LAMK Lahden ammattikorkeakoulu
Lahti University of Applied Sciences

DIFFUSOIVIEN VALAISINKUPUJEN SIMULOINTITARKASTELU

CASE: TEKNOWARE OY

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Insinööri (AMK)
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotantopainotteinen mekatroniikka
Syksy 2018
Janne Jantunen

Kuvailulehti

Tekijä(t)	Julkaisun laji	Valmistumisaika
Jantunen, Janne	Opinnäytetyö, AMK	syksy 2018
	Sivumäärä 51	

Työn nimi
Diffusoivien valaisinkupujen simulointitarkastelu
Case: Teknoware Oy

Koulutusohjelma
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Teknoware Oy:n simulointikäytössä olevien kupumateriaalien käyttäytymistä valaistussimulaatioissa, verrata tuloksia tosielämän mittausdataan sekä tehdä johtopäätöksiä havainnoista. Työ liittyy yrityksen ajoneuvoyksikön suunnitteluprosessiin, missä valaistussimulaatiot ovat usein merkittävässä roolissa valaistuksen konseptoinnissa sekä sen vaatimustenmukaisuuden arvioinnissa valotasojen osalta.

Työn teoriaosuudessa kuvattiin valon fysikaalisia ominaisuuksia niiltä osin kuin ne ovat merkityksellisiä työn kannalta. Näihin kuului muun muassa näkyvän valon määritelmä sekä valon käyttäytyminen erilaisissa tilanteissa.

Opinnäytetyön toteutukseen liittyi lukuisia vaiheita. Ensimmäisessä vaiheessa suunniteltiin ja toteutettiin referenssivalaisin, joka toimi valaistussimulaatioissa mallina eri kupumateriaaleja kanssa. Kyseinen valaisin mitattiin myös laboratoriossa. Näistä saatiin vertailtavaa aineistoa, jota lopuksi analysoitiin.

Työn tuloksia analysoitiin tilastollisin menetelmin. Tarkoituksena oli nähdä kuinka tarkasti simulaatiot toistavat todellisesta valaisimesta mitattuja arvoja, sekä pohtia syitä poikkeamiin ja esittää korjaavia toimenpide-ehdotuksia.

Avainsanat
Valaisinkupu, valaistussimulaatio, goniometrimittaus

Description

Author(s)	Type of publication	Published
Janne, Jantunen	Bachelor's thesis	autumn 2018
	Number of pages 51	

Title of publication
Simulation study for various light diffuser materials
Case: Teknoware Oy

Degree programme
Mechanical and production engineering

Abstract

The objective of this thesis was to study various luminaire diffuser materials in lighting simulations and compare the results against measurements from actual luminaire. This work was done for a company Teknoware Oy, who is a leading provider of vehicle and emergency lighting. The study relates to design processes within Teknoware vehicle lighting sector. Lighting simulations are an often used tool to help create vehicle lighting concepts and to verify its compliance against various norms, EU regulations and customer requirements.

The theory section describes physical properties of light, which are essential to understand in relation to lighting simulations. These include the definition of visual light and the behavior of light rays in various situations.

The work started out by engineering and producing a reference luminaire. The 3D model of this light was used in the lighting simulations with various diffuser materials. The actual luminaire was measured in a laboratory to get the baseline for each diffuser material for comparison.

The results from these measurements and simulations were compared using statistical tools and methods with the intention of finding out how closely the simulations emulate the real life results. In addition, possible reasons for variations was speculated and corrective action proposals were given.

Keywords
Luminaire diffuser, lighting simulation, goniometric measurements

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 1
2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE JA TARKOITUS 2
3 TERMISTÖ 3
4 YRITYSESITTELY: TEKNOWARE OY 4
5 VALON FYSIKAALISIA OMINAISUUKSIA 6
6 TYÖN KULKU 8
7 SUUNNITTELU JA MÄÄRITYKSET 9
8 REFERENSSIVALAISIMEN VALMISTUS 11
9 REFERENSSIVALAISIMEN MITTAUKSET 13
10 SIMULOINTI 15
10.1 Simulaatio-ohjelma 15
10.2 Optiset määrittelyt 15
10.3 Valonlähteet 16
10.4 Mittaustasot 18
10.5 Mittapisteet mittaustasolla 19
10.6 Simulointimalli 20
10.7 Simuloinnin satunnaisvaihtelu 21
11 TULOSTEN VERTAILU JA JOHTOPÄÄTÖKSET 22
11.1 Yleistä analysoinnista 22
11.2 Tilastolliset tunnusluvut 22
11.3 Analyysien tulokset 23
11.3.1 kokonaisvalonmäärä 23
11.3.2 Valaistusvoimakkuus ja satunnaisvaihtelu 25
11.3.3 Valaistusvoimakkuus eri avautumiskulmissa 26
11.3.4 valonlähteiden eroavaisuudet 33
12 YHTEENVETO 34
LÄHTEET 35
LIITTEET 36

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana toimii Suomalainen suuryritys Teknoware Oy, joka päätoimialueinaan keskittyy julkisten ajoneuvojen valaistusratkaisuiden toteuttamiseen sekä kiinteistöjen ja laivojen turvavalaistusjärjestelmiin. Tämä työ tehdään ajoneuvopuolen tarpeeseen, sillä yritys on vastikään päivittänyt simuloinneissa käytettävän materiaalikirjastonsa. Lähtökohta työlle on kartoittaa simulaatio-tarkkuutta uusilla valaisinkupujen materiaalimäärityksillä. Valaistussimulaatio on usein suunnittelun keskiössä tuotekehitysprojektin aikana, sillä sen avulla luodaan sisäisiä määrityksiä esimerkiksi valonlähteiden tehoille tai suuntauksille sekä sillä myös esitetään tilaajalle vaatimustenmukaisuuksien täyttyminen tai mahdolliset ongelmakohdat. Varsinainen todennus valaistukselle voidaan useasti tehdä hyvin myöhäisessä vaiheessa projektia, usein vasta koeasennuksen yhteydessä. Tässä vaiheessa esiin tulevat ongelmat ovat pääsääntöisesti hankalia ja kalliita korjata. Siksi onkin erinomaisen tärkeää ymmärtää, minkälaisia tarkkuuksia simulaatiolta voidaan odottaa.

Työhön liittyy tutkimus, jolla selvitetään Teknoware Oy:n valaistussimulaation tarkkuutta. Tutkimuksessa verrataan referenssivalon laboratoriomittauksia simuloinnissa saatuihin tuloksiin, kun käytössä on erilaisia kupumateriaaleja. Tutkimus ottaa myös kantaa, miten valonlähteen määrittely (esim. spektri) vaikuttaa tuloksiin.

2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE JA TARKOITUS

Tavoite:

Valosimulaatiot ovat merkittävässä roolissa tuotteiden ja valaistusratkaisuiden kehityksessä. Valaisinkupuvalikoimiin on tullut lukuisia uusia materiaalivaihtoehtoja ja yritys on jo aiemmin teettänyt näistä materiaalimääritykset simulaatio-käyttöön. Näiden tarkkuutta ei ole kuitenkaan aiemmin varmennettu. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää uusien valaisinkupumateriaalien tarkkuus valosimuloinneissa.

Parempi ymmärrys eri kupumateriaalien käyttäytymisestä simulaatioissa auttaa suunnittelu-organisaatiota tunnistamaan riskit mitä simulaatioiden epävarmuuksiin liittyy. Näiden riskien huomioiminen tuotesuunnittelussa vähentää uudelleensuunnittelutarpeita, jotka ovat usein ongelmallisia kustannus- ja aikataulupaineiden johdosta. Toisin sanoen, kehittynyt simulaatioiden tulkinta parantaa sisäistä tehokkuus sekä asiakastyytyväisyyttä.

Tarkoitus:

Tässä opinnäytetyössä kuvataan menetelmiä, joiden avulla kupumateriaalien tarkkuus valosimuloinneissa voidaan varmentaa. Menetelmiin kuuluu laboratoriomittauksia, valosimulointeja sekä tulosten analysointia.

3 TERMISTÖ

Näkyvä valo	Näkyvä valo on sähkömagneettista säteilyä tietyllä aallonpituusalueella.
Valovirta	Valovirta on fotometrinen suure joka kuvaa valonlähteen säteilemää näkyvän valon kokonaismäärää. Sen tunnus on F tai Φ.
Luumen	Luumen on SI-järjestelmän mukainen valovirran yksikkö. Sen tunnus on lm.
valaistusvoimakkuus	Fotometrinen suure joka ilmaisee tietylle pinnalle kohdistuvan valovirran määrää. Sen tunnus on E.
Luksi	Luksi on SI-järjestelmän mukainen valaistusvoimakkuuden yksikkö. Sen tunnus on lx.
LED	LED tulee sanoista Light emitting diode. Tämä puolijohdekomponentti säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirtaa.
värilämpötila	Värilämpötila valonlähteen yhteydessä kuvaa valkoisen valon sävyeroja. Värilämpötilan yksikkö on Kelvin K.

4 YRITYSESITTELY: TEKNOWARE OY

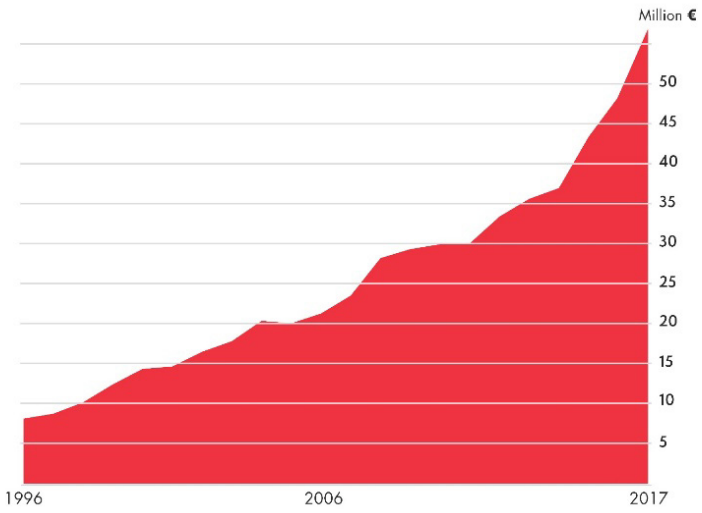
Teknoware Oy on julkisen liikenteen ajoneuvojen valaistusjärjestelmiin sekä kiinteistöjen ja laivojen turvavalaistusjärjestelmiin erikoistunut asiantuntijayritys. perheyritys on perustettu vuonna 1972. Pääkonttori Lahdessa työllistää yli 300 henkilöä. Teknoware Oy muodostaa kahden muun yrityksen kanssa Teknopower konsernin (Teknopower 2018).

Liiketoiminta-alueet

Teknoware Oy jakautuu kahteen liiketoiminta-alueeseen. Ajoneuvovalaistus keskittyy erityyppisten ajoneuvojen; junat, bussit, metrot, raitiovaunut jne. valaistusjärjestelmien suunnitteluun ja toteutukseen. Turvavalaistus puolestaan myy ja kehittää erinäisiä turvavaloratkaisuita rakennuksiin sekä laivateollisuuteen. (Teknoware 2018.) Aluejako on perusteltu koska liiketoimintamallit, asiakastarpeet sekä viranomaisvaatimukset alueiden välillä poikkeavat merkittävästi.

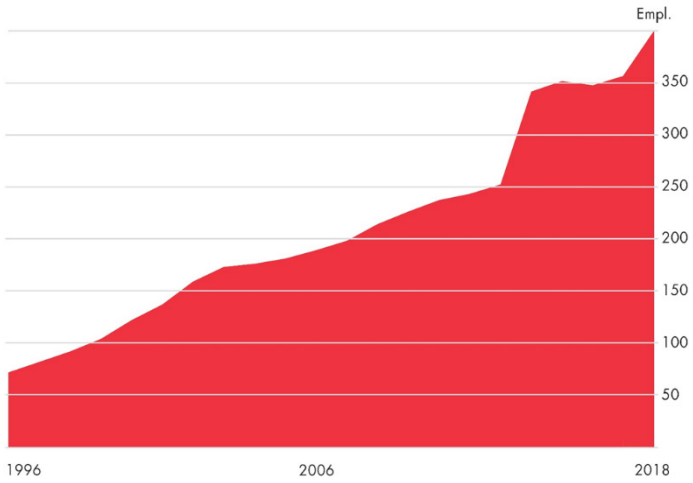
Liikevaihdon ja henkilöstön kehitys

Liikevaihdon kehitys on ollut hyvin tasaista viimeiset vuosikymmenet kuten kuvastaKuva 1 näkyy (Teknoware 2018). On merkillepantavaa, että edes taantuman aikaa vuosina 2008-09 liikevaihto ei missään vaiheessa laskenut. Merkittävimpinä syinä tähän voidaan pitää riskien hajauttamista eri liiketoiminta-alueille sekä ajoneuvosektorin luontaisesti hidasta reagointia maailmantalouden muutoksiin.



