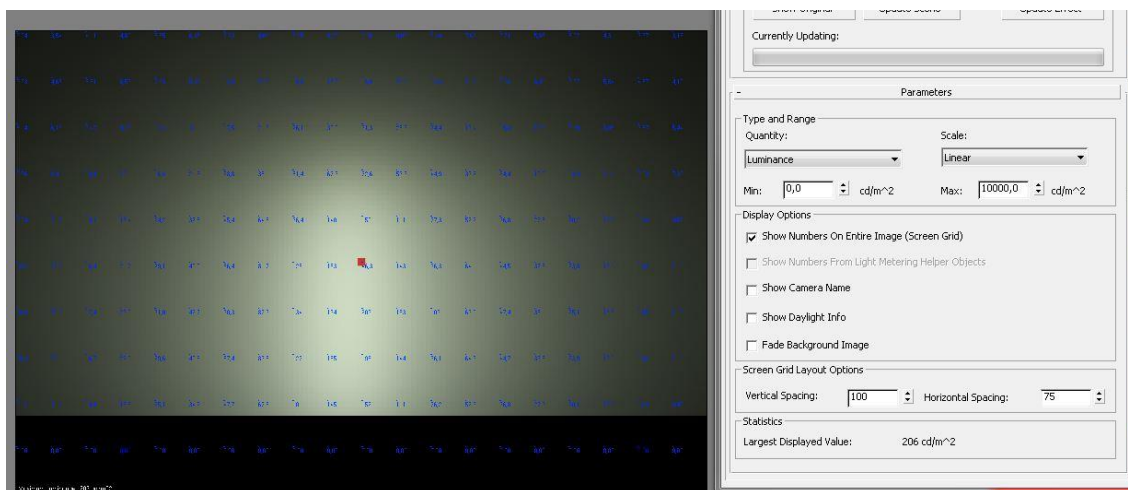
7.4 Mittauspisteiden kohdistus

Valitsin 'Render Frame Window' -ikkunasta 'Environment and Effects Dialog' -valikon ja sieltä 'Effects' -välilehden. Tehosteeksi valitsin Lighting Analysis Image Overlay:e. Tehoste asettaa kuvan päälle mittausverkon, joka näyttää valaistusvoimakkuuden tai luminanssin verkon pisteistä. 'Parameters' -kohdasta 'Type and Range':n alta valitaan mittaustyyppi 'Luminance' ja 'Screen Grid Layout Options' -kohdasta määritellään mittausverkon koko pikseleissä. Verkon koko valitaan 1–100 pikselin väliltä.

Kun kuva on renderöity, lisää ohjelma kuvan päälle luminanssimittauspisteet. Jokaisen pisteen vieressä on luminanssiarvo. Koska olin mitannut omat arvot tietystä pisteestä, jouduin muuttamaan Vertical- ja Horizontal Spacing -arvoja, jotta sain mittauspisteet osumaan mittauspisteisiin, eli kuutioiden sisälle.

Kontrolli 1 –huoneen kohdalla arvot olivat helposti pääteltävissä. Koska valitsin kuvan kooksi 1500 x 1000 pikseliä, oli Vertical- ja Horizontal Spacing -arvot helppo päätellä.

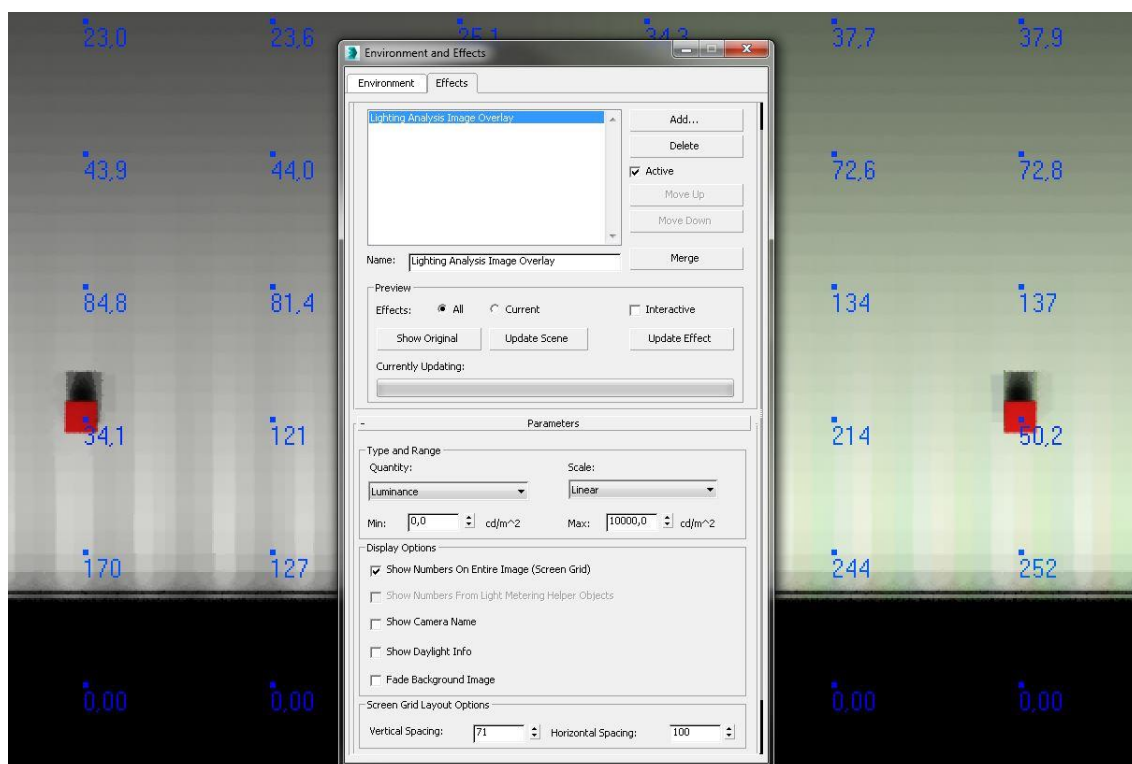
Koska mittauspiste oli kuvan keskellä, piti pystylinjan olla jaollinen 500:lla ja vaakalinjan jaollinen 750:lla. Siten Vertical Spacing oli 100 ja Horizontal Spacing 75 (kuva 15).



Kuva 15. Mittapisteiden onnistunut kohdistus ja mittausverkon arvot

Kontrolli 2 –huoneessa jouduin kokeilemaan enemmän arvoja läpi. Alkuarvoiksi asetin 100 molemmille ja huomasin vaakalinjan olevan heti kohdallaan. Seuraavaksi lähdettiin kokeilemaan pystylinjan arvoja. Lopullisiksi arvoiksi 'Vertical Spacing' -kohtaan saatiin

71 ja 'Horisontal Spacing' pysyi 100:ssa. Näillä päästiin tarpeeksi lähelle mittauskohtia (kuva 16).



Kuva 16. Mittapisteiden onnistunut kohdistus ja mittausverkon arvot

Tämän jälkeen tallensin kuvan ja poistin kuutiot seinältä. Näin voin myöhemmin tarkistaa mittauspisteiden sijainnin tallennetusta kuvasta.

8 Havaintojen vertaaminen laskelmiin ja johtopäätökset

8.1 Kontrolli 1:n laskelmien vertailu ja johtopäätökset

Valkoisen värin laskettu arvo on 18 % suurempi kuin mitattu arvo. Muiden värien kohdalla tilanne on päinvastoin. Lasketut arvot ovat 27–91 % pienempiä kuin mitatut luminanssiarvot.

Valaistusvoimakkuusmittaukset ovat kaikki laskettuja arvoja suurempia. Laskelmien arvot ovat 4–87 % pienemmät kuin mitatut arvot (taulukko 5).

Taulukko 5. Kontrolli 1:n vertailu

Väri	Luminanssi			Ero	
	Mitattu	Laskettu	Ero		
Valkoinen	90,3 cd/m ²	107,0 cd/m ²	16,7 cd/m²	18 %	
Punainen	53,1 cd/m ²	10,4 cd/m ²	-42,7 cd/m²	-80 %	
Vihreä	80,4 cd/m ²	58,6 cd/m ²	-21,8 cd/m²	-27 %	
Sininen	23,8 cd/m ²	2,2 cd/m ²	-21,6 cd/m²	-91 %	
RGBW	198,0 cd/m ²	143,0 cd/m ²	-55,0 cd/m²	-28 %	

Väri	Valaistusvoimakkuus			Ero	
	Mitattu	Laskettu	Ero		
Valkoinen	408,0 lx	390,0 lx	-18,0 lx	-4 %	
Punainen	169,0 lx	38,7 lx	-130,3 lx	-77 %	
Vihreä	416,0 lx	212,0 lx	-204,0 lx	-49 %	
Sininen	65,7 lx	8,3 lx	-57,4 lx	-87 %	
RGBW	861,0 lx	519,0 lx	-342,0 lx	-40 %	

Tästä kontrollimittauksesta ei saatu vertailukelpoista materiaalia arvojen suhteen.

8.2 Kontrolli 2:n laskelmien vertailu

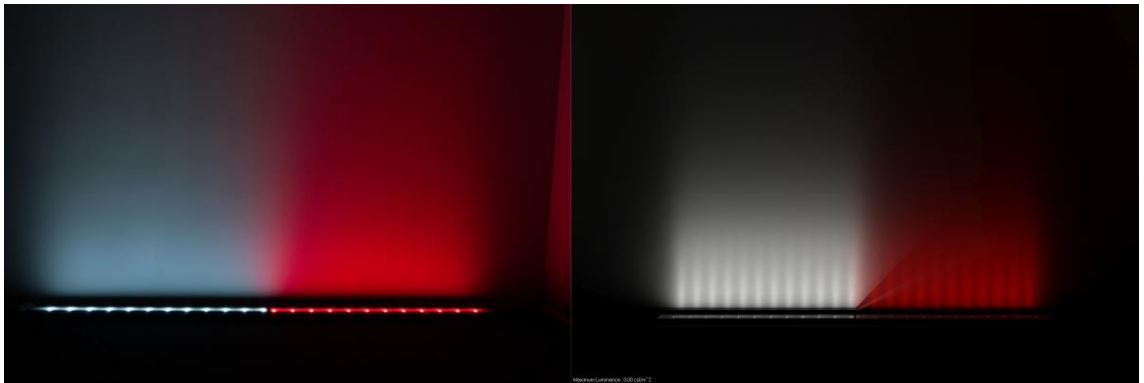
Mittauksissa ei näytä olevan mitään yhteistä tekijää (taulukko 6). Esimerkiksi mitattu punainen on 3ds Maxin antamaa arvoa melkein 5 cd/m² suurempi, kun taas vihreän mitattu arvo on 3ds Maxin antamaa arvoa yli 30 cd/m² pienempi. Suurin ero on valkoisella värillä, jossa laskettu arvo on peräti 131 % suurempi, kuin mitattu arvo. Sinisen valon kohdalla arvot olivat päinvastoin, kun laskettu arvo oli mitattua arvoa 81 % pienempi. (Taulukko 6.)