Kuva 1 Liikevaihdon muutos

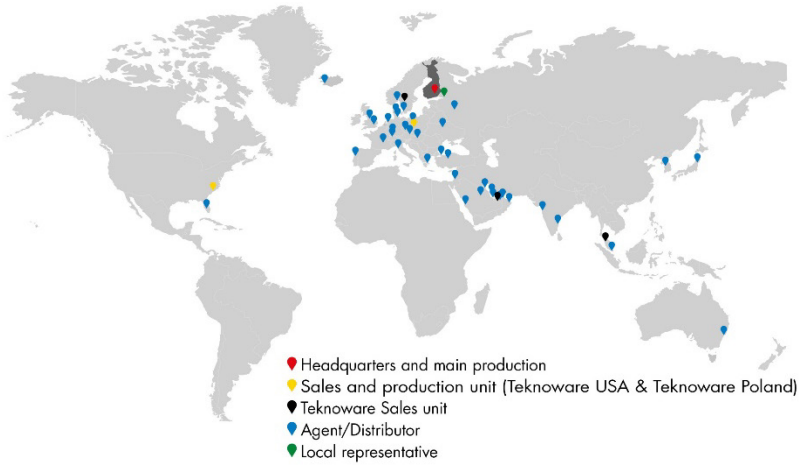
Henkilöstön määrä muutokset on esitetty kuvassa 2. Se on noussut kutakuinkin samassa suhteessa liikevaihdon kanssa (Teknoware 2018). Yhdysvaltoihin suunnattu yritysosto näkyy selkeänä harppauksena työntekijämäärässä 2014 tienoilla.



Kuva 2 Henkilöstömäärän muutos

Teknoware maailmalla

Suomessa sijaitsevan pääkonttorin ja tuotantolaitoksen lisäksi Yhdysvalloissa toimii junien sisä- ja ulkovalaistukseen sekä linjakilpiin keskittynyt myynti- ja tuotantoyksikkö. Puolaan on myös vastikään perustettu uusi suunnittelu- tuotantoyksikkö palvelemaan pääasiassa Itä-Euroopan maita. Lisäksi eri puolilla maailmaa toimii yhteistyöyrityksiä ja agentteja myynnin tukena, kuten kuvasta 3 ilmenee. (Teknoware 2018.)



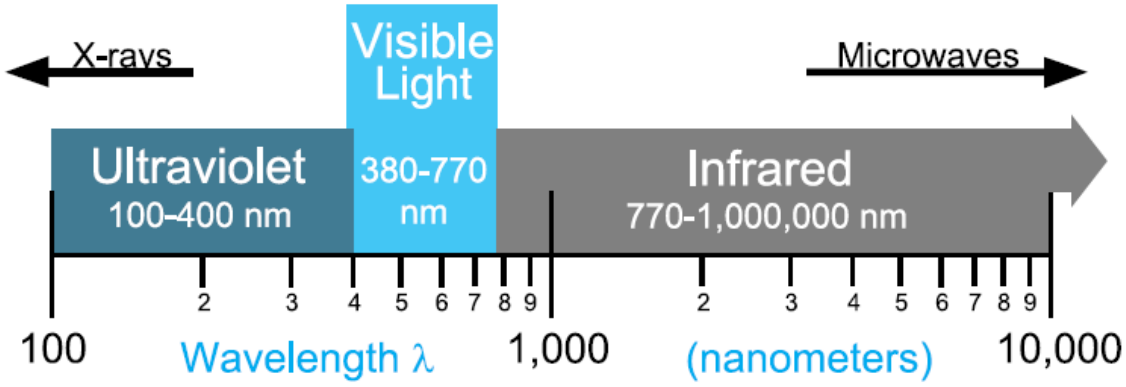
Kuva 3 Teknoware Oy:n edustus maailmalla

5 VALON FYSIKAALISIA OMINAISUUKSIA

Tässä luvussa käydään läpi valon fysikaalisia ominaisuuksia, niiltä osin kuin ne ovat relevantteja opinnäytetyön aiheeseen liittyen.

näkyvä valo

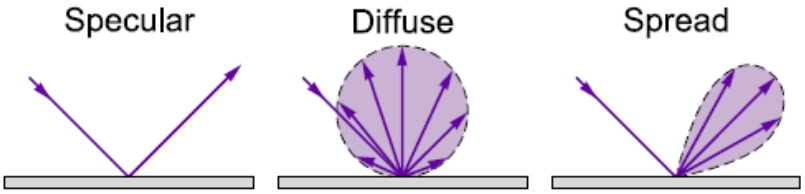
Näkyvä valo on osa sähkömagneettista säteilyä, jonka spektri kattaa hyvin laajan alueen matalista radiotaajuuksista erittäin korkeisiin röntgentaajuuksiin (Ryer, Alexander 1997, 5). Näkyvän valon alue on esitetty kuvassa 4. Tämän opinnäytetyön mittaukset ja simuloinnit rajoittuvat näkyvän valon alueelle.



Kuva 4 Näkyvän valon aallonpituus

Heijastuma

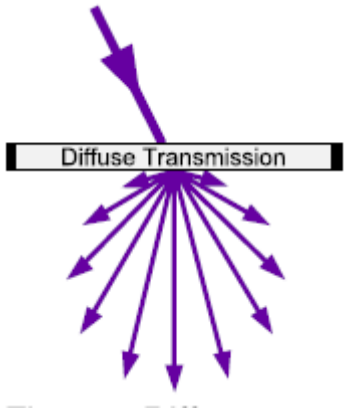
Valonsäteiden osuessa mihin tahansa pintaan, osa niistä heijastuu pinnasta takaisin. Tasaisilla, peilimäisillä tai kiillotetuilta pinnoilla valo heijastuu takaisin samassa kulmassa pinnan normaaliin nähden, kuin se kohtaa pinnan (kuva 5, specular). Pinnan ollessa epätasainen tai mattamainen valonsäde hajoaa joko kokonaan (kuva 5, diffuse) tai osittain (kuva 5, spread) sen heijastuessa takaisin. (Ryer, Alexander 1997, 13.) Kaikkia näitä hyödynnetään valaistussuunnittelussa eri keinoin, käyttökohteesta riippuen.



Kuva 5 Valonsäteen heijastuman eri ilmenemismuodot

Diffuusio / sironta

Monissa sovelluksissa on tarpeen diffusoida valoa kuvan 6 mukaisesti. Tähän löytyy useita keinoja, kuten epätasainen pinnalaatu tai materiaalivalinta (Ryer, Alexander 1997, 17.) Valaistuksen yhteydessä sirontaa käytetään laajasti esimerkiksi pistemäisten valonlähteiden piilottamiseen tai valon tehokkaaseen levitykseen, väliaineena toimii tällöin valaisinkupu.



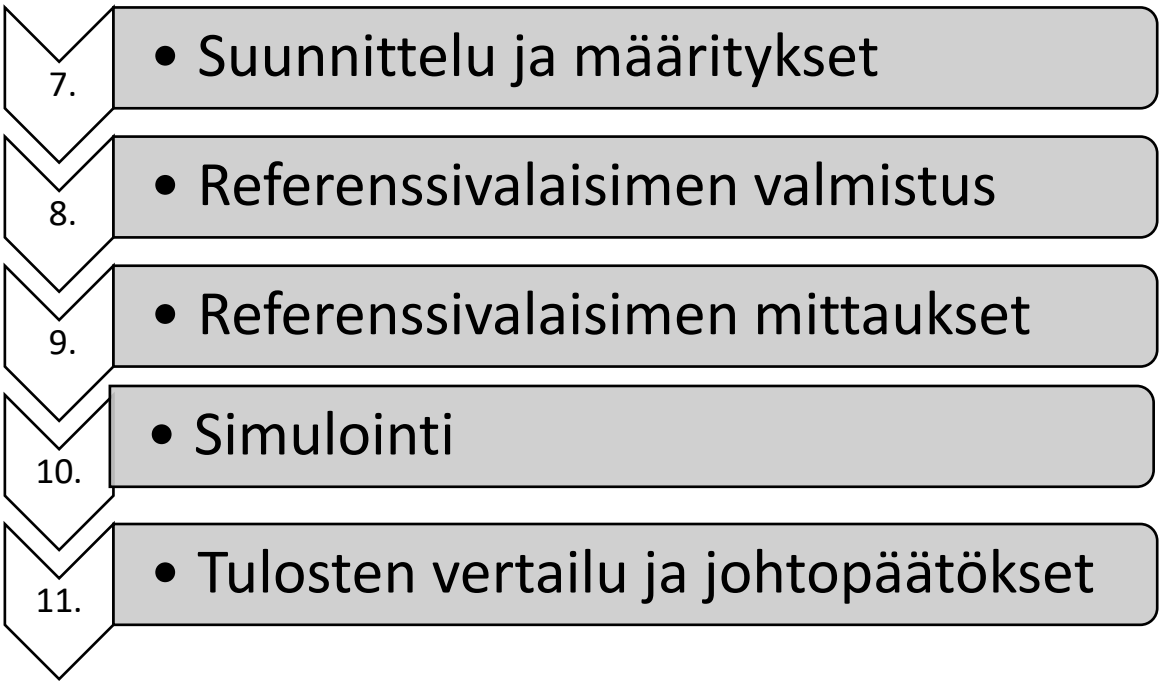
Kuva 6 Valon sironta väliaineen avulla

Vaimennus

Valonsäteiden liikkuessa väliaineen läpi, osa niistä absorboituu väliaineeseen. Tällöin valonsäteiden teho pienenee. (Peltonen, H., Perkkiö, J., Vierinen, K. 2012, 205.) Valaistusta suunniteltaessa vaimennus on huomioitava, etenkin diffusoivilla materiaaleilla, sillä se on erittäin huomattavaa.

6 TYÖN KULKU

Opinnäytetyön edistyminen vaiheittain on kuvattu alla olevassa kuvassa 7 ja lyhyesti tekstissä. kukin vaihe on käsitelty yksityiskohtaisesti omissa kappaleissa.



Kuva 7 Työn kulku vaiheittain

Suunnittelu ja määritykset -osiossa tarkastellaan eri osa-alueita liittyen siihen, miten simulaatiotarkastelua lähdetään todentamaan, mitä mittauksia tehdään ja missä sekä miten tuloksia vertaillaan.

Referenssivalaisimen valmistus -osiossa pohditaan mitä asioita valmistuksessa on huomioitava ja mitkä ovat perusteet valinnoille. Lisäksi kappaleessa listataan mitatut kupumateriaalit sekä valitun valonlähteen ominaisuudet.

Referenssivalaisimen mittaukset -osiossa kuvataan valittu mittausmenetelmä ja sen etuja.

Simulointi-osiossa kuvataan simulointiympäristö, jonka avulla tuloksia vertaillaan. Lisäksi siinä kerrotaan valosimulaatiosta sekä ohjelmasta yleisesti.

Tulosten vertailu ja johtopäätökset -osiossa kootaan yhteen mittaukset ja simuloinnit ja niistä johdetut tulokset ja johtopäätökset.

7 SUUNNITTELU JA MÄÄRITYKSET

Simulointitarkastelun ensimmäisiä merkittäviä suuntia oli päättää mihin arvoihin simulointituloksia verrataan? Mistä saadaan reaalimaailmassa riittävän tarkat vertailuarvot simuloinnille? Alkuun vaihtoehtoja oli useampikin, yksi vaihtoehto olisi ollut rakentaa pieni pätkä junan sisustaa, sijoittaa sinne valaisimia ja mitata valovirta määritellyistä mittauspisteistä. Tämä on ajoneuvoprojekteissa normaali todennusmenetelmä ja siitä syystä houkutteleva. Kuitenkin ongelmaksi muodostui kustannukset, esim. kupumateriaalien hankinta pienissä erissä on erittäin kallista. Myös epävarmuustekijöiden lisääntynyt määrä uusien valoa heijastavien pintojen johdosta kuten katto, seinät, ikkunat jne. ei ollut toivottua. Lisäksi valmistusmittatarkkuudet, asennustarkkuudet yms. luovat lisää epävarmuustekijöitä.

Monimutkaisen mittausjärjestelyn sijaan päädyttiin minimalistiseen lähestymistapaan: Minimoidaan muuttujat, eli tarkastellaan ainoastaan yhtä valaisinta ja tehdään siitäkin mahdollisimman yksinkertainen ja muotoillaan se siten että voidaan käyttää kupumateriaalivalmistajien mallilevyjä. Näin vältytään hintavilta piensarjoilta. Tällä järjestelyllä päästiin parhaiten tarkastelemaan pelkästään kuvun materiaalimäärityksen simuloinnissa ja todellisen toiminnan eroja.

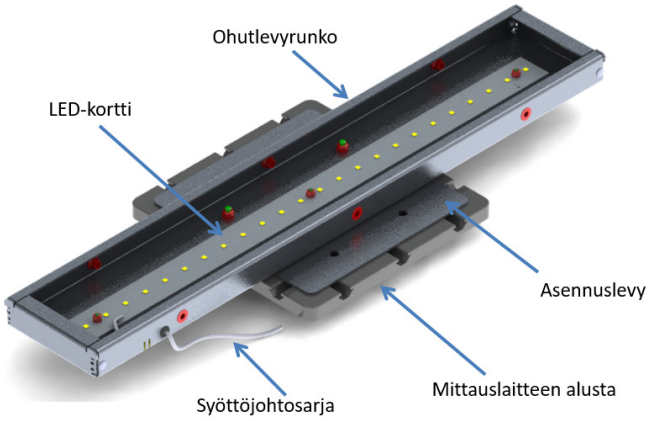
Kun päätettiin mitä mitataan, piti myös päättää, miten mitataan. Tuloksista piti pystyä näkemään valonjakauma eli miten valo siroaa kuvun jälkeen ympäristöön. Tämä sulki automaattisesti pois käytöstä integroivat pallot, vaikka ne ovat tarkkoja niin niistä saadaan vain valaisimen antama kokonaisvalon määrä, ei sitä, miten se jakautuu. Teknowarella on myös oma pimeähuone missä valonjakaumaa pystytään mittaamaan mutta huoneen tarkkuus ja toistettavuus ei ole aivan riittävällä tasolla. Erinäisten selvittelyiden jälkeen päädyttiin ulkopuolisiin standardimittauksiin. Yksi merkittävimmistä syistä oli, että näistä saadaan valonlähteelle määrittelytiedosto, joka voidaan suoraan sijoittaa simulointiin ja saada sen avulla simuloinnista referenssiarvot samassa muodossa kuin vertailtavat arvot.

Näiden lähtökohtien pohjalta suunniteltiin valaisin missä on yksinkertainen rakenne sekä elektroniikka. Sen tuli myös tukea mahdollisimman hyvin eri kupuvalmistajien mallilevykirjastoja. Tällä tavoin kustannukset pysyivät kurissa, koska kupujen näytekappaleita ei tarvinnut erikseen tilata. Valaisin mitattiin ulkopuolisessa laboratoriossa, joten niin sähköiset kuin mekaaniset rajapinnat piti erikseen sopia toimittajan kanssa.

Valonlähteen määrittely simuloinnissa tarjosi myös useita vaihtoehtoja. Koska eri tyyppisten lähteiden vaikutuksista simuloinnissa ei ole tarkkaa tietoa päädyttiin toteuttamaan simulointi usealla, eri tyyppisellä valonlähteellä, jotta nähdään valonlähteen määritysten vaikutus simulaatiotarkkuuteen.

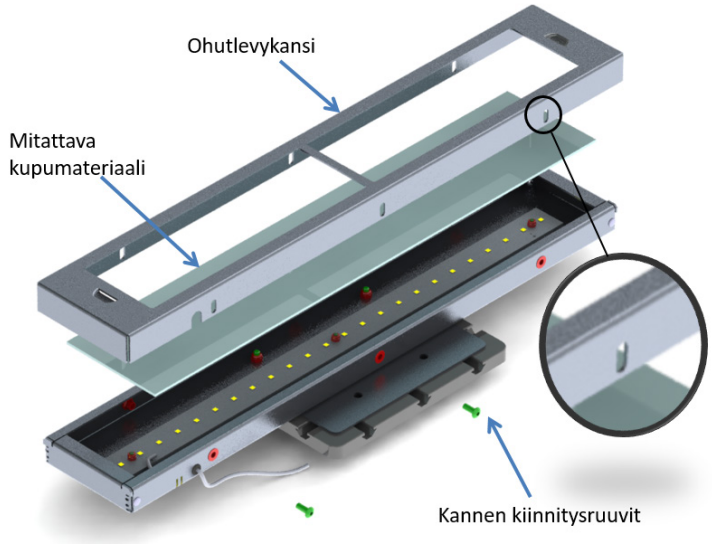
8 REFERENSSIVALAISIMEN VALMISTUS

Referenssivalaisin päätettiin valmistaa ohutlevystä koska yrityksellä on siihen hyvin soveltuva konekanta. Valaisimeen tehtiin kiinteä kuvan 8 kaltainen runko, johon elektroniikka istutettiin. Runko liitettiin myös asennuslevy, jonka avulla se kiinnitettiin mittauslaitteeseen.



Kuva 8 Referenssivalaisimen runko

Valaisimeen tehtiin ohutlevystä myös irrallinen kansi kuvan 9 mukaisesti. Kannen tehtävänä oli pitää mitattava kupumateriaali paikoillaan sekä mahdollistaa kupumateriaalin vaihto ilman valaisimen irrottamista mittalaitteesta. Ratkaisussa kupu jäi rungon ja kannen väliin ja koska kupumateriaalien paksuudet vaihtelivat 2-5mm välillä, piti kannen kiinnityssyvyys olla myös säädettävissä. Tämä hoidettiin käyttämällä pitkittäisiä uria kiinnityspisteissä.



Kuva 9 Referenssivalaisimen kansi ja kupu

Materiaalimääritykset

Valaisimen pinnoiksi päätettiin jättää raaka Alumiini koska sille löytyy olemassa oleva materiaalimääritys simuloinnissa.

Kupumateriaalit

Referenssivalaisin valmistettiin kahdeksalla eri kupumateriaalilla, jotka on listattu taulukossa 1.

Taulukko 1 Mitatut kupumateriaalit

Materiaali tunnus	Materiaalin kuvaus
S103	Opaali Polykarbonaatti. 2mm. Valmistettu ekstruusiomenetelmällä
S104	Opaali Polykarbonaatti. 2mm. Valmistettu ekstruusiomenetelmällä
S105	Opaali Polykarbonaatti. 2mm. Valmistettu ekstruusiomenetelmällä
S108	Opaali Polykarbonaatti. 3mm. Leikattu levytavarasta
S109	Opaali Polykarbonaatti. 5mm. Leikattu levytavarasta
S110	Läpikuultava lasi. 5mm. Toinen puoli syövytetty, toinen puoli hiekkapuhallettu
S111	Läpikuultava lasi. 5mm. Toinen puoli kiillotettu pinta, toinen puoli syövytetty
S112	Opaali Polykarbonaatti. 3mm. Valmistettu ekstruusiomenetelmällä

valonlähde

Valonlähteeksi valittiin yksi Teknoware Oy:n vakiotuotteista, näin ollen elektroniikan suunnitteluun ei tarvinnut sitoa resursseja. Valonlähteenä toimi LED-kortti 24VDC jännitesyötöllä sekä 3000K värilämpötilan ledeillä. Kortilla olevat ledit ovat yrityksessä yleisessä käytössä, mikä olikin painava syy valita juuri kyseinen tuote.

LED-kortin valovirta, eli kuinka paljon valoa valonlähde säteilee, mitattiin koska tietoja tarvitaan tarkan simulointimallin luomiseen. Mittaustulosten perusteella LED-kortti säteili 455,1 luumenin (lm) voimakkuudella.

9 REFERENSSIVALAISIMEN MITTAUKSET

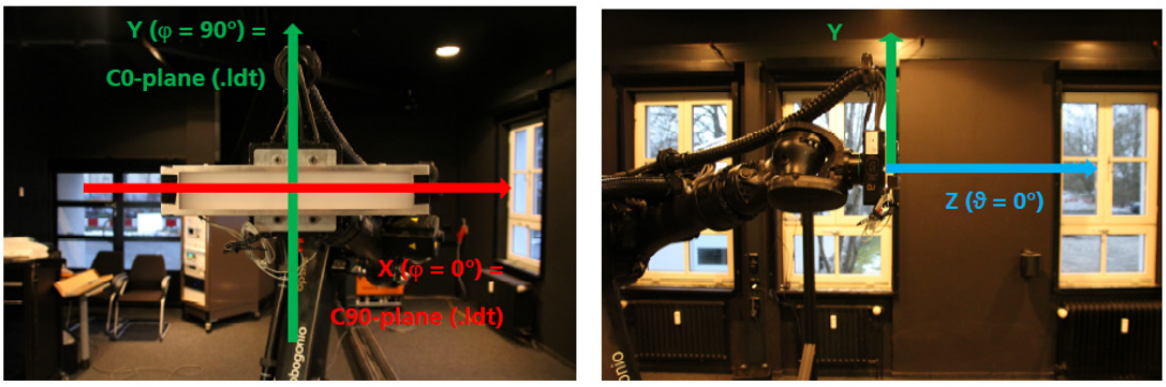
Kuten suunnitteluvaiheessa päätettiin, referenssivalaisin mittautetaan ulkopuolisella taholla standardimenetelmin. Toimittajaksi valikoitui saksalainen yritys Opsira GmbH, jolla on laaja kokemus muun muassa valaisinten fotometrisistä mittauksista. Heidän itse kehittämä mittauslaitteisto on myös sertifioitu TÜV Rheinland organisaation toimesta ja laboratorio täyttää Euroopan talouskomission asettamat vaatimukset ”Photometry Laboratory Accuracy Guidelines” osalta. (Opsira 2018a.)

Mittausmenetelmä

Mittauslaitteistona käytettiin Robogonio laitteistoa, joka on käytännössä robotisoitu goniometrimittauslaite. Laitteistossa valonlähde kiinnitetään 6-akselisen robottikäsivarren päähän, mittausanturin ollessa kiinteä. Valaisimesta mitattiin valojakokäyrä kunkin kupumateriaalin kanssa, tätä varten valaisinta piti pyörittää hallitusti useamman akselin ympäri, joten robotti soveltuu siihen erinomaisesti nopeuden, toistettavuuden ja asemointitarkkuuden johdosta (Opsira 2018b).

Valonjakokäyrää varten valaisimesta mitattiin kullakin kupumateriaalilla 2160 mittauspistettä seuraavien määrityksin

- Atsimuuttikulma: -180° ≤ φ ≤ 180°, 15° resoluutiolla
- Zeniittikulma: 0° ≤ ϑ ≤ 90°, 1° resoluutio
- Mittausetäisyys: 10 m



Kuva 10 Atsimuutti ja zeniittikulmien määritykset

Mittausten tuotokset

Tuloksista saatiin kirjallinen raportti jokaista mitattua materiaalia kohden sekä EULUMDAT formaatin mukainen määrittelytiedosto (liitteet 1.-8.). EULUMDAT on vakioitu tiedostomuoto, jolla kuvataan valonlähteen fotometrisiä ominaisuuksia ja erityisesti valonjakoa (ANSI, 2018). Näitä virtuaalisia valonlähteitä käytettiin suoraan simulaatioissa referensseinä.

10 SIMULOINTI

10.1 Simulaatio-ohjelma

Simulaatiot tehtiin SPEOS for SolidWorks ohjelman avulla. SPEOS toimii lisäosana yrityksen käytössä olevaan SolidWorks 3D suunnitteluohjelmaan. Tämä oli ratkaisuna hyvä, koska simuloinneissa voitiin käyttää suoraan samoja malleja kuin tuotteen mallinnuksessa on käytetty, eikä niitä tarvinnut muuttaa toiseen tiedostomuotoon tai viedä eri ohjelmaan.

SPEOS on vuonna 1989 perustetun yrityksen OPTIS tuote. Tuotteesta on monta eri versiota jotka integroituvat eri CAD ohjelmistojen kanssa. Ohjelman simulointiominaisuudet ovat hyvin laajat, Teknoware Oy:n käytössä ovat moduulit jotka mahdollistavat valaistusvoimakkuuden, valon jakautumisen sekä luminanssin simulointiin näkyvän valon alueella.

SPEOS ohjelmiston tarkkuus on todennettu CIE 171:2006 mukaisesti (Optis 2018)

Ennen kuin simulointeja voitiin ajaa, piti CAD malliin määrittää lukuisia parametreja. Näihin sisältyi materiaalien optisia määrityksiä, valonlähteen määrityksiä sekä itse simulointiin liittyviä määrityksiä.

10.2 Optiset määrittelyt

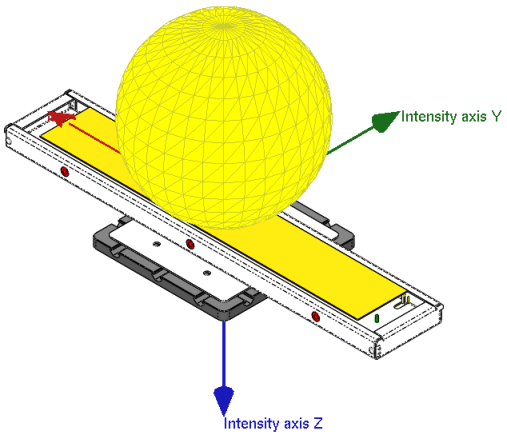
Simulaatioympäristö kuvattiin 3D mallin sekä optisten määrittelyjen avulla. Määriteltäviä asioita olivat niin valonlähteet kuin väliaineet, sekä kappaleiden pinta- ja volumetriset ominaisuudet. Simulaatioympäristöstä poistettiin 3D mallin nähden kaikki epäoleellinen, kuten johtosarjat, ruuvit ja mutterit, jotta simulaatio pysyy mahdollisimman keveänä.

10.3 Valonlähteet

Simuloinnissa käytettiin neljän tyyppisiä valonlähteitä. Yksi valonlähteistä toimi referenssinä. Muissa kolmessa oli sama valonlähde ainoastaan hieman eri tavoin määriteltynä.

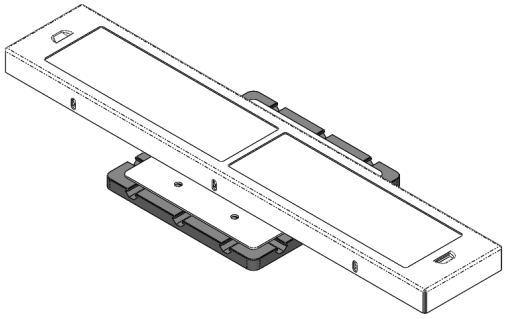
Valaisin #1: Referenssi

Referenssivalaisimessa valonlähteeksi määriteltiin laboratoriomittauksista saadut määrittelytiedostot (eulumdat-muodossa), kullekin kupumateriaalille omansa. Tiedosto määrittää valonlähteestä säteilevän valon valovirran sekä valon jakauman eri suuntiin. Säteileväksi pinnaksi määriteltiin kuvun näkyvä pinta. Valaisimen kansi poistettiin simulaatiosta, jotta se ei vääristä tuloksia, sillä sen vaikutus on jo huomioitu laboratoriomittauksissa. Kuva 11 kuvaa referenssivaloa ja siihen liitettyä valonlähdettä simulointiympäristössä.



Kuva 11 Referenssivalaisin ja valonlähde

Kaikissa muissa valaisimissa käytettiin samaa konstruktiota missä on myös kansi mallinnettuna kuvan 12 osoittamalla tavalla.