Taulukko 6. Kontrolli 2:n vertailu

Väri	Luminanssi			Ero	
	Mitattu	Laskettu	Ero		
Valkoinen	36,2 cd/m ²	83,7 cd/m ²	47,5 cd/m²	131 %	
Punainen	17,2 cd/m ²	8,2 cd/m ²	-9,0 cd/m²	-52 %	
Vihreä	28,0 cd/m ²	42,2 cd/m ²	14,2 cd/m²	51 %	
Sininen	9,1 cd/m ²	1,7 cd/m ²	-7,4 cd/m²	-81 %	
RGBW	68,0 cd/m ²	106,0 cd/m ²	38,0 cd/m²	56 %	

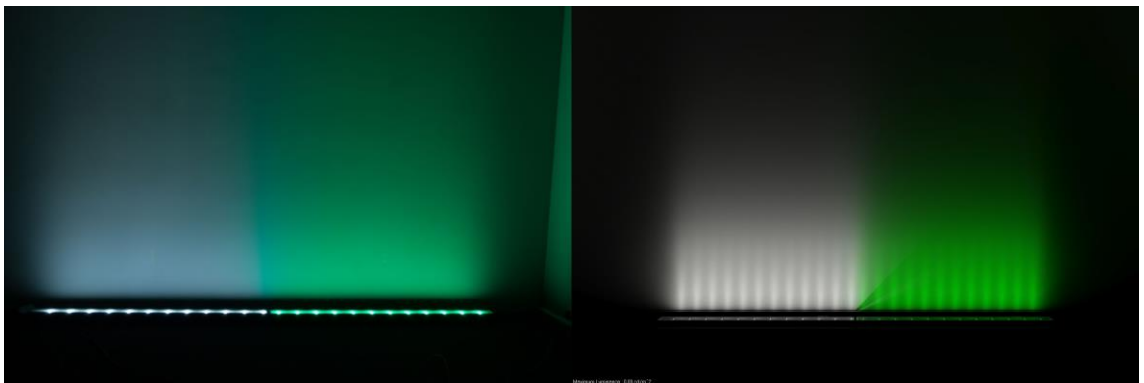
8.2.1 Kontrolli 2:n kuvien silmämääräinen vertailu

Valokuvassa värit näyttävät paljon tasaisemmalta, kuin mallinnetussa kuvassa (kuvat 17–20). Myös valaistusvoimakkuus näyttää heikommalta mallinnuksessa. Valkoinen oli yli kolme kertaa kirkkaampi laskelmassa, mutta punainen ja sininen taas olivat voimakkaampia mittaustilanteessa.

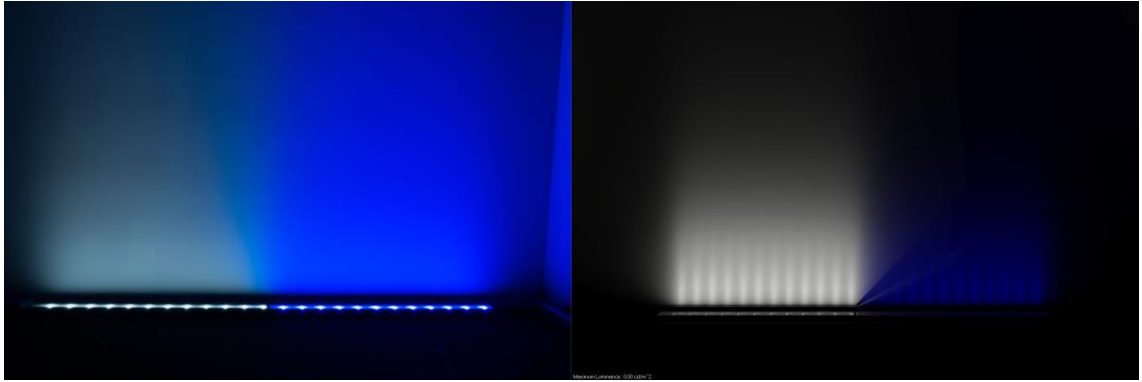


Kuva 17. Valkoinen ja punainen (vasemmalla valokuva ja oikealla mallinnettu tilanne)

Vihreässä on samanlaisia eroja kuin punaisen valon kanssa (kuvat 17 ja 18). Mallinnus näyttää silti heikompitehoiselta, vaikka molempien värien arvot ovat mitattuja suuremmat.

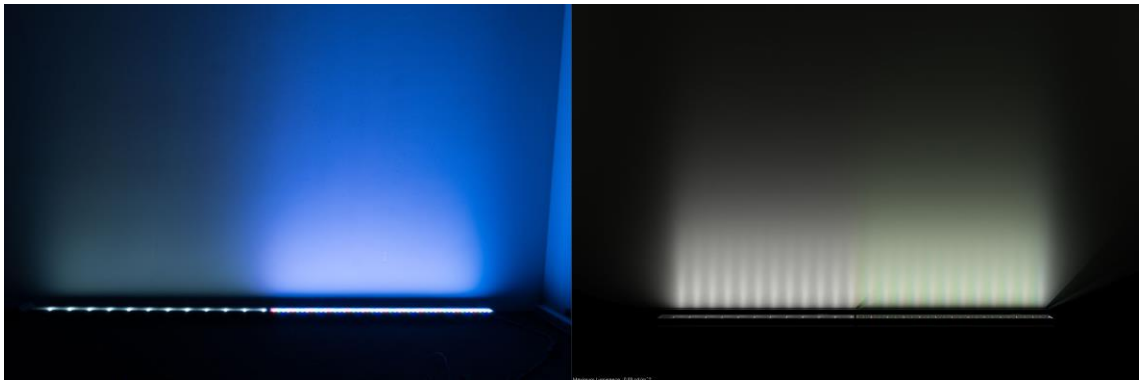


Kuva 18. Valkoinen ja vihreä (vasemmalla valokuva ja oikealla mallinnettu tilanne)



Kuva 19. Valkoinen ja sininen (vasemmalla valokuva ja oikealla mallinnettu tilanne)

Valkoisen ja WRGB, eli valaisimessa on kaikki ledit päällä samaan aikaan. Valokuvasta näkyvä valaisimien ero on selvä (kuva 20). Kuitenkin mallinnuksessa ero on silmämääräisesti paljon pienempi, pientä sävyeroa lukuun ottamatta. WRGB:n mallinnus ei vastaa värisävyiltään lainkaan valokuvan sävyjä. Vihreä väri näyttää puskevan läpi koska vihreän osuus on suurempi kuin muiden värien. Tämä näkyy aikaisemmasta LEDin tehojakaumata ulukosta (taulukko 3).



Kuva 20. Valkoinen ja WRGB (vasemmalla valokuva ja oikealla mallinnettu tilanne)

8.2.2 Johtopäätökset kontrolli 2:n osalta

Ohjelma ei todennäköisesti osaa huomioida pinnan heijastuskerrointa, valon tulokulmaa tai pinnan topografiaa.

8.3 Mittauslaskelmien vertailu ja johtopäätökset

Mittaukset aloitettiin mittaamalla valaistusvoimakkuus kiven pinnasta. Mitattu arvo oli 675 lx ja laskelma antoi arvoksi 652 lx. Laskelman arvo oli vain 23 lx pienempi. Tällaista eroa ei silmämääräisesti voi huomata ja suurempi mittausarvo on laskelman kannalta parempi vaihtoehto, jos esimerkiksi tavoitellaan jotain tiettyä valaistusvoimakkuustasoa.

Laskennalliset arvot myötäilevät mitattuja arvoja, vaikka laskelma antaa pääsääntöisesti hieman korkeampia luminanssiarvoja (taulukko 7).

Taulukko 7. Mittaustuloksien vertailu

Luksit mitattu kiven pinnasta, kiven ja valolähteen kulman ollessa 90°

Mitattu: **675 lx** Laskettu: **652 lx**

Valaisin ja mittari saman suuntaisesti ja kiven kulma vaihtuu.

		Kivi: sileä puoli			
Mittaus	Kulma	Mitattu	Laskettu	Ero	
1	0 °	79,7 cd/m ²	105,0 cd/m ²	25,3 cd/m²	32 %
2	40 °	58,1 cd/m ²	85,4 cd/m ²	27,3 cd/m²	47 %
3	80 °	18,0 cd/m ²	8,4 cd/m ²	-9,6 cd/m²	-53 %

		Kivi: karhea puoli			
Mittaus	Kulma	Mitattu	Laskettu	Ero	
4	0 °	97,4 cd/m ²	116,0 cd/m ²	18,6 cd/m²	19 %
5	40 °	78,0 cd/m ²	93,3 cd/m ²	15,3 cd/m²	20 %
6	80 °	34,9 cd/m ²	9,0 cd/m ²	-25,9 cd/m²	-74 %

Valaisin ja mittari välinen kulma 80° ja kiven kulma vaihtuu.

		Kivi: sileä puoli			
Mittaus	Kulma	Mitattu	Laskettu	Ero	
7	0 °	72,4 cd/m ²	93,3 cd/m ²	20,9 cd/m²	29 %
8	40 °	94,2 cd/m ²	105,0 cd/m ²	10,8 cd/m²	11 %
9	80 °	16,7 cd/m ²	9,4 cd/m ²	-7,3 cd/m²	-44 %

		Kivi: karhea puoli			
Mittaus	Kulma	Mitattu	Laskettu	Ero	
10	0 °	100,0 cd/m ²	101,0 cd/m ²	1,0 cd/m²	1 %
11	40 °	92,4 cd/m ²	107,0 cd/m ²	14,6 cd/m²	16 %
12	80 °	23,2 cd/m ²	16,6 cd/m ²	-6,6 cd/m²	-28 %

Laskenta-arvot myötäilevät mittausarvoja tasaisesti. Ainut poikkeus tulee kiven ollessa 80°:n kulmassa valonlähteeseen. 3ds Max ei todennäköisesti osaa huomioida pinnan heijastuskerrointa, valon tulokulmaa tai pinnan topografiaa tässäkään tapauksessa.

9 Yhteenveto

Työssä oli tarkoitus tutkia 3ds Maxin käyttöä arkkitehtuurisessa valaistussuunnittelussa. Tällöin voitaisiin tarkastella esimerkiksi julkisivuvalaistusta jo ennen kuin rakennusta on edes rakennettu. Myös eri seinämateriaaleiden käyttäytymistä valaistuspintoina olisi helpompi tutkia, ilman että jouduttaisiin tekemään koeasennuksia.

Mitattuja arvoja oli tarkoitus verrata laskennallisiin ja selvittää, kuinka tarkkoja ja vertailukelpoisia tuloksia 3ds Maxin ohjelmalla saadaan mitattuihin arvoihin. Mittausten ja laskelmien erot olivat huomattavia kontrollimittauksien osalta. Ensimmäisen kontrollimittauksen kohdalla valkoisen värin mitattu arvo oli hyvin lähellä laskettua arvoa. Siitä voidaan päätellä, että ohjelma osaa käsitellä sitä paremmin kuin muita värivaloja. Muiden värien lasketut arvot olivat huomattavasti pienempiä kuin mitatut. Kontrolli 2:n kohdalla arvojen erot olivat prosentuaalisesti hyvin suuria. Kontrollivertailujen perusteella valaisimelle ei voida antaa mitään tarkempaa muunnoskaavaa.

Mittausten kohdalla voidaan havaita laskelman arvojen olevan korkeampia ja myötäilevien mittaustuloksia. Laskennalliset arvot myös käyttäytyivät samalla tavalla kuin mitatut arvot, lukuun ottamatta mittaustuloksia 3, 6, 9 ja 12, jotka olivat kaikki alle mitatun arvon. Karheen pinnan laskelmat poikkesivat mitatuista arvoista kaikkein vähiten. Todennäköisesti mallinnuksessa ei onnistuttu saamaan sileälle pinnalle oikeaa heijastuskerrointa.