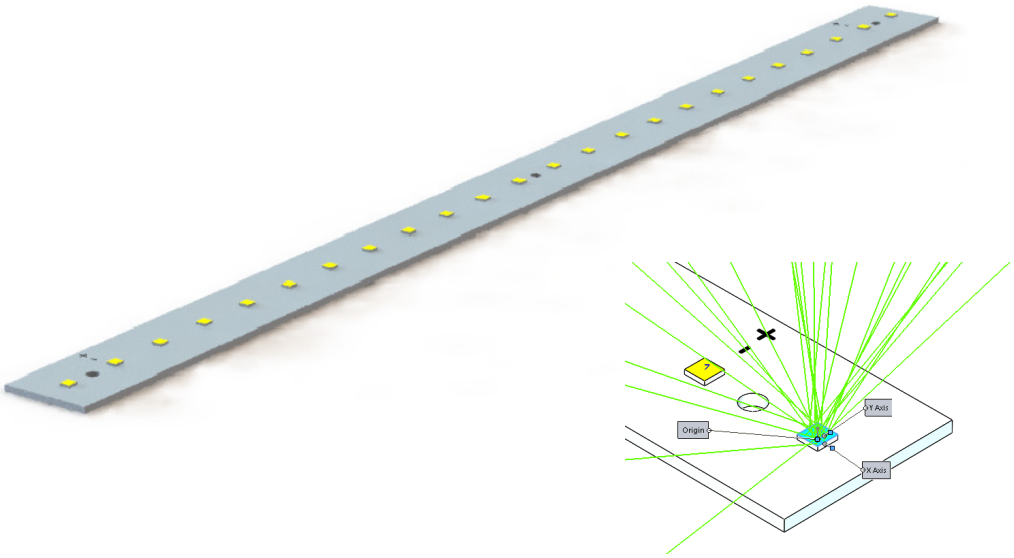


Kuva 12 Muut valaisintyypit

Valaisin #2: RAY valonlähde

Valaisimen sisällä olevan LED-kortin yksittäisille LED valonlähteille määriteltiin valmistajalta saatu valonjakauma Ray-tiedosto avulla. Ray-tiedostomuotoa käytetään simuloinneissa valonlähteenä kuvaamaan tarkasti valon leviämistä. Määrittely on tyypillisesti luotu todellisten mittausten pohjalta. (Fileinfo 2018.)

LED:in valovirtana käytettiin todellisia kortilta mitattuja arvoja. Spektrinä käytössä oli yksi aallonpituus näkyvän valon alueelta. Kuva 13 esittää LED-korttia sekä siinä olevia yksittäisiä valonlähteitä.



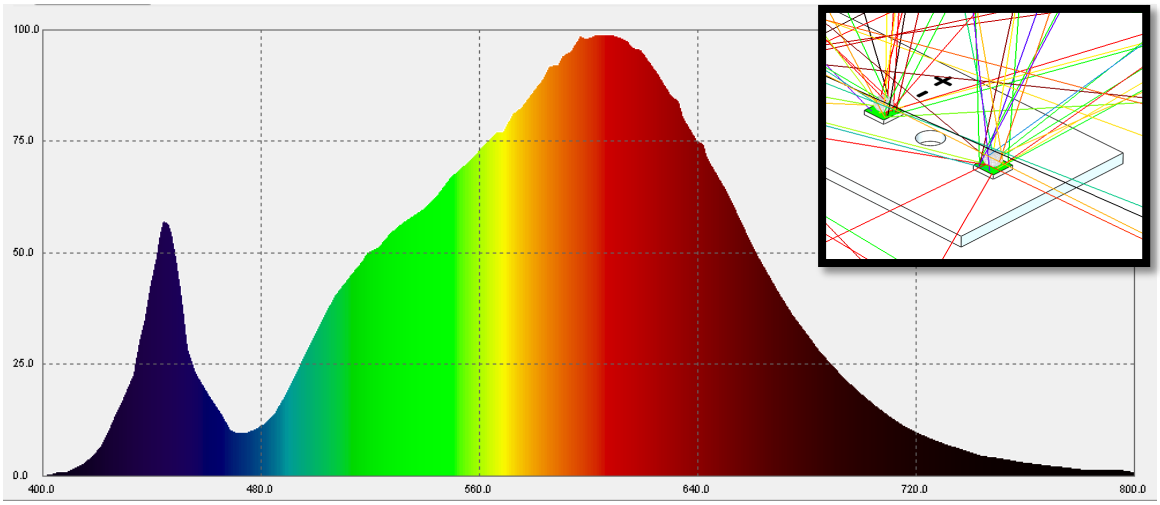
Kuva 13 LED-kortti ja yksittäisten valonsäteiden levittyminen

Valaisin #3: Monokromaattinen valonlähde

Monokromaattisessa valonlähteessä yksittäisten ledien valonjakauma määriteltiin lambertiaaniseksi. Tämä on ideaalimalli valon jakautumisesta tasaisesti joka suuntaan, mutta kuitenkin hyvin lähelle käytetyn ledin todellista valonjakaumaa. Tämän tyyppinen määrittely on tyypillinen Teknowarella. Spektrinä oli käytössä vain yksi aallonpituus näkyvän valon alueelta. LED:in valovirtana käytettiin todellisia kortilta mitattuja arvoja.

Valaisin #4: Spektrin sisältämä valonlähde

Spektrin sisältämässä valonlähteessä valonjakauma määriteltiin lambertiaaniseksi, aivan kuten monokromaattisessa valonlähteessä. Valonlähteen Spektri oli määritelty LED-valmistajan datalehden mukaan. Kuva 14 esittää käytetyn LED:in spektrin jakaumaa. LED:in valovirtana käytettiin todellisia kortilta mitattuja arvoja.



Kuva 14 LED:n spektri aallonpituuden ja suhteellisen energian suhteen

10.4 Mittaustasot

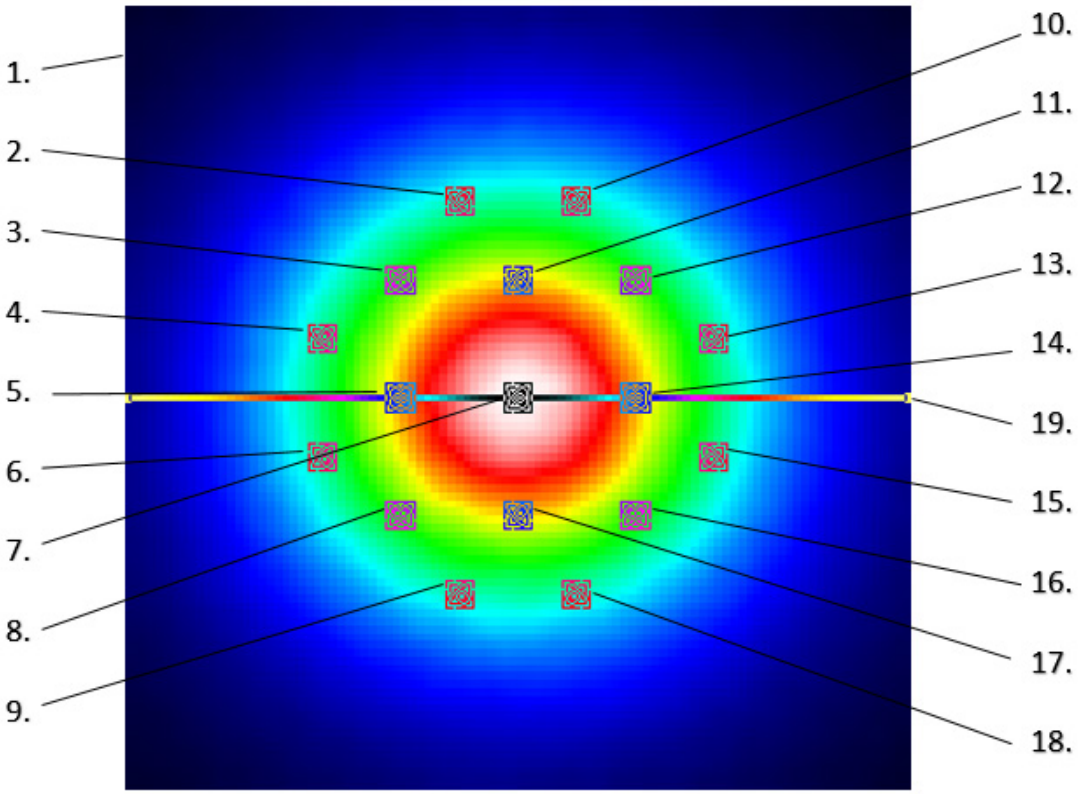
Simulointityökalu tarjoaa erilaisia mittaustasoja ja konfiguraatiomahdollisuuksia tarpeista riippuen. Tätä simulointityötä varten luotiin säteilyvoimakkuutta mittaavat mittaustasot seuraavin määrittelyin:

- Tyyppi: Fotometrinen
- Koko: 2000 x 2000 mm
- Resoluutio: 100 x 100 elementtiä, eli yksi pikseli 20x20mm

Mittaustasot on esitetty kuvassa 17. Ne on sijoitettu 750mm etäisyydelle valaisimien pohjasta.

10.5 Mittapisteet mittaustasolla

Jokaiselle neljälle mittaustasolle on määritelty identtiset mittauspisteet, jotta havainnot ovat vertailukelpoisia. Mittauspisteiden sijoittelu käy ilmi kuvasta 15.



Kuva 15 Esimerkki simulointituloksesta ja mittauspisteiden paikoista

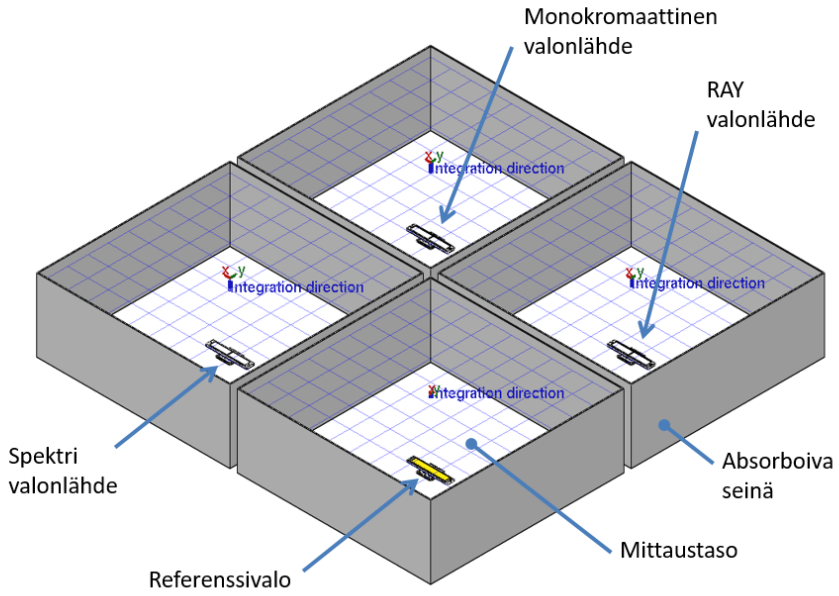
Taulukossa 2 on listattu mittauspisteiden määritykset simulointiohjelmassa. X- ja y-koodinaatit ilmaisevat mittauspisteen keskipistettä, leveys ja korkeus mittauspisteen kokoa. Mittauspiste 1 ”Kokonaisvalo” on koko mittaustason kokoinen alue ja sillä mitataan tasolle kohdistuva kokonaisvalon määrä. Muilla mittauspisteillä mitataan mittapisteelle määritellylle pinta-alalle kohdistuvan valaistusvoimakkuuden keskiarvoa. Toisin sanoen yksittäiset mittaus- tai havaintopisteet ovat lähtökohtaisesti jo hieman suodatettuja, sillä 50x50mm alueen sisään mahtuu noin viisi yksittäistä mittauselementtiä. Ratkaisu tasaa hieman simulaation satunnaisvaihteluita ja vastaa tosielämän mittauksia, sillä mittalaitteiden mittauspäillä on aina jonkinlainen pinta-ala josta mittaustulos keskiarvoistetaan.

Taulukko 2 Mittaustason mittauspisteet

#	Selite	x (mm)	y (mm)	leveys (mm)	korkeus (mm)	Mitattava suure
1	Kokonaisvalo	0	0	2000	2000	Valovirta
7	Huippuarvo	0	0	50	50	valaistusvoimakkuus
2	Mittaus_1	-150	500	50	50	valaistusvoimakkuus
10	Mittaus _2	150	500	50	50	valaistusvoimakkuus
3	Mittaus _3	-300	300	50	50	valaistusvoimakkuus
11	Mittaus _4	0	300	50	50	valaistusvoimakkuus
12	Mittaus _5	300	300	50	50	valaistusvoimakkuus
13	Mittaus _6	500	150	50	50	valaistusvoimakkuus
4	Mittaus _7	-500	150	50	50	valaistusvoimakkuus
6	Mittaus _8	-500	-150	50	50	valaistusvoimakkuus
5	Mittaus _9	-300	0	50	50	valaistusvoimakkuus
14	Mittaus _10	300	0	50	50	valaistusvoimakkuus
15	Mittaus _11	500	-150	50	50	valaistusvoimakkuus
9	Mittaus _12	-150	-500	50	50	valaistusvoimakkuus
8	Mittaus _13	-300	-300	50	50	valaistusvoimakkuus
17	Mittaus _14	0	-300	50	50	valaistusvoimakkuus
16	Mittaus _15	300	-300	50	50	valaistusvoimakkuus
18	Mittaus _16	150	-500	50	50	valaistusvoimakkuus
19	poikkileikkaus	-1000	0	2000	0	poikkileikkaus

10.6 Simulointimalli

Simuloinnissa voitiin käyttää suoraan referenssivalaisimen 3D mallia. Simulointia varten luotiin CAD kokoonpano missä on neljä erityyppistä valaisinta kuvan 16 mukaisesti. Jokainen valaisin on optisesti eristetty ja jokaisella on oma mittaustaso. Syyt järjestelyyn olivat puhtaasti tekniset, näin saatiin simuloitua kaikki neljä erityyppistä valonlähdettä yhdellä kertaa. Vastaava konfiguraatio tehtiin jokaiselle kupumateriaalille erikseen.



Kuva 16 Simulointimalli

Simuloinneista muodostui dataa seuraavasti: Simuloitiin kahdeksan kupumateriaalia, jokaista useampi kerta, jotta saatiin käsitys satunnaistekijöistä jotka ovat ominaisia ohjelman toimintaperiaatteen vuoksi. Kaiken kaikkiaan simulointiajoja tehtiin 5x8 kpl eli yhteensä 40 ajoa, koneaikaa näihin simulaatioihin kului yhteensä 32 tuntia. Yksittäisiä datapisteitä kerättiin tarkempaa analyysia varten 18 pistettä per valaisin per simulaatio eli kaiken kaikkiaan n. 3000 pistettä. Näiden lisäksi kerättiin vielä mittauspistettä poikkileikkauksen eri kohdista valonjakoanalyyseja varten.

10.7 Simuloinnin satunnaisvaihtelu

Simulointiohjelman käyttämät algoritmit ovat pääasiassa liikesalaisuuksia mutta yleisellä tasolla tiedetään, että ne perustuvat Monte Carlo menetelmään. Tämän johdosta simulaatiotuloksissa esiintyy aina satunnaisvaihtelua. Näitä vaihteluita on arvioitu myöhemmin tulosten vertailujen yhteydessä.

Monte Carlo on menetelmä missä laskutoimitusta toistetaan lukuisia kertoja satunnaisilla syötteillä (määritellyn joukon sisältä) ja niiden vaikutusta mitataan. Menetelmän etuina voidaan pitää pitää sitä, että sillä saadaan hyvällä tarkkuudella olevia arvioita verrattain vähäisillä laskutoimituksilla. (MONTE CARLO MENETELMÄ 2018.)

11 TULOSTEN VERTAILU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

11.1 Yleistä analysoinnista

Kaikki vertailu tehtiin lähtökohtaisesti referenssivalaisimen tuloksiin rinnastaen. Eri tyyppisiin valaisimiin on viitattu seuraavasti:

- Valaisin #1, Referenssivalaisin: EULUM
- Valaisin #2, RAY valonlähde: RAY
- Valaisin #3, Monokromaattinen valonlähde: MONO
- Valaisin #4, Spektrin sisältämä valonlähde: SPECTRUM

Tulokset analysoitiin erinäisten tilastotieteen tarjoamien tunnuslukujen avulla. Tilastotiede on tieteenala, joka tarjoaa menetelmiä muun muassa mittaustulosten analysointiin, kuvaamiseen ja soveltamiseen. Siksi sen menetelmiä käytetään lähes kaikilla tieteenaloilla. (Nummenmaa, 2004.)

11.2 Tilastolliset tunnusluvut

Seuraavassa on kuvattu käytetyt tunnusluvut sekä niiden tarkoitus. Tunnuslukujen pohjalta muodostettiin erinäisiä johtopäätöksiä sekä suosituksia jatkotoimenpiteille.

Keskiarvo, $\bar{x}$

Aritmeettinen keskiarvo kuvaa minkä suuruisia havaintoarvot kutakuinkin ovat. Sillä voidaan myös osoittaa odotusarvoa. Aritmeettinen keskiarvo lasketaan kaavalla:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

(Nummenmaa, 2004).

Satunnaisvaihtelu, Δx

Simulaatioiden satunnaisvaihtelua arvioitiin tutkimalla mittausten ääriarvoja. Satunnaisvaihtelu laskettiin kaavalla:

$$\Delta x = \max(\frac{\sum \Delta x_{max} - \Delta x_{min}}{2})$$

11.3 Analyysien tulokset

11.3.1 kokonaisvalonmäärä

Kokonaisvalonmäärää, toiselta nimeltään valovirtaa, analysoitiin kahdella tapaa. Ensin verrattiin Goniometrimittausraportteissa ilmaistua kokonaisvalon määrää simuloinneissa referenssivalaisimesta mitattuihin valovirtoihin. Odotusarvoisesti poikkeamat tuli olla hyvin pieniä koska tällä vertailulla todennettiin, että virtuaalinen valonlähde (EULUM) tuottaa saman verran valoa kuin laboratoriossa mitattiin. Tulokset olivat odotetunlaisia, kuten taulukosta 3 ilmenee.

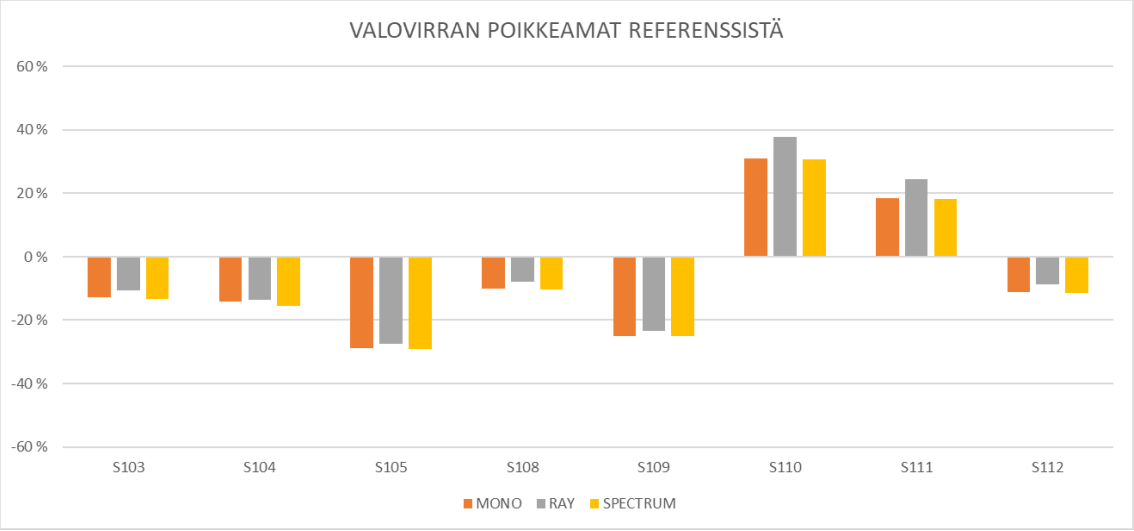
Taulukko 3 Kokonaisvalonmäärä: laboratoriomittaukset versus simulaatiot

MATERIAALI	GONIOMETRIMITTAUS (lm)	SIMULOINTIMALLI (lm)	ERO
S103	307,7	305,6	0,7%
S104	293,7	291,4	0,8%
S105	278,6	276,2	0,9%
S108	228,6	226,7	0,8%
S109	190,7	189,1	0,8%
S110	296,5	293,1	1,1%
S111	325,1	322,8	0,7%
S112	273,5	270,9	1,0%

Seuraavaksi analysoitiin simulaatiotuloksia referenssivalon ja muiden valonlähteiden välillä. Tulokset on kuvattu numeerisesti taulukossa 4 sekä poikkeamien suuruus graafisesti kuvassa 17.

Taulukko 4 Kokonaisvalonmäärä

MATE-RIAALI	EULUM (lm)	MONO (lm)	RAY (lm)	SPECT-RUM (lm)	MONO (ero)	RAY (ero)	SPECT-RUM (ero)
S103	244	213	218	211	-13 %	-11 %	-13 %
S104	228	195	197	192	-14 %	-13 %	-16 %
S105	211	150	153	150	-29%	-27%	-29%
S108	171	154	158	154	-10%	-8%	-10%
S109	143	107	109	107	-25%	-23%	-25%
S110	235	308	328	307	31%	38%	31%
S111	260	308	324	307	18%	25%	18%
S112	218	194	199	193	-11%	-9%	-11%



Kuva 17 Kokonaisvalovirrat kupumateriaaleittain sekä eri valonlähdemäärityksin suhteessa referenssiin

Tulosten perusteella kupumateriaalin ollessa Polykarbonaattia simuloineista saadut tulokset olivat valovirraltaan heikompia kuin referenssi, ja toisaalta lasisten kupumateriaalien kanssa simuloidut tulokset olivat suurempia. Pelkästään valovirran pohjalta tuloksista ei voinut vielä johtaa tarkkoja päätelmiä. mutta nähtävissä oli, että poikkeamat olivat merkittäviä. Eri valonlähde tyyppien välillä erot olivat pieniä.

11.3.2 Valaistusvoimakkuus ja satunnaisvaihtelu

Valaistusvoimakkuutta arvioitiin mittapisteiden #2-18 keskiarvojen pohjalta. Tulokset on ilmaistu taulukosta 5. Kuten oli odotettavissa, valaistusvoimakkuus korreloi vahvasti kokonaisvalonmäärän kanssa.

Satunnaisvaihtelua varten kustakin mittapisteestä tutkittiin eroja eri simulaatioajojen välillä. Näiden perusteella jokaiselle mittapisteelle laskettiin symmetrinen vaihteluväli ja taulukon 5 tuloksiin valittiin suurin arvo kustakin vertailujoukosta. Vaihteluvälit olivat suhteellisen pieniä, mikä oli indikointi siitä, että simuloinnissa käytetty säteiden määrä oli riittävällä tasolla. Vaihteluväliä voidaan pienentää entisestään simulaatiossa säteiden määrää kasvattamalla, toisaalta sen kasvattaa simulointiin kuluvaa aikaa.

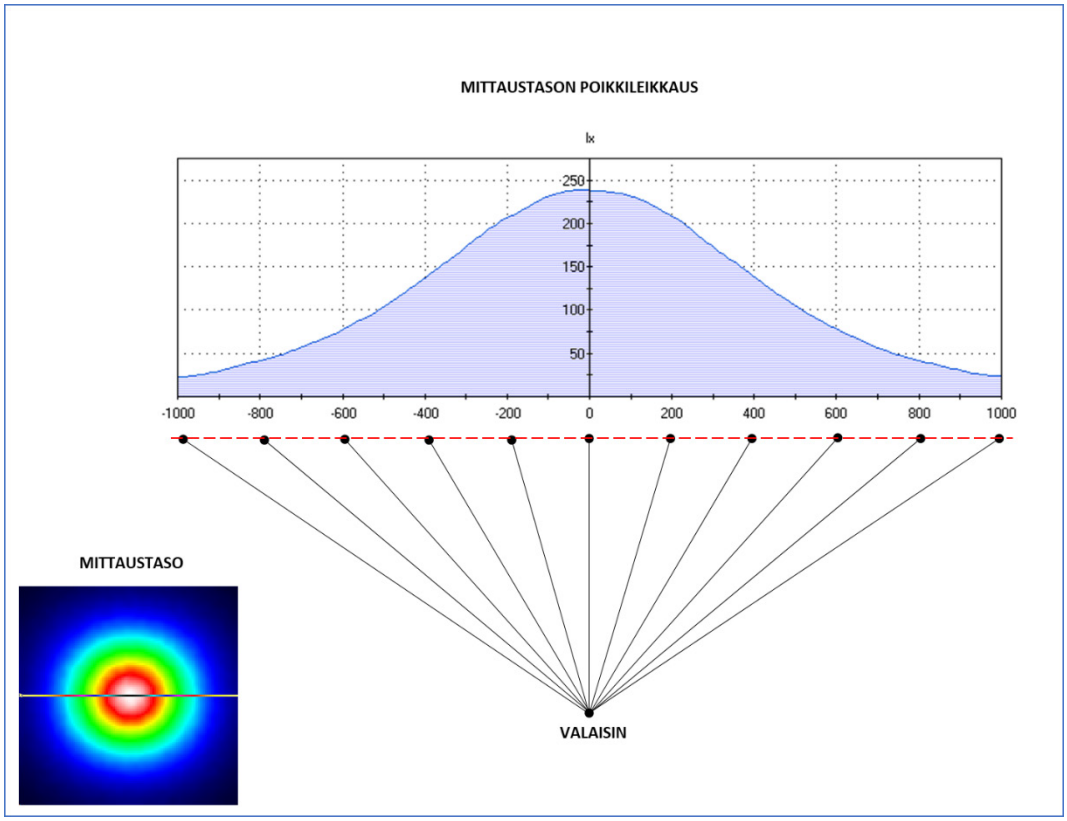
Taulukko 5 Valaistusvoimakkuudet ja niiden satunnaisvaihtelut

MATERIAALI	EULUM (lx)	MONO (lx)	RAY (lx)	SPECTRUM (lx)
S103	133 ±1,4	117 ±2,1	120 ±1,4	116 ±1,4
S104	123 ±1,4	106 ±1,8	107 ±1,3	104 ±1,2
S105	112 ±1,2	79 ±1,3	80 ±1	78 ±0,8
S108	89 ±1,4	82 ±1	84 ±1,8	82 ±1,2
S109	75 ±1	56 ±1,1	58 ±1	56 ±0,9
S110	129 ±1,2	157 ±1,9	167 ±1,2	157 ±1,9
S111	141 ±1,6	157 ±1,8	167 ±1,4	157 ±1,8
S112	120 ±1	107 ±1,8	110 ±1,4	107 ±1,3

11.3.3 Valaistusvoimakkuus eri avautumiskulmissa

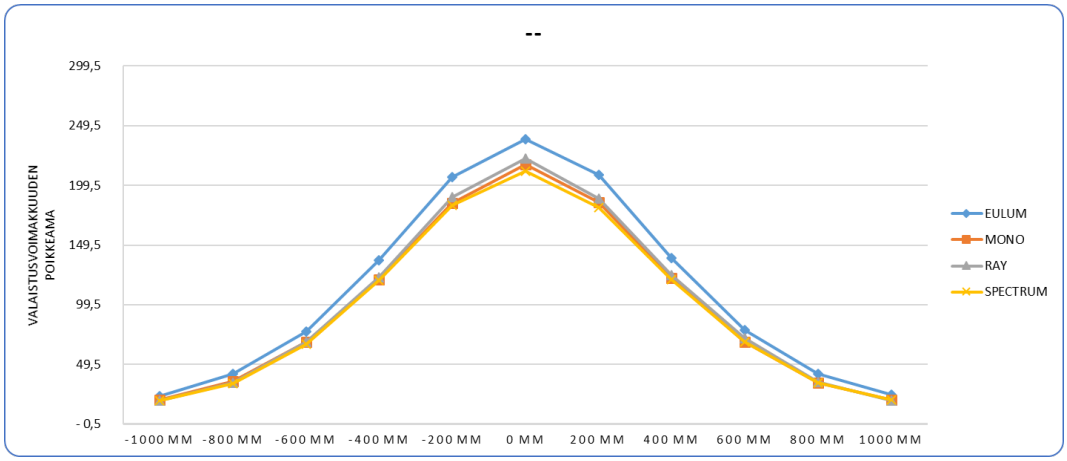
Kun tarkasteltiin mittaustason keskeltä otetun poikkileikkauksen suhteellisia poikkeamia useammasta pisteestä, voitiin nähdä miten poikkeamat vaihtelevat eri kohdissa mittaustasoa. Negatiiviset luvut tarkoittavat, että simulointitulokset ovat pienempiä kuin referenssivalosta saadut, ja taas positiiviset suurempia. Ideaalitilanteessa poikkeamat ovat nolla prosenttia tai lähellä sitä.