Ohjelmaa voidaan hyvin käyttää havainnollistamaan lopputulosta. Kyseisessä tapauksessa kuvat olivat silmämääräisesti tarkasteltuina hieman mittaustilanteesta otettuja kuvia himmeämpiä.

Lähteet

- 1 Tietoa Rambollista. 2016. Verkkodokumentti. Ramboll Oy. <http://www.ramboll.fi/ramboll_finland_oy>. Luettu 20.4.2016.
- 2 Halonen Liisa, Lehtovaara Jorma. 1992. Valaistustekniikka. Espoo: Otatieto.
- 3 Epäsuora valaistus. Suora valaistus. 2016. Verkkodokumentti. Kodin valaistus <<http://www.kodinvalaistus.fi/sanasto/>>. Luettu 20.4.2016.
- 4 Suhteellinen silmänäköherkyys; Dia 14. 2016. Verkkodokumentti. <<http://slideplayer.biz/slide/4867606/>>. Luettu 20.4.2016.
- 5 Valkoisen valon eri spektrejä. 2016. Verkkodokumentti. <<http://www.lighting-LEDlight.com/index.php/2014/11/page/3/>>. Luettu 20.4.2016.
- 6 Kallasjoki Tapio. 2014. Valaistuksen kenttämittalaitteita. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 7 Tietoa yrityksestä Autodesk. 2016. Verkkodokumentti. Autodesk, Inc. <<http://www.autodesk.com/company>>. Luettu 20.4.2016.
- 8 Autodesk 3ds Max, 2016. Verkkodokumentti. Wikipaista <https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_3ds_Max>. Luettu 20.4.2016.

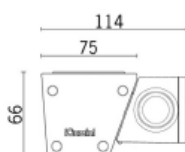
Valaisimen BM47 tietolehti

Linealuce

Design Jean Michel Wilmotte

iGuzzini

march 2018



Linealuce

code
BM47

Technical description

Direct light luminaire, designed to use RGBW (Red, Green, Blue and White 4000K) LED lamps and DMX512-RDM control with searching and addressing function. Ceiling, wall or support-mounted. Consists of a body and supports for installation, to be ordered separately. Extruded aluminium body, with die-cast aluminium end caps complete with silicone seals. Coated with liquid acrylic paint with a high level of weather and UV ray resistance. Lateral control gear box made of PPS (polyphenylene sulfide). The top of the optical assembly is closed by a 3 mm thick transparent glass screen, fixed with silicone. Complete with multi-LED plate with individual LEDs in Red, Green, Blue and White in the 4000K version (RGBW). Fitted with optics with plastic (methacrylate) lens for Wall Grazing lighting. The lateral box is supplied with a double connector, male/female, with 5-pin quick coupling for pass-through wiring and a closing cap on one side. All external screws used are made of A2 stainless steel. The luminaire technical characteristics conform to EN 60598-1 standards and particular requirements.

Installation

The following accessories are available for the installation: adjustable aluminium arms $\pm 90^\circ$ L=138mm (code 5576), extendable aluminium arms from 309 to 389mm and adjustable $\pm 90^\circ$ (code 5577), stainless steel adjustable arms $\pm 90^\circ$ L=138 (code BZX2) stainless steel adjustable arms L=310mm (code BZX3), wall mounting bracket L=670mm (code BZW0) balustrade mounting brackets L=297mm (code 5578), support or ceiling installation bracket L=309mm (code 5570).

Size (mm)

1490x75x66

Colour

Grey (15)

Weight (kg)

4,29

Mounting

wall surface | ceiling surface

Wiring info

The product is supplied with electronic control gear, with DMX512-RDM control 220-240V/ac, 50/60Hz contained in the luminaire. The following are available for the electrical connection and DMX-RDM control: 5 pole IP68 female connector (BZ15), 5 pole IP68 male connector + closing cap (BZ16), male connector + 5 pole IP68 female connector (BZ17), multipole cable groups with 5 pole male + female connectors (BZT4-BZT5-BZT6), connectors cap (BZQ7), 5 pole 3 way IP68 linear connector (Y type) (BZN7). DMX specifications require the insertion of a 120 Ohm terminating resistor to be placed between the DATA+ and DATA- cables of the last product in the line (code BZQ7)

Notes

Product complete with LED lamp. DMX specifications require the insertion of a 120 Ohm terminating resistor to be placed between the DATA+ and DATA- cables of the last product in the line (code BZQ7)

Complies with EN60598-1 and pertinent regulations



Product configuration: BM47+LED

LED: RGBW n.48 leds

Product characteristics

Total lighting output [Lm]: 1985,1
Total power [W]: 47,4
Luminous efficacy (lm/W, real value): 41,9
Life Time: 50.000h - L80 - B10 (Ta 25°C)
Number of optical assemblies: 1

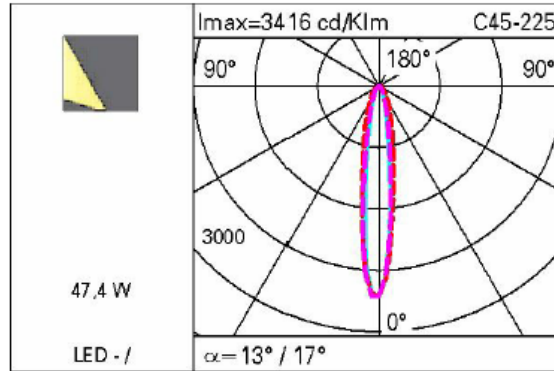
Total luminous flux at or above an angle of 90° [Lm]: 0
Emergency luminous flux [Lm]: /
Voltage [V]: -
Life Time: 50.000h - L80 - B20 (Ta 40°C)

Optical assembly Characteristics 1

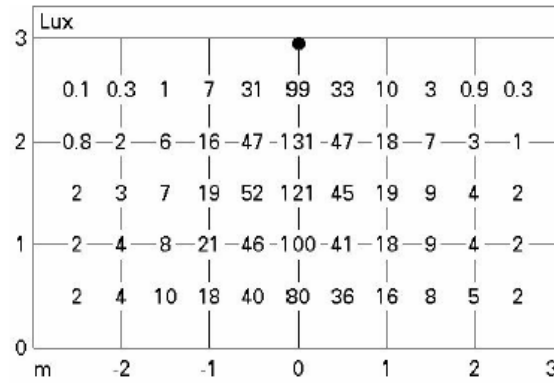
Light Output Ratio (L.O.R.) [%]: 67
 Lamp code: LED
 ZVEI Code: LED
 Nominal power [W]: 40
 Nominal luminous [Lm]: 2970
 Lamp maximum intensity [cd]: /
 Beam angle [°]: /

Number of lamps for optical assembly: 1
 Socket: /
 Ballast losses [W]: 7,4
 Colour temperature [K]: /
 CRI: /
 Wavelength [Nm]: /
 MacAdam Step: /

Polar



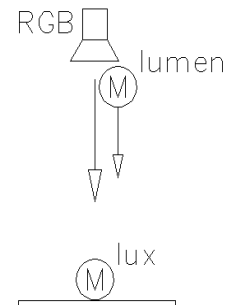
Illuminances



Mittauspöytäkirja

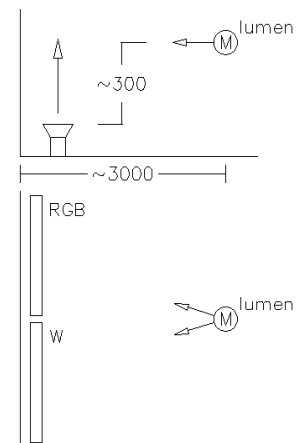
Kontrolli 1

Väri	Luminanssi	x	y	lux
Valkoinen	90,3 cd/m ²	.409	.396	408
RGBW	198,0 cd/m ²	.320	.279	861
Punainen	53,1 cd/m ²	.686	.313	169
Vihreä	80,4 cd/m ²	.197	.684	416
Sininen	23,8 cd/m ²	.137	.064	65,7



Kontrolli 2

Väri	Luminanssi	x	y
Valkoinen	36,2 cd/m ²	.386	.381
RGBW	68,0 cd/m ²	.291	.248
Punainen	17,2 cd/m ²	.686	.311
Vihreä	28,0 cd/m ²	.97	.687
Sininen	9,1 cd/m ²	.38	.054



Mittaus

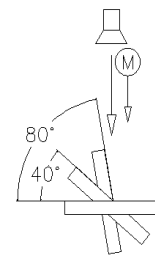
Luksit mitattu kohtisuoraan kiven pinnasta, ennen ensimmäistä mittausta.

675 lx

Valaisin ja mittari saman suuntaisesti ja kiven kulma vaihtuu.

(Mittaukset 1-3 kiven sileältä puolelta ja 4-6 kiven karhealta puolelta.)

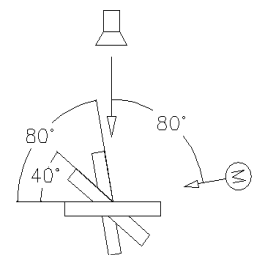
Mittaus	kulma	Luminanssi		
		Sileä	Karkea	
1 ja 4	0 °	79,7 cd/m ²	97,4 cd/m ²	22 %
2 ja 5	40 °	58,1 cd/m ²	78,0 cd/m ²	34 %
3 ja 6	80 °	18,0 cd/m ²	34,9 cd/m ²	94 %



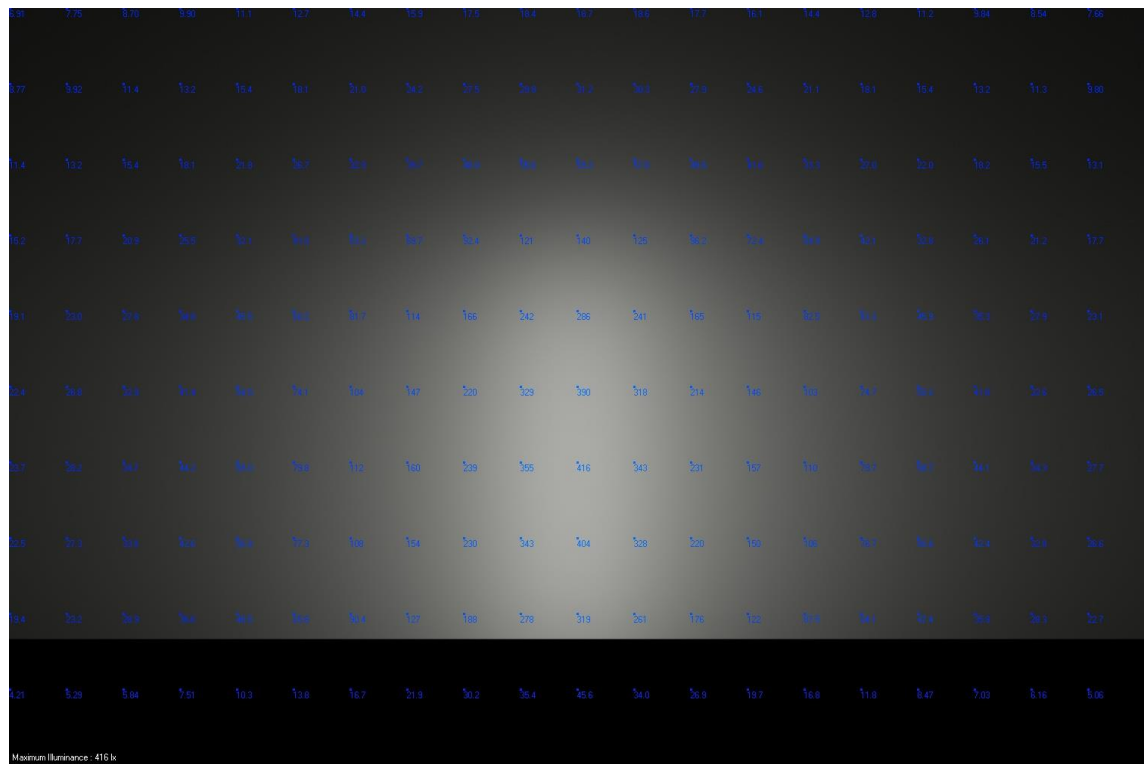
Valaisin ja mittari välinen kulma 80° ja kiven kulma vaihtuu.

(Mittaukset 7-9 kiven sileältä puolelta ja 10-12 kiven karhealta puolelta.)

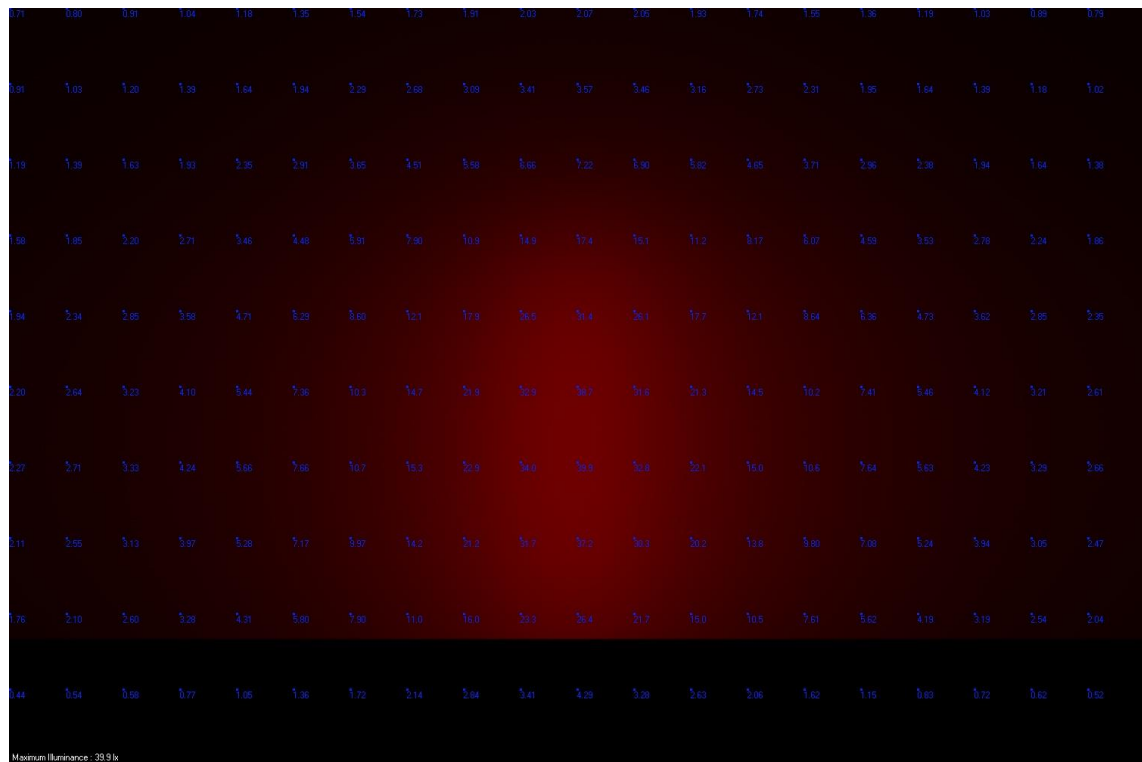
Mittaus	kulma	Luminanssi		
		Sileä	Karkea	
7 ja 10	0 °	72,4 cd/m ²	100,0 cd/m ²	38 %
8 ja 11	40 °	94,2 cd/m ²	92,4 cd/m ²	-2 %
9 ja 12	80 °	16,7 cd/m ²	23,2 cd/m ²	39 %



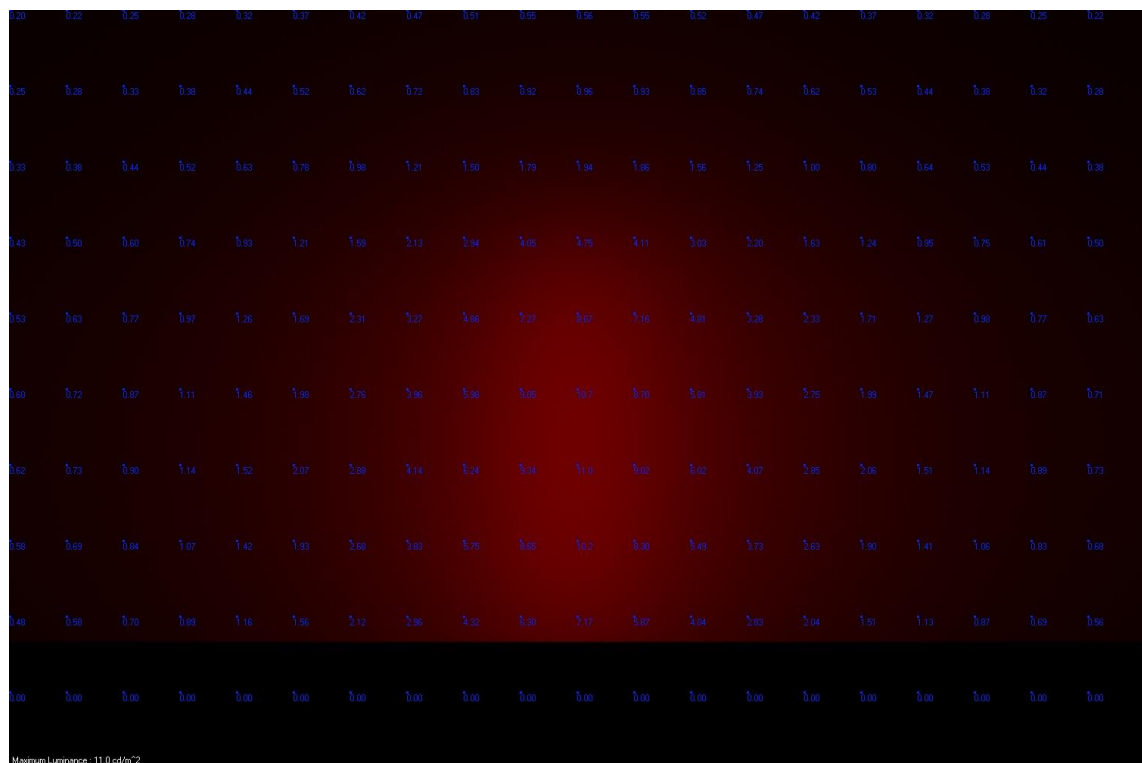
Kontrolli 1, Valkoinen – mallinnuskuva valaistusvoimakkuusmittausverkolla.



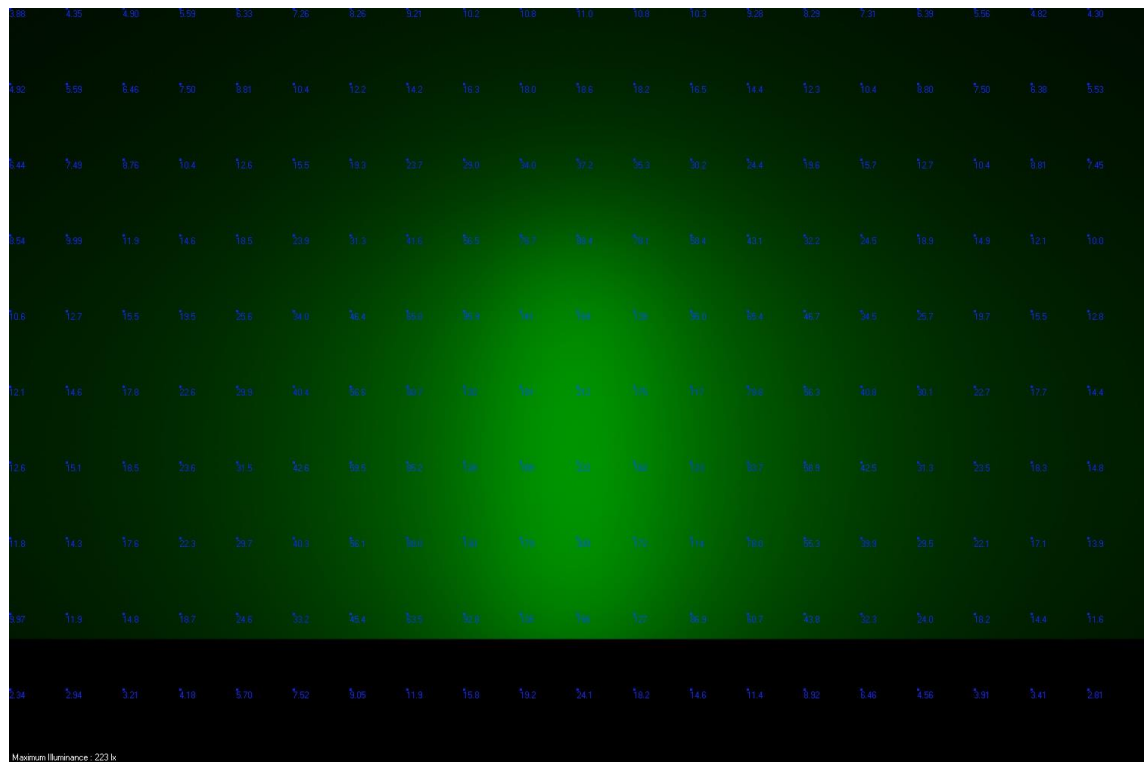
Kontrolli 1, Punainen – mallinnuskuva valaistusvoimakkuusmittausverkolla.