Datan kerääminen ja analysointi tapahtuivat vaiheittain. Jokaisen simuloinnin kohdalla, jokaisella materiaalilla sekä valonlähteellä on oma mittaustasonsa, joista voitiin ottaa poikkileikkaus kuvaamaan valon voimakkuutta mittaustason eri kohdissa.



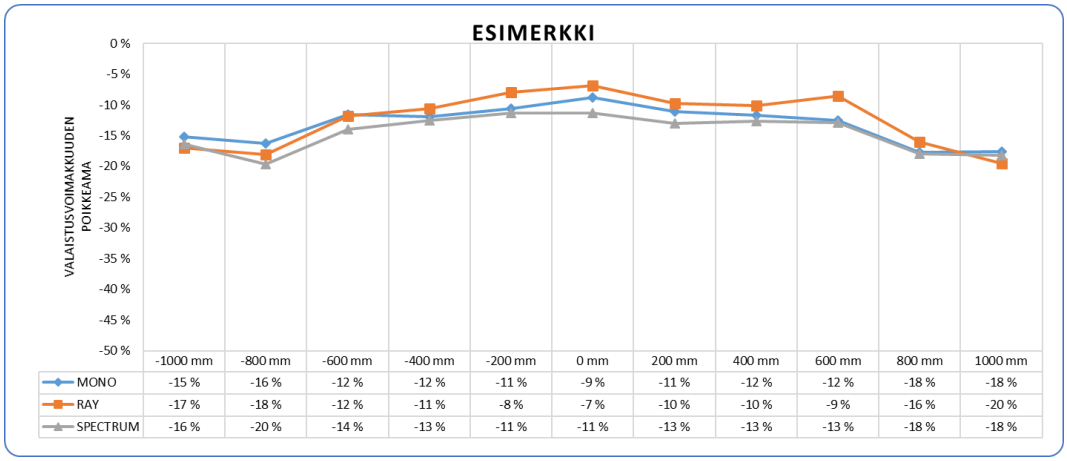
Kuva 18 Vaihe1: Otetaan mittaustasoilta poikkileikkaus

Tarkempaa analyysia varten kustakin graafista luettiin yksitoista pistettä, aina samoista koordinaateista. Näistä muodostui vertailukelpoinen aineisto eri valonlähteiden kesken.



Kuva 19 Vaihe2: kerätään mittausdata jokaisesta pisteestä

Lopullisia tuloksia varten verrattiin valonlähteitä MONO, RAY ja SPECTRUM referenssivalonlähteeseen EULUM. Tulokset on esitetty suhteellisena poikkeamana kussakin pisteessä sekä graafisesti että taulukkomuodossa kunkin kupumateriaalin osalta kuvan 20 mukaisesti.



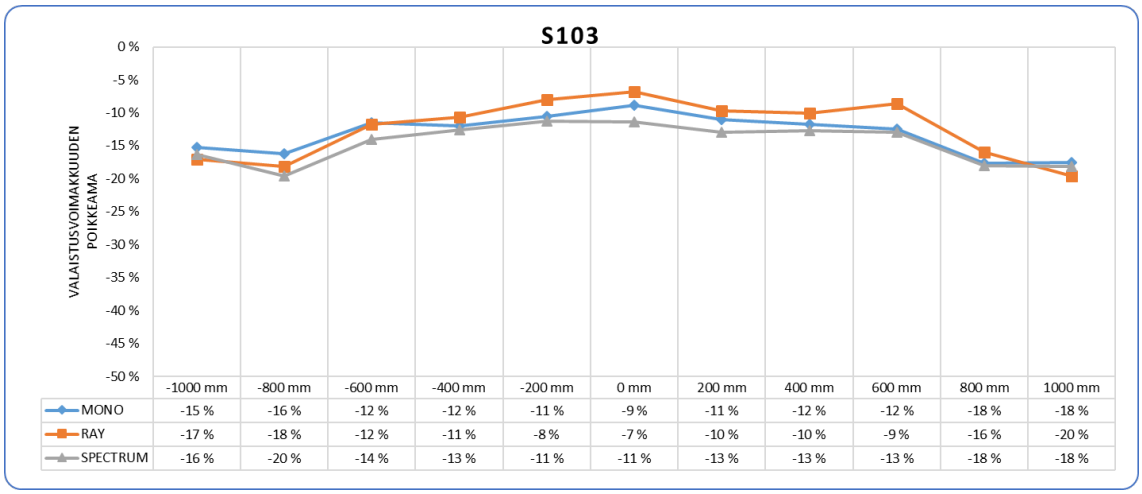
	-1000 mm	-800 mm	-600 mm	-400 mm	-200 mm	0 mm	200 mm	400 mm	600 mm	800 mm	1000 mm
MONO	-15 %	-16 %	-12 %	-12 %	-11 %	-9 %	-11 %	-12 %	-12 %	-18 %	-18 %
RAY	-17 %	-18 %	-12 %	-11 %	-8 %	-7 %	-10 %	-10 %	-9 %	-16 %	-20 %
SPECTRUM	-16 %	-20 %	-14 %	-13 %	-11 %	-11 %	-13 %	-13 %	-13 %	-18 %	-18 %

Kuva 20 Vaihe3: Vertailu referenssiin nähden

Seuraavassa kuvissa 21 – 28 on esitetty suhteelliset poikkeamat määritellyistä pisteistä kunkin kupumateriaalin osalta, ennen jälkikäsittelyä. Tuloksista voitiin tehdä seuraavia johtopäätöksiä:

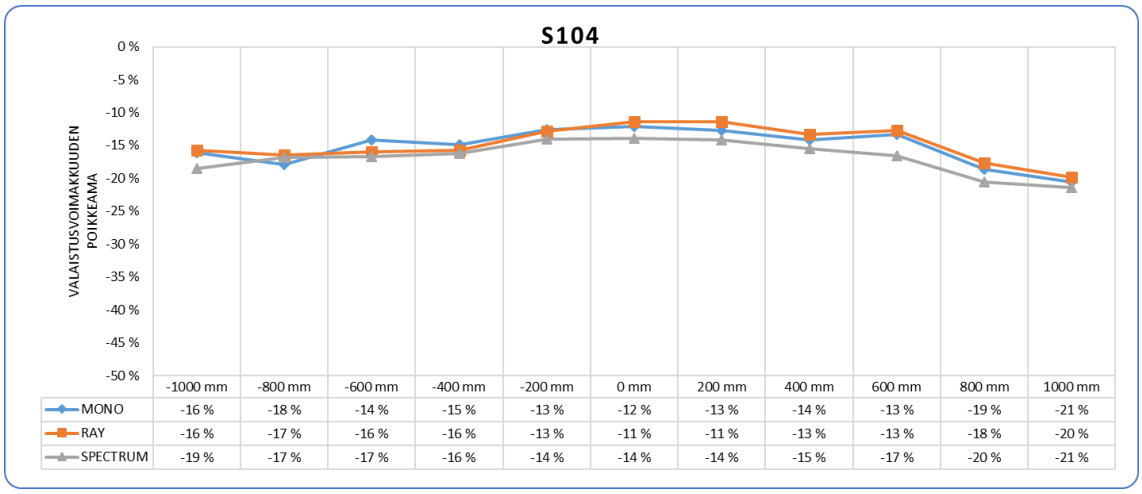
- Kaikkien materiaalien osalta simulaatiotulokset poikkeavat suhteellisen paljon referenssivalosta ennen jälkikäsittelyä.
- Materiaaleilla S103, S104, S105, S109 poikkeama on jotakuinkin lineaarista koko mittaustason matkalta. Simulaatioiden jälkikäsittelyn yhteydessä on helppo tehdä lineaarisia korjauksia joko ylös tai alaspäin. Tämän korjauksen myötä näiden materiaalien osalta päädytään hyvään tarkkuuteen.
- Materiaalien S110 ja S111 määrittelyt simulaatioympäristöön ovat epäonnistuneet siinä määrin että niiden käyttöä on syytä tällaisenaan välttää.
- Materiaalit S108 ja S112 sijoittuvat ylläolevien tapausten välimaastoon. Jälkikäsittelyn avulla päästään kuitenkin tyydyttävään tarkkuuteen.

Suhteelliset poikkeamat jälkikäsittelyn jälkeen on esitetty kappaleen lopussa.



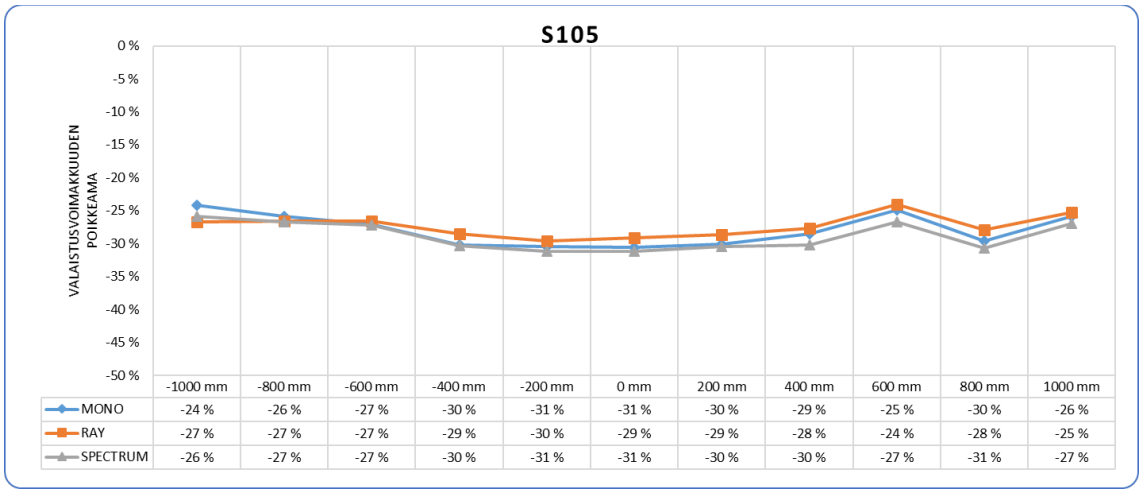
	-1000 mm	-800 mm	-600 mm	-400 mm	-200 mm	0 mm	200 mm	400 mm	600 mm	800 mm	1000 mm
MONO	-15 %	-16 %	-12 %	-12 %	-11 %	-9 %	-11 %	-12 %	-12 %	-18 %	-18 %
RAY	-17 %	-18 %	-12 %	-11 %	-8 %	-7 %	-10 %	-10 %	-9 %	-16 %	-20 %
SPECTRUM	-16 %	-20 %	-14 %	-13 %	-11 %	-11 %	-13 %	-13 %	-13 %	-18 %	-18 %

Kuva 21 Valaistusvoimakkuuden erot eri avautumiskulmissa. Kupumateriaali S103



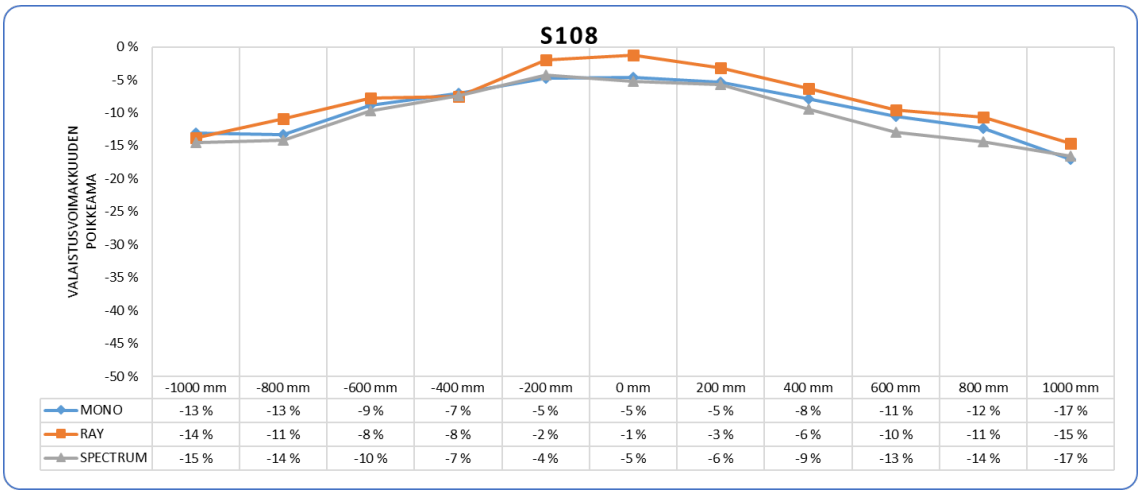
	-1000 mm	-800 mm	-600 mm	-400 mm	-200 mm	0 mm	200 mm	400 mm	600 mm	800 mm	1000 mm
MONO	-16 %	-18 %	-14 %	-15 %	-13 %	-12 %	-13 %	-14 %	-13 %	-19 %	-21 %
RAY	-16 %	-17 %	-16 %	-16 %	-13 %	-11 %	-11 %	-13 %	-13 %	-18 %	-20 %
SPECTRUM	-19 %	-17 %	-17 %	-16 %	-14 %	-14 %	-14 %	-15 %	-17 %	-20 %	-21 %