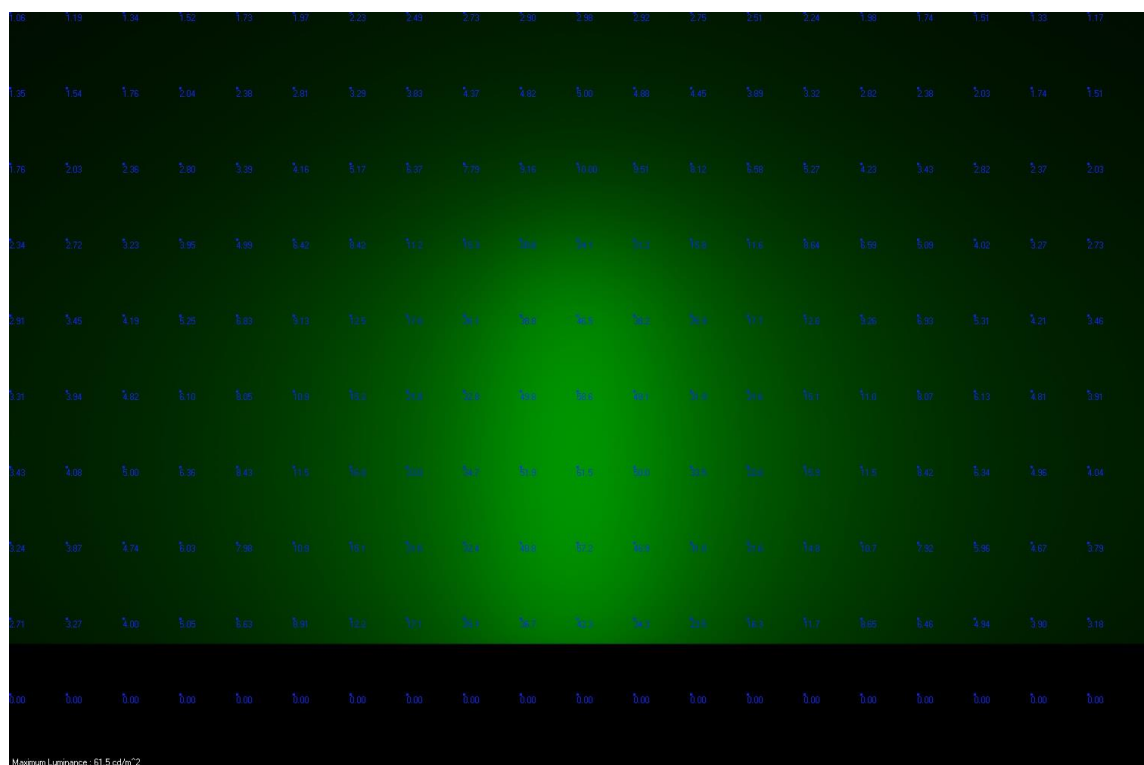
Kontrolli 1, Punainen – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.



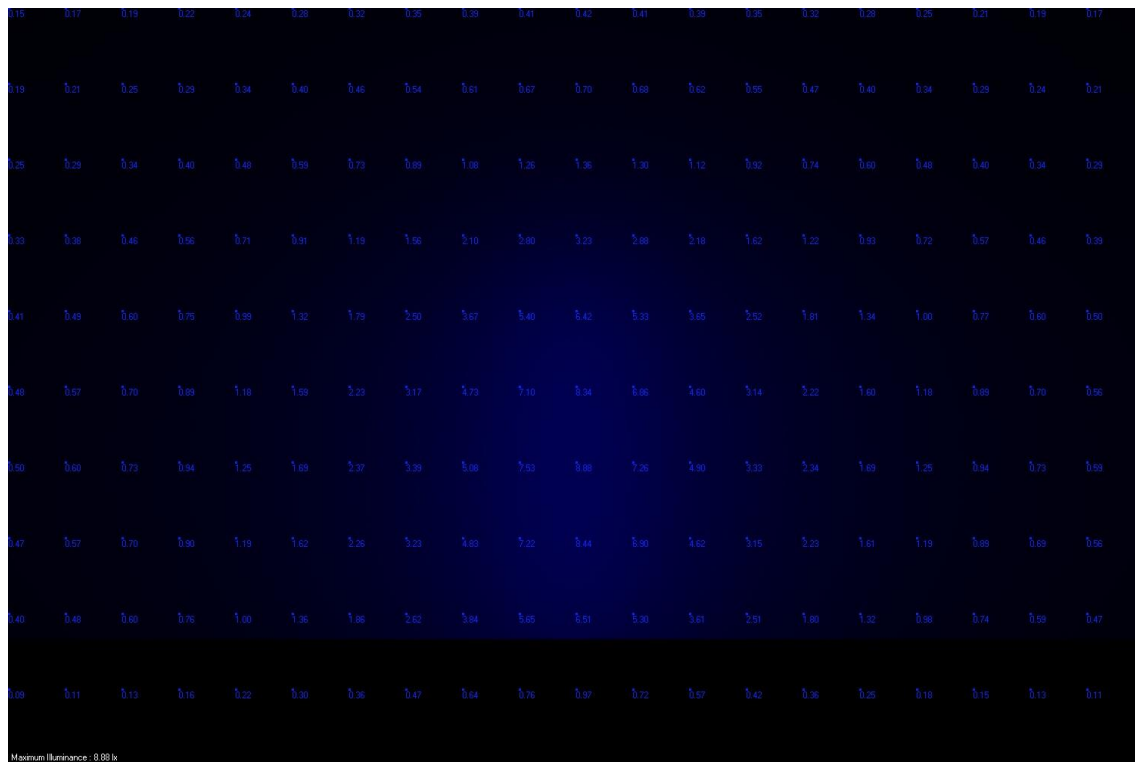
Kontrolli 1, Vihreä – mallinnus kuva valaistusvoimakkuusmittausverkolla.



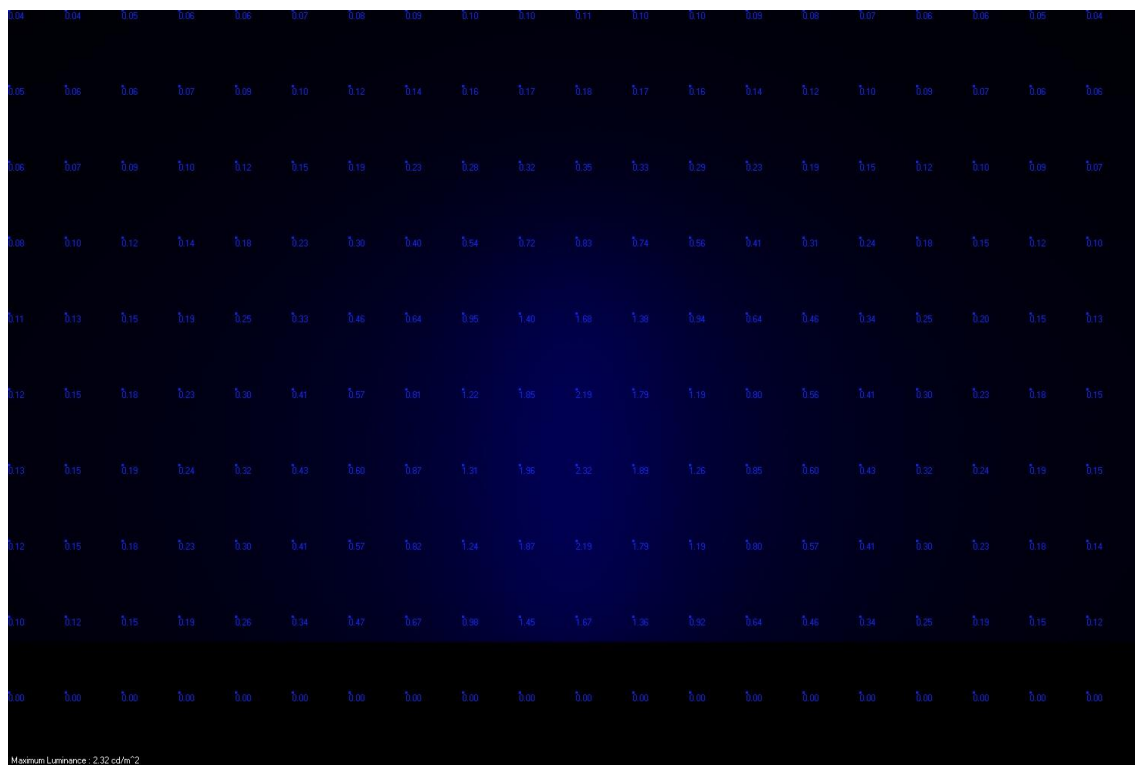
Kontrolli 1, Vihreä – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.



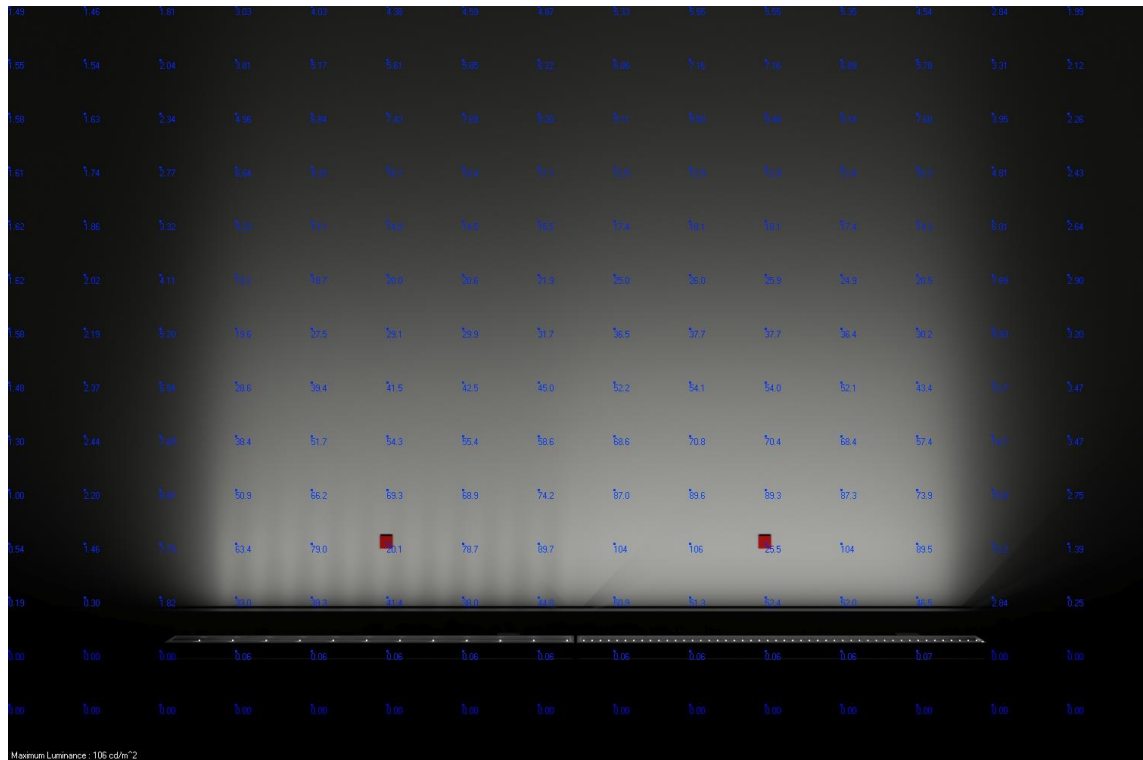
Kontrolli 1, Sininen – mallinnuskuva valaistusvoimakkuusmittausverkolla.



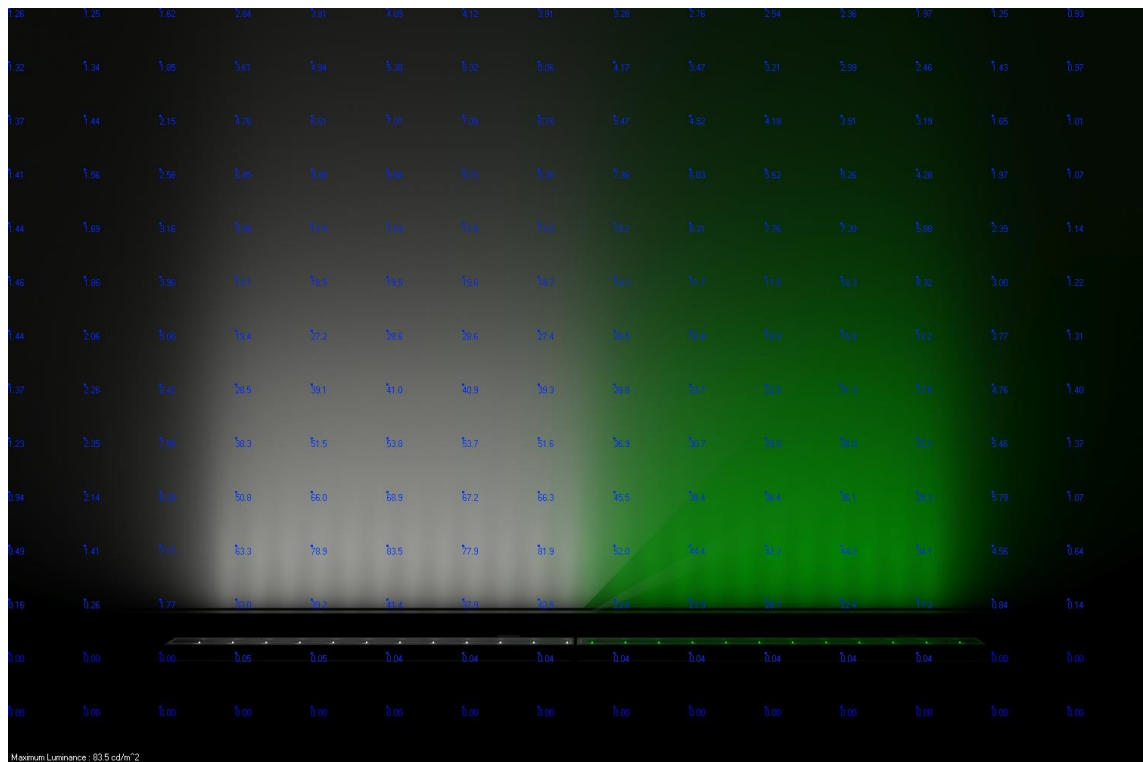
Kontrolli 1, Sininen – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.



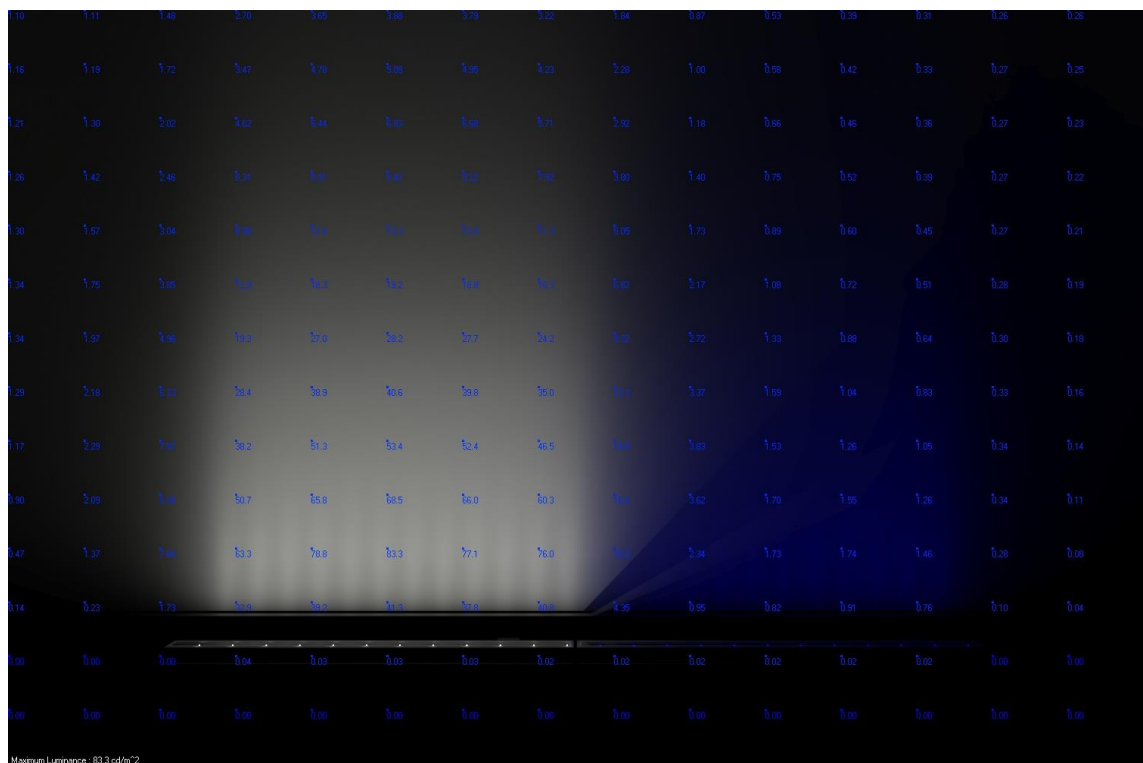
Kontrolli 2, Mittauspisteiden sijainnit – mallinnuskuva mittausverkolla.



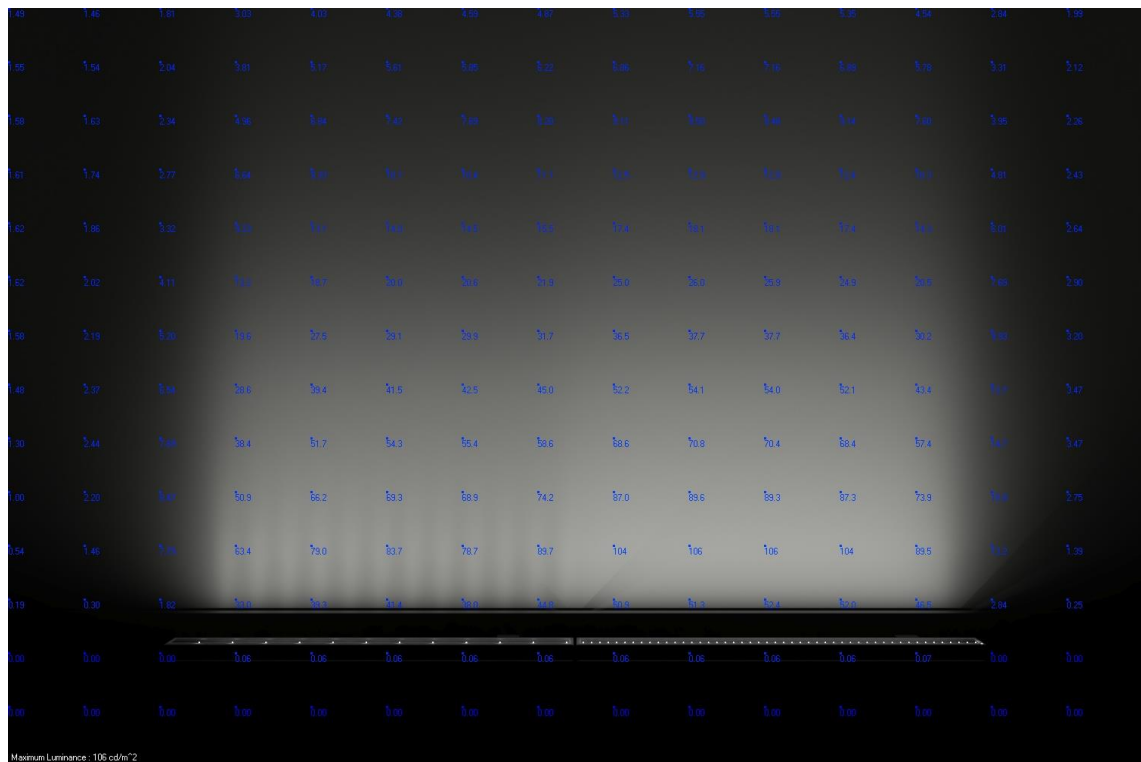
Kontrolli 2, Valkoinen - Vihreä – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.



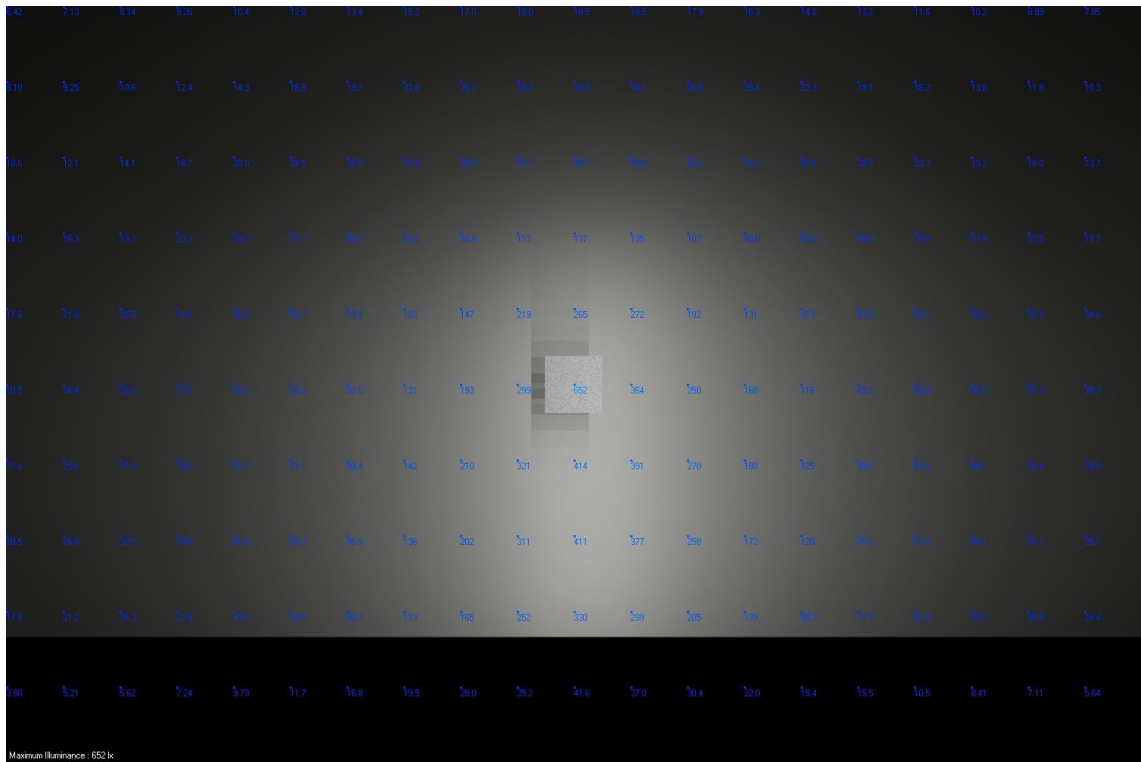
Kontrolli 2, Valkoinen - Sininen – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.