Kuva 22 Valaistusvoimakkuuden erot eri avautumiskulmissa. Kupumateriaali S104



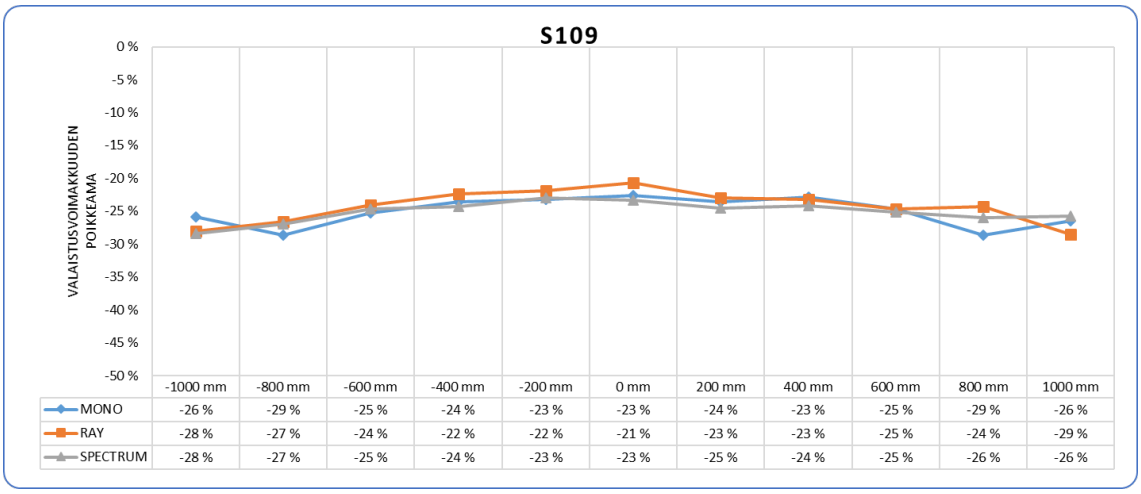
	-1000 mm	-800 mm	-600 mm	-400 mm	-200 mm	0 mm	200 mm	400 mm	600 mm	800 mm	1000 mm
MONO	-24 %	-26 %	-27 %	-30 %	-31 %	-31 %	-30 %	-29 %	-25 %	-30 %	-26 %
RAY	-27 %	-27 %	-27 %	-29 %	-30 %	-29 %	-29 %	-28 %	-24 %	-28 %	-25 %
SPECTRUM	-26 %	-27 %	-27 %	-30 %	-31 %	-31 %	-30 %	-30 %	-27 %	-31 %	-27 %

Kuva 23 Valaistusvoimakkuuden erot eri avautumiskulmissa. Kupumateriaali S105



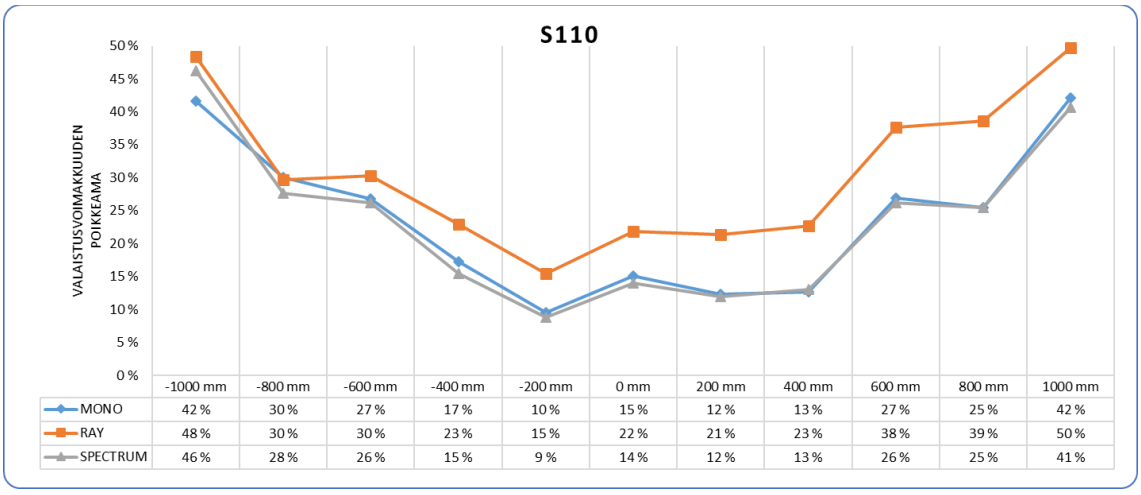
	-1000 mm	-800 mm	-600 mm	-400 mm	-200 mm	0 mm	200 mm	400 mm	600 mm	800 mm	1000 mm
MONO	-13 %	-13 %	-9 %	-7 %	-5 %	-5 %	-5 %	-8 %	-11 %	-12 %	-17 %
RAY	-14 %	-11 %	-8 %	-8 %	-2 %	-1 %	-3 %	-6 %	-10 %	-11 %	-15 %
SPECTRUM	-15 %	-14 %	-10 %	-7 %	-4 %	-5 %	-6 %	-9 %	-13 %	-14 %	-17 %

Kuva 24 Valaistusvoimakkuuden erot eri avautumiskulmissa. Kupumateriaali S108



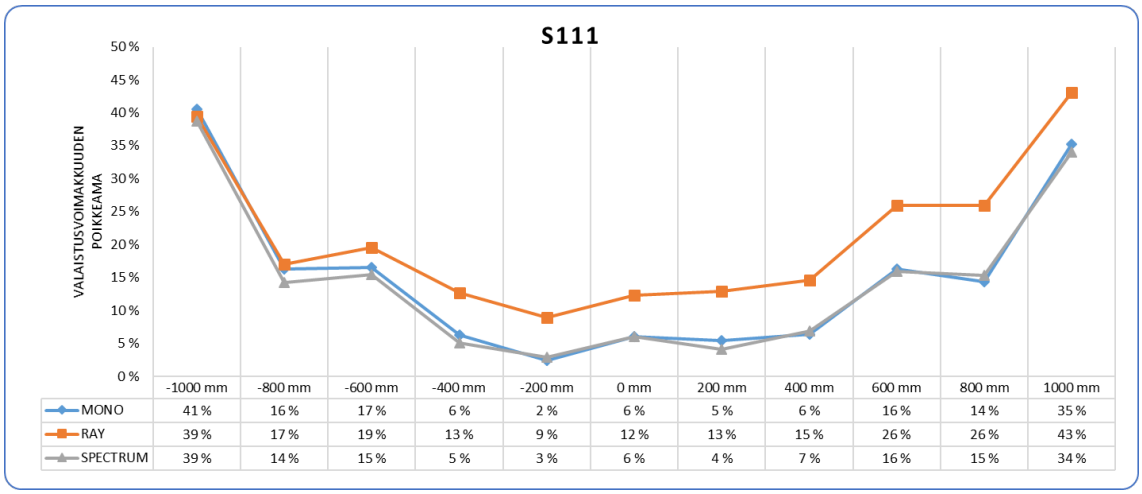
	-1000 mm	-800 mm	-600 mm	-400 mm	-200 mm	0 mm	200 mm	400 mm	600 mm	800 mm	1000 mm
MONO	-26 %	-29 %	-25 %	-24 %	-23 %	-23 %	-24 %	-23 %	-25 %	-29 %	-26 %
RAY	-28 %	-27 %	-24 %	-22 %	-22 %	-21 %	-23 %	-23 %	-25 %	-24 %	-29 %
SPECTRUM	-28 %	-27 %	-25 %	-24 %	-23 %	-23 %	-25 %	-24 %	-25 %	-26 %	-26 %

Kuva 25 Valaistusvoimakkuuden erot eri avautumiskulmissa. Kupumateriaali S109



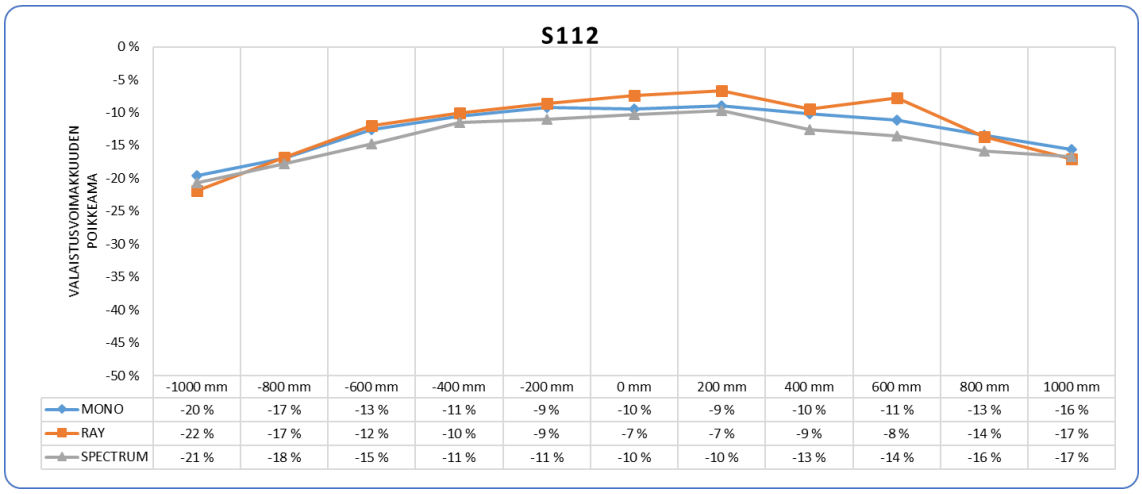
	-1000 mm	-800 mm	-600 mm	-400 mm	-200 mm	0 mm	200 mm	400 mm	600 mm	800 mm	1000 mm
MONO	42 %	30 %	27 %	17 %	10 %	15 %	12 %	13 %	27 %	25 %	42 %
RAY	48 %	30 %	30 %	23 %	15 %	22 %	21 %	23 %	38 %	39 %	50 %
SPECTRUM	46 %	28 %	26 %	15 %	9 %	14 %	12 %	13 %	26 %	25 %	41 %

Kuva 26 Valaistusvoimakkuuden erot eri avautumiskulmissa. Kupumateriaali S110



	-1000 mm	-800 mm	-600 mm	-400 mm	-200 mm	0 mm	200 mm	400 mm	600 mm	800 mm	1000 mm
MONO	41 %	16 %	17 %	6 %	2 %	6 %	5 %	6 %	16 %	14 %	35 %
RAY	39 %	17 %	19 %	13 %	9 %	12 %	13 %	15 %	26 %	26 %	43 %
SPECTRUM	39 %	14 %	15 %	5 %	3 %	6 %	4 %	7 %	16 %	15 %	34 %

Kuva 27 Valaistusvoimakkuuden erot eri avautumiskulmissa. Kupumateriaali S111



	-1000 mm	-800 mm	-600 mm	-400 mm	-200 mm	0 mm	200 mm	400 mm	600 mm	800 mm	1000 mm
MONO	-20 %	-17 %	-13 %	-11 %	-9 %	-10 %	-9 %	-10 %	-11 %	-13 %	-16 %
RAY	-22 %	-17 %	-12 %	-10 %	-9 %	-7 %	-7 %	-9 %	-8 %	-14 %	-17 %
SPECTRUM	-21 %	-18 %	-15 %	-11 %	-11 %	-10 %	-10 %	-13 %	-14 %	-16 %	-17 %

Kuva 28 Valaistusvoimakkuuden erot eri avautumiskulmissa. Kupumateriaali S112

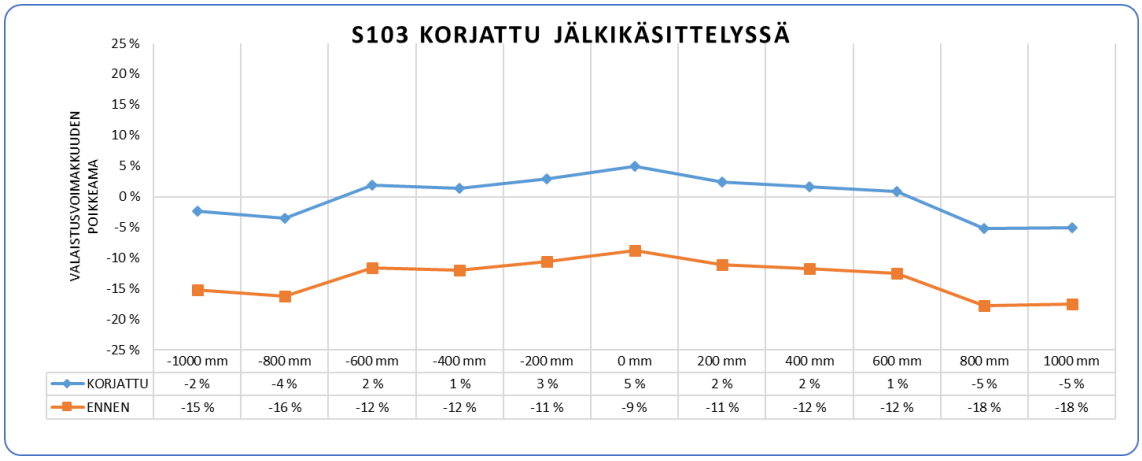
Jälkikäsittelyn yhteydessä tehdyn lineaarikorjauksen tarkoituksena oli saattaa valonlähteen poikkeamien keskiarvo samalle tasolle kuin referenssivalaisin. Korjauskerroin voidaan laskea kaavalla:

$$\mathrm{KK} = \frac{1}{1 + \overline{x}_{poik}}$$

Missä KK on saatu korjauskerroin ja $\overline{x}_{poik}$ on valonlähteen suhteellisten poikkeamien keskiarvo. Korjaukset laskettiin vain MONO valonlähteelle, sillä kuten myöhempänä todetaan, sen käyttö on suositeltavaa. Taulukko 6 ilmaisee maksimi poikkeamat kunkin materiaalin kohdalla. Kuva 29 osoittaa esimerkin omaisesti materiaalin S103 poikkeamat ennen ja jälkeen korjausten.