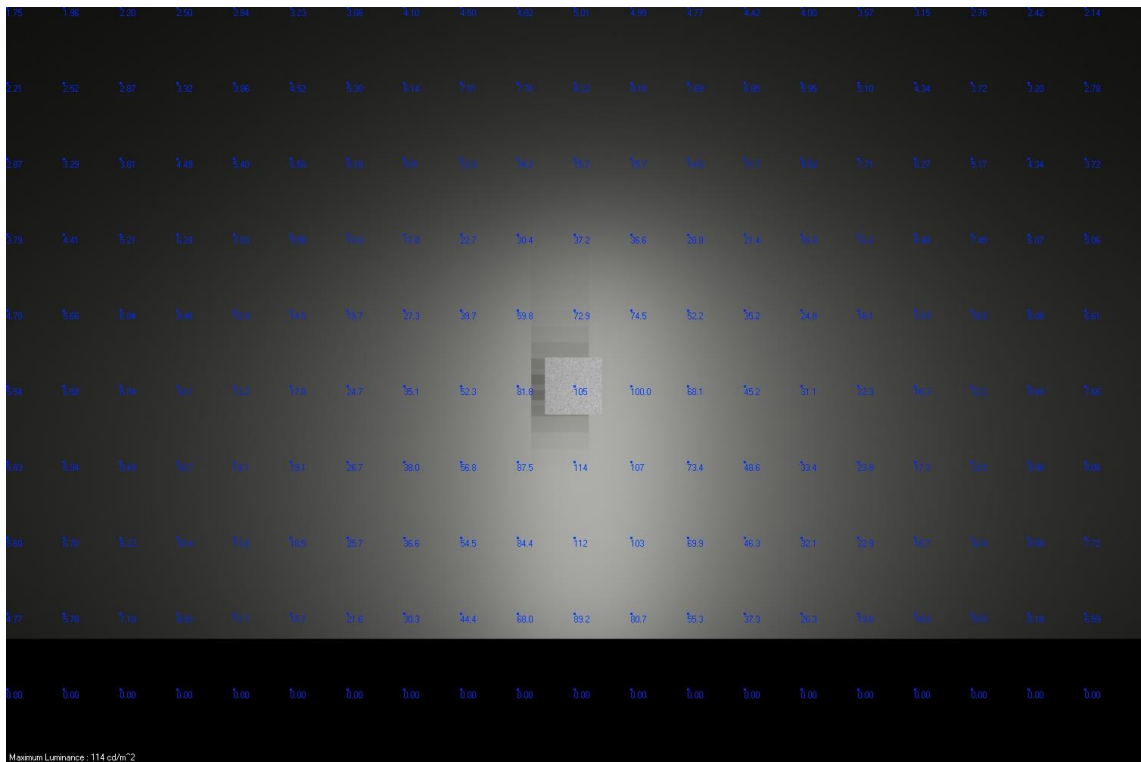
Kontrolli 2, Valkoinen - WRGB – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.



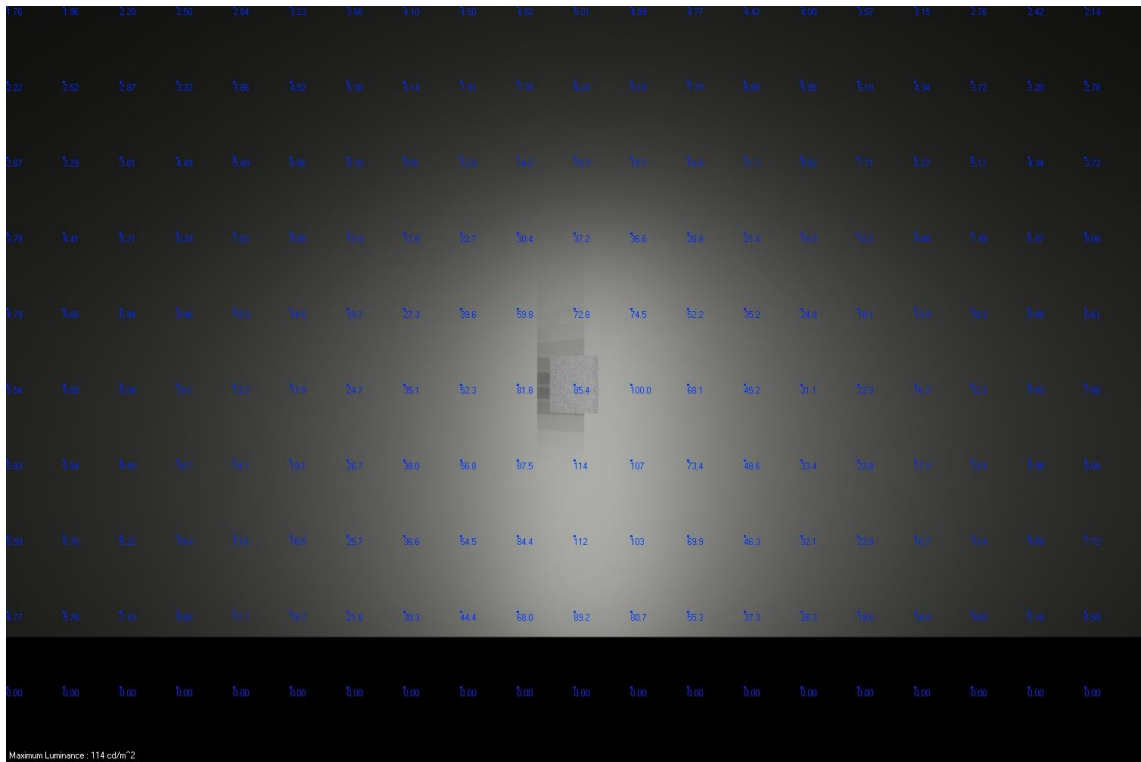
Mittaus 1 – mallinnuskuva valaistusvoimakkuusmittausverkolla.



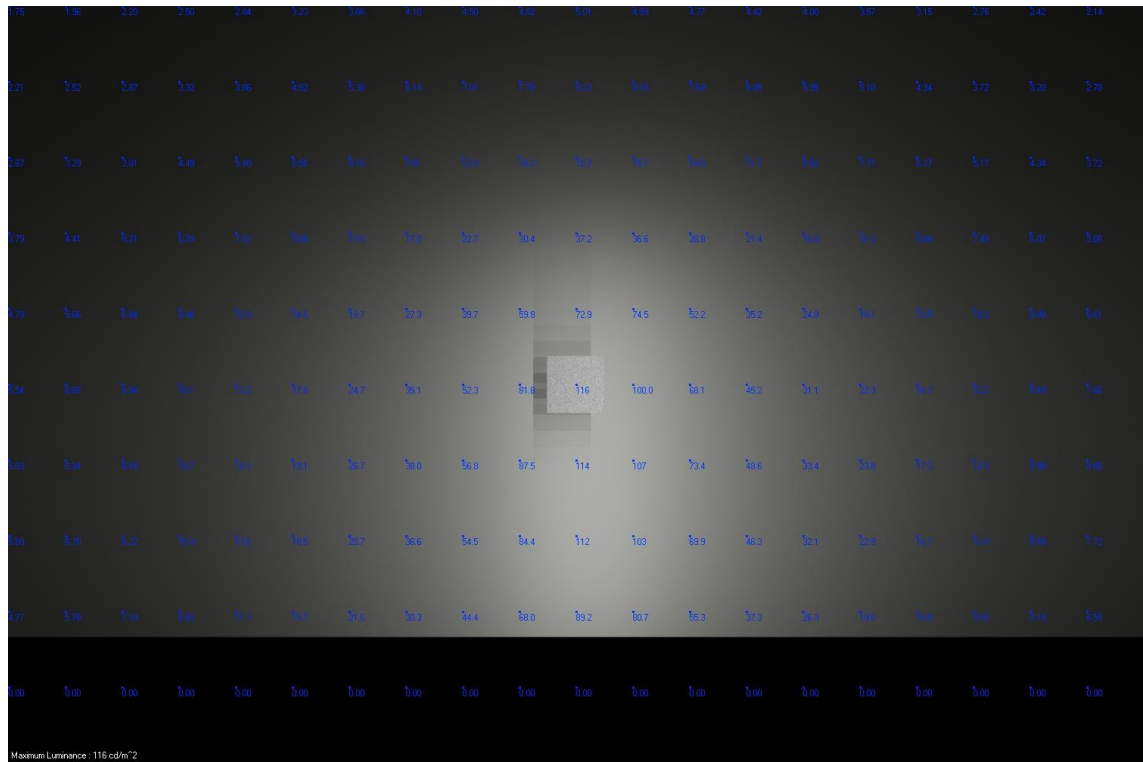
Mittaus 1 – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.



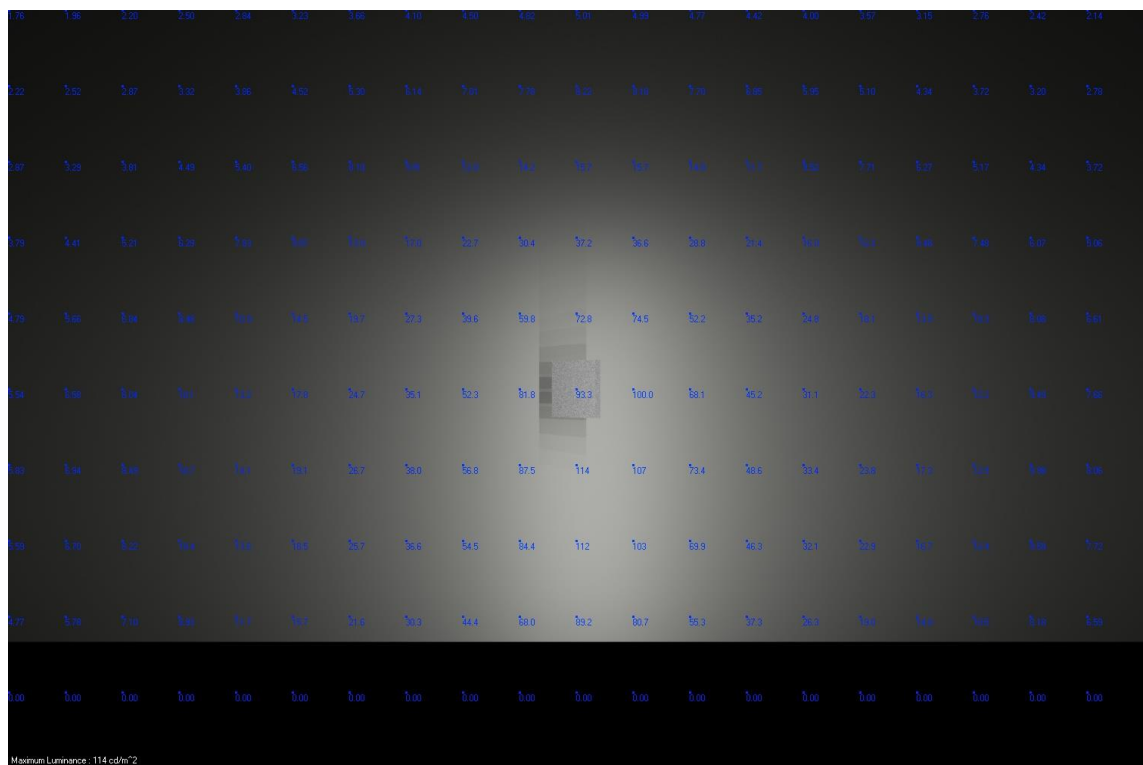
Mittaus 2 – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.



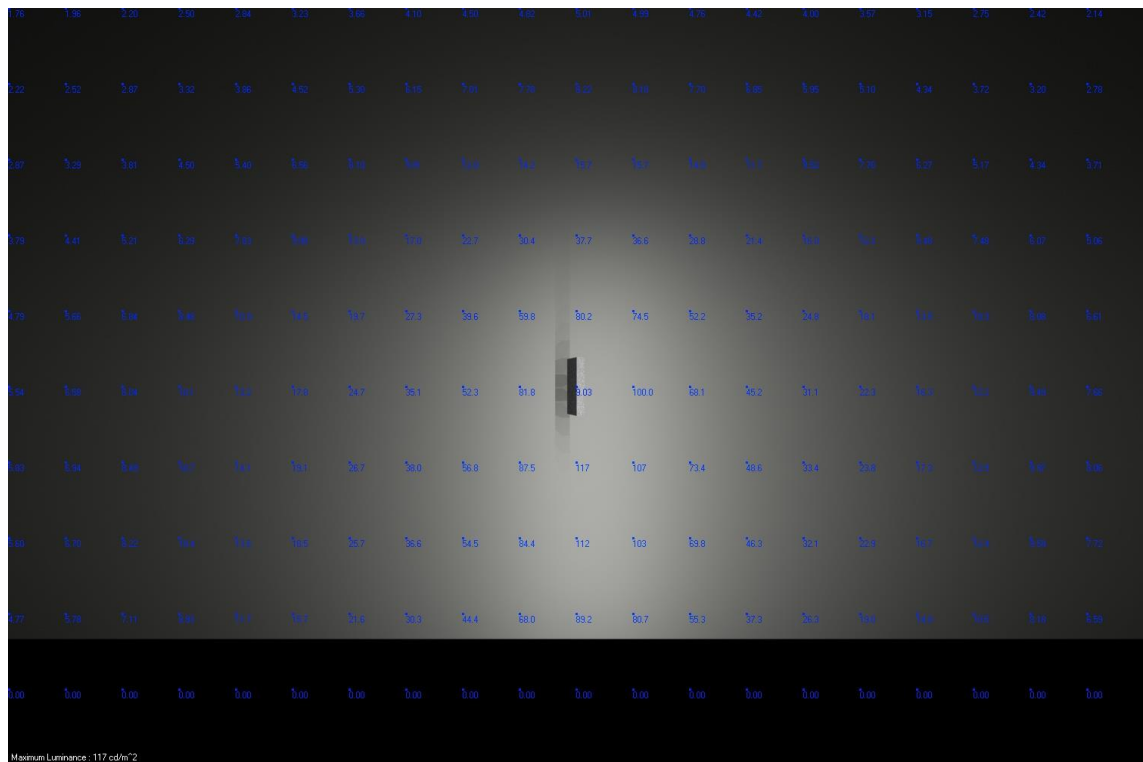
Mittaus 4 – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.



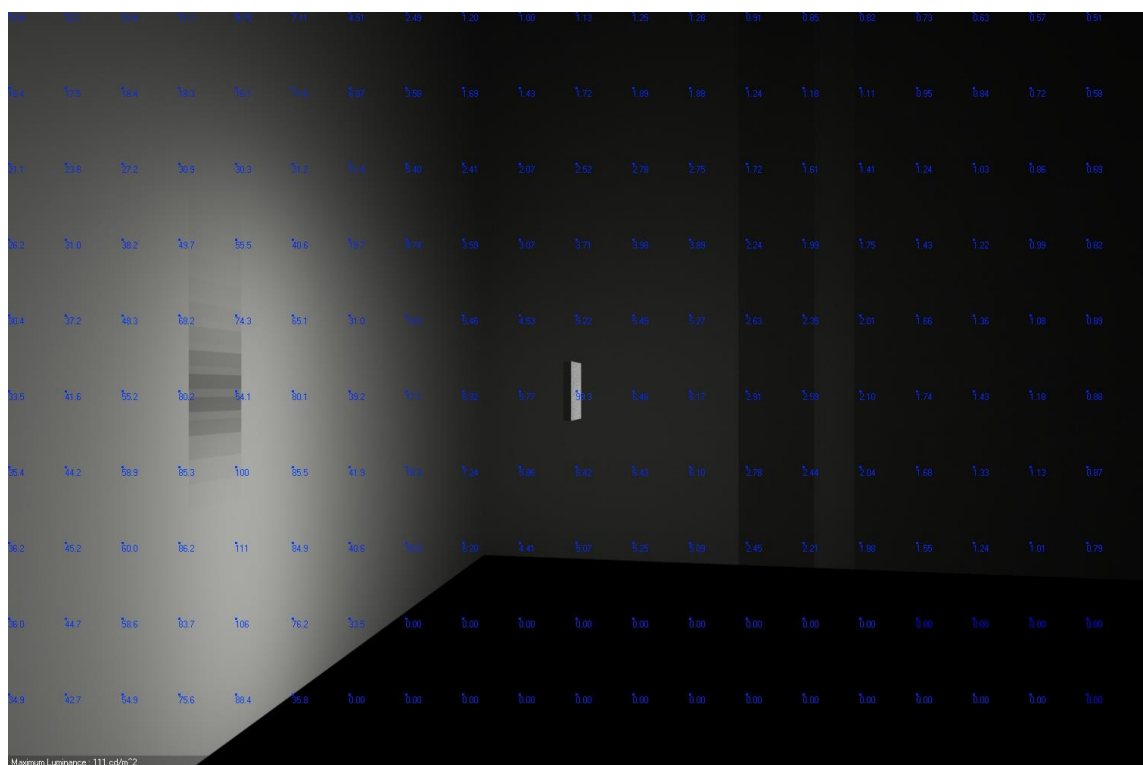
Mittaus 5 – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.



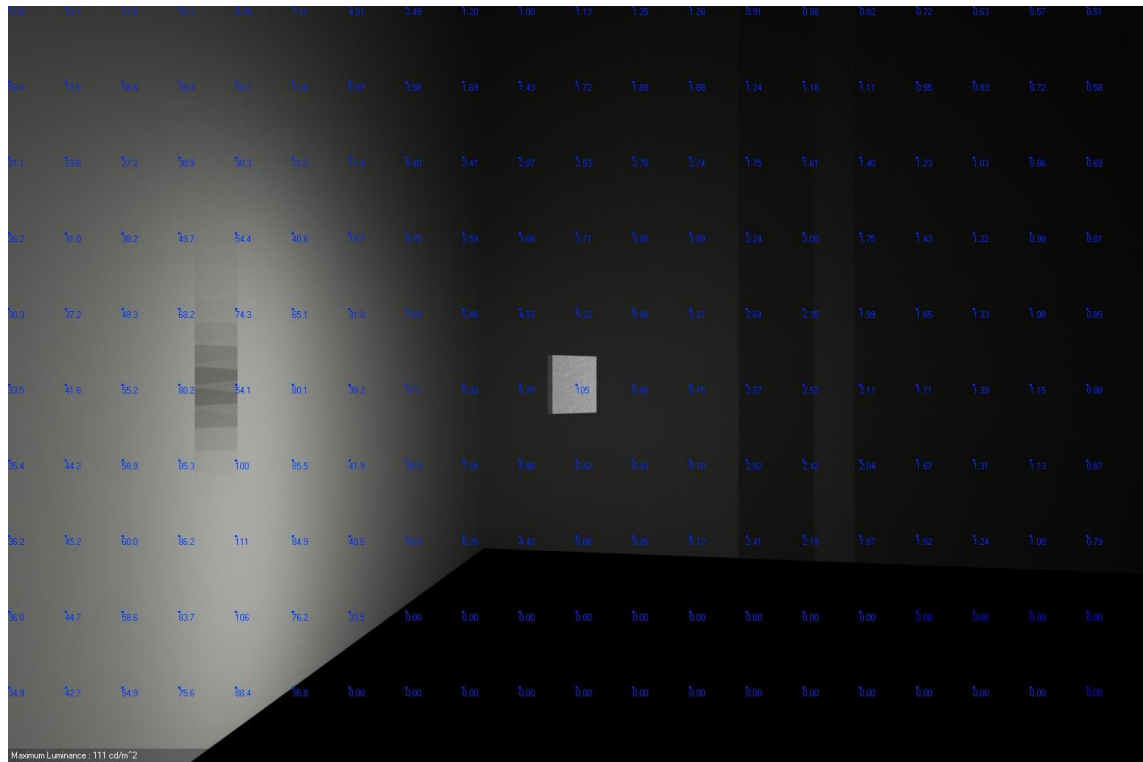
Mittaus 6 – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.



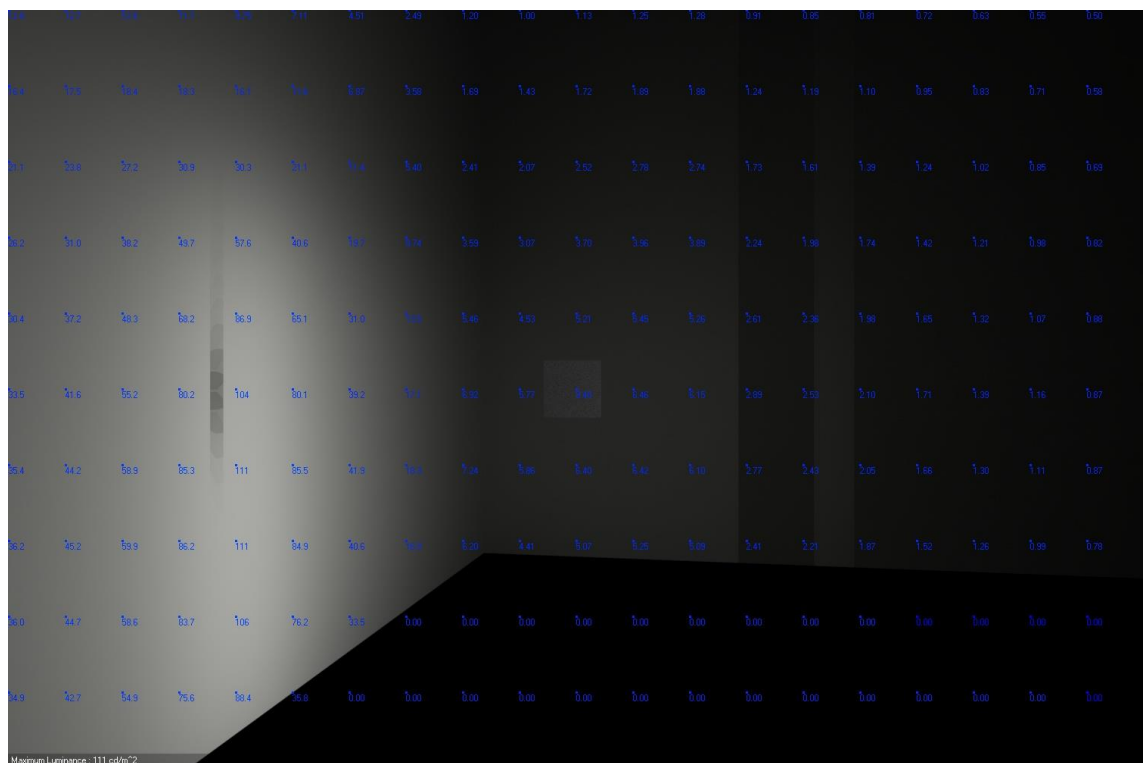
Mittaus 7 – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.



Mittaus 8 – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.



Mittaus 9 – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.



Mittaus 12 – mallinnuskuva luminanssimittausverkolla.