Taulukko 6 Suhteelliset poikkeamat lineaarikorjauksen jälkeen

MATERIAALI	KORJAUSKERROIN	MONO (keskiarvo)	MONO (min)	MONO (max)
S103	1,15	0,0 %	-5,2 %	5,0 %
S104	1,18	0,0 %	-6,4 %	3,6 %
S105	1,39	0,0 %	-3,6 %	5,2 %
S108	1,11	0,0 %	-8,3 %	5,4 %
S109	1,33	0,0 %	-4,9 %	3,2 %
S110	0,81	0,0 %	-11 %	15 %
S111	0,87	0,0 %	-11 %	22 %
S112	1,14	0,0 %	-8,1 %	4,0 %



Kuva 29 S103 poikkeamat ennen ja jälkeen jälkikäsittelyn

11.3.4 valonlähteiden eroavaisuudet

Valonlähteen määrityksillä MONO, RAY tai SPECTRUM ei ollut merkittävää vaikutusta. Näin ollen monokromaattista valonlähteen määritystä on suositeltavaa käyttää jatkossakin määrittelyn helppouden johdosta, ainakin yleisvalaistuksen simulointien yhteydessä. Erikoistapauksissa, kuten linssisuunnittelussa, voi olla järkevää määritellä valonlähde tarkemmin käyttäen valmistajan ray-dataa sekä valonlähteen oikeaa spektriä.

12 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kartoittaa uusien kupumateriaalien tarkkuus valosimulaatioissa, ja siinä onnistuttiin. Analyysien pohjalta voidaan nähdä, että uusiin, simulaatiota varten luotuihin materiaalimäärityksiin ei pidä sokeasti luottaa vaan niille on syytä tehdä omia todennusmittauksia ennen kuin ne otetaan tuotantokäyttöön. Tulokset eivät varsinaisesti yllätä, koska Teknoware ei pystynyt tarjoamaan simulaatiomalli toimittajalle riittäviä näytteitä, jotta he olisivat kyenneet luomaan täydellisiä virtuaalisia materiaalimalleja. Määrityksiin olisi vaadittu samaa materiaalia usealla ainevahvuudella sekä kiillotetulla- että toimituspinnanlaadulla. Näiden toimittaminen olisi kuitenkin kasvattanut kustannuksia kohtuuttomasta, vaadittavien työkalujen ja minimitilausmäärien johdosta. Tästä syystä uusien kupumateriaalien tuominen simulaatioihin tulee jatkossakin olemaan haastavaa, ellei sitten toimittajan päässä tapahdu kehitystä materiaalien mittausten osalta.

Ylläolevista vaikeuksista huolimatta jälkikäsittelyn tarve ja ennen kaikkea sen suuruus tuli yllätyksenä. Odotus oli, että tarkkuus olisi ollut parempi etenkin, kun simulaatioiden kompleksisuus oli pieni. Todellisessa suunnittelukäytössä simulaatiot ovat huomattavasti monimutkaisempia ja on perusteltua odottaa, että sen myötä simulaatioiden tarkkuus kärsii. Jatkossa tuleekin olemaan tärkeää kerätä mittausdata kentältä ja verrata sitä simulaatiomalleihin, jotta nähdään käytännön tasolla kuinka luotettavasti uudet materiaalit käyttäytyvät monimutkaisissa simulaatioissa.

Henkilökohtaisesti pidin työtä erittäin mielenkiintoinen ja opettavaisena. Teknoware ansaitsee suuret kiitokset työn mahdollistamisesta. Sain toteutukseen tarvittavan rahoituksen ja ohjauksen, mutta toisaalta myös vapauden suunnitella ja toteuttaa työ parhaaksi näkemälläni tavalla. Opin paljon uutta valosimuloinneista ja tiedon analysoinnista, sekä erinäisistä mittausmenetelmistä. Uskon että tämän opinnäytetyön pohjalta yritys tulee ottamaan simulointikäyttöön ainakin osan uusista materiaaleista, sekä jatkossa kiinnittämään erityistä huomiota uusien kupumateriaalien todennukseen ennen kelpuutusta simulointiympäristöön.

LÄHTEET

Teknopower 2018. Yrityksen verkkosivut [viitattu 1.11.2018]. Saatavissa: http://www.teknopower.fi/

Teknoware 2018. Company_presentation_EN_2018. Esite.

Ryer, Alexander 1997. Light Measurement Handbook 2. painos. Newburyport, USA: International Light, Inc.

Peltonen, H., Perkkiö, J., Vierinen, K. 2012. Insinöörin (AMK) Fysiikka osa II. 8. painos. Saarijärvi: Lahden Teho-Opetus Oy

Nummenmaa, Lauri 2004. Käyttäytymistieteiden tilastolliset menetelmät. 1. painos. Helsinki: Tammi

OPSIRA 2018a. Lightlab [viitattu 20.4.2018]. Opsira GmbH. Saatavissa: https://www.opsira.de/en/products/lightlab/lichtlabor-lichtmessungen.html

OPSIRA 2018b. Robogonio [viitattu 20.4.2018]. Opsira GmbH. Saatavissa: https://www.opsira.de/fileadmin/benutzerdaten/opsira-de/pdf/product_information_goniophotometer_robogonio_-_E_-_V00291715_-_opsira.pdf

OPTIS 2018. Yrityksen verkkosivut [viitattu 10.3.2018]. Saatavissa: https://www.optis-world.com/product-offering-light-simulation-virtual-reality-software/SPEOS

MONTE CARLO MENETELMÄ 2018. Wikipedia [viitattu 20.12.2018]. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_method#Use_in_mathematics

Fileinfo 2018. .RAY File Extension [viitattu 21.12.2018]. Saatavissa: https://fileinfo.com/extension/ray

ANSI. 2018. ANSI/IESNA LM-63-02 Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data.

SPEOS 2018. Welcome to SPEOS for SOLIDWORKS® User Guide [Viitattu 20.12.2018].

LIITTEET

Liite 1. Goniometrimittausraportti kupumateriaalille S103

opsira

report

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #103

Version: 1
Date: December 20th, 2017

opsira GmbH
Leibnizstraße 20
88250 Weingarten / Germany
Phone +49 751 561 890
Telefax +49 751 561 899
info@opsira.de
www.opsira.de

Südwestbank Ravensburg
BLZ 600 907 00
Konto 828 009 007
IBAN DE78600907000828009007
BIC SWBSDE55

Landesbank Baden-Württemberg
BLZ 600 501 01
Konto 450 30 15
IBAN DE04600501010004503015
BIC SOLADEST

Geschäftsführung
General Managers
Volker Schumacher
Jürgen F. Weißhaar
HRB 552042 AG Ulm
VAT DE201444158

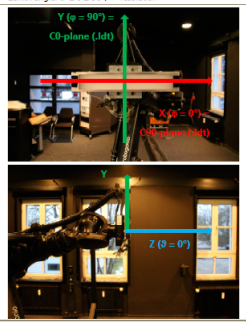
1 General Information

Project No:	P17464817
Client:	Mr Janne Jantunen, TEKNOWARE OY
Project Manager:	Jan Fessler
Version / Date:	1 / December 20th, 2017

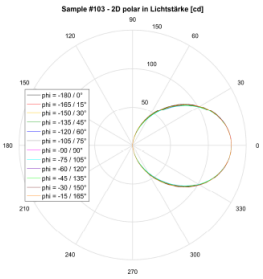
2 Sample

Manufacturer:	TEKNOWARE OY
Name of test sample:	#103
Serial No:	#103
Light Source:	LED
Total luminous flux of light source:	Na
Length:	83 mm
Width:	447 mm
Depth:	25 mm
Light emitting area (LxW):	2 x 62 mm x 190 mm
Light emitting area (D):	na mm
Photo:	

3 Measurement Condition

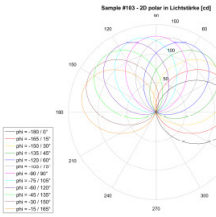
Date of measurement:	December 14th 2017
Laboratory:	Lab 3 (Multifunctional lightlab), opsira GmbH
Measurement device/ Goniometer:	robogonio mrg-16 LG0070112
Detectors:	Photometer frc-f-l
Power supply:	DC: IT 6952A, Serial-No.: 600543010697720014
Power measuring device:	LMG95e, Serial-No.: 01951407
Distance of measurement:	10 m
Angle range:	Azimuth angle: -180 ≤ φ ≤ 180°, 15° resolution Zenith angle: 0 ≤ ϑ ≤ 90°, 1° resolution
Alignment:	
Results:	Light distribution in .xls, .ldt and .ies

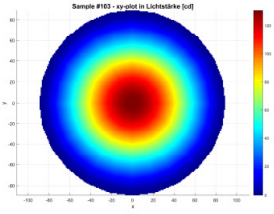
4 Results

Ambient temperature:	21.68 °C ± 3K
Ambient humidity	31.31 % ± 3%
Current:	171.7 mA
Voltage:	24.00 V
Power:	4.12 W
Stoving time:	Ca. 30 min
Total luminous flux Φ_{tot}:	307.69 lm
Luminous intensity in center I_0:	130.46 cd
Max. luminous intensity I_{max}:	130.56 cd @ φ = 150 °, ϑ = 0 °
Color temperature CRI:	na K
Color rendering index R_a:	Na
CIE color coordinates:	x = na, y = na
Light emitting efficiency of luminaire:	74.68 lm/W
Light output ratio μ:	na lm/lm
Photos:	

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #103





Measurement data:	See below

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #103

Liite 2. Goniometrimittausraportti kupumateriaalille S104

opsira

report

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #104

Version: 1

Date: December 20th, 2017

opsira GmbH
Leibnizstraße 20
88250 Weingarten / Germany
Phone +49 751 561 890
Telefax +49 751 561 899
info@opsira.de
www.opsira.de

Südwestbank Ravensburg
BLZ 600 907 00
Konto 828 009 007
IBAN DE78600907000828009007
BIC SWBSDE5S

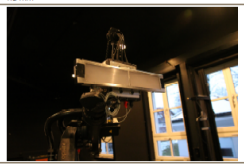
Landesbank Baden-Württemberg
BLZ 600 501 01
Konto 450 30 15
IBAN DE04600501010004503015
BIC SOLADEST

Geschäftsführung
General Managers
Volker Schumacher
Jürgen P. Weißhaar
HRB 552042 AG Ulm
VAT DE201444158

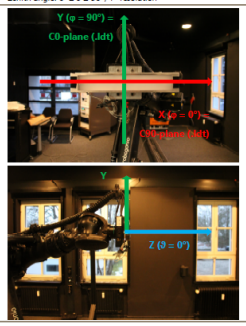
1 General Information

Project No:	P17464817
Client:	Mr Janne Jantunen, TEKNOWARE OY
Project Manager:	Jan Fessler
Version / Date:	1 / December 20th, 2017

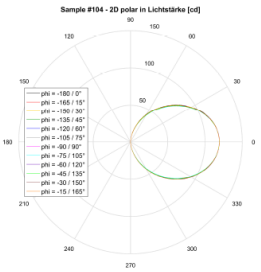
2 Sample

Manufacturer:	TEKNOWARE OY
Name of test sample:	#104
Serial No:	#104
Light Source:	LED
Total luminous flux of light source:	Na
Length:	83 mm
Width:	447 mm
Depth:	25 mm
Light emitting area (LxW):	2 x 62 mm x 190 mm
Light emitting area (D):	na mm
Photo:	

3 Measurement Condition

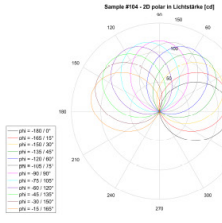
Date of measurement:	December 14th 2017
Laboratory:	Lab 3 (Multifunctional lightlab), opsira GmbH
Measurement device/ Goniometer:	robogonio mrg-16 LG0070112
Detectors:	Photometer frc-f-l
Power supply:	DC: IT 6952A, Serial-No.: 600543010697720014
Power measuring device:	LMG95e, Serial-No.: 01951407
Distance of measurement:	10 m
Angle range:	Azimuth angle: -180 ≤ φ ≤ 180°, 15° resolution Zenith angle: 0 ≤ ϑ ≤ 90°, 1° resolution
Alignment:	
Results:	Light distribution in .xls, .ldt and .ies

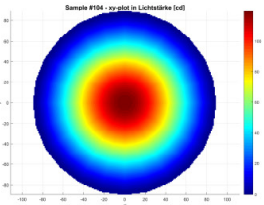
4 Results

Ambient temperature:	21.8 °C ± 3K
Ambient humidity	31.3 % ± 3%
Current:	171.64 mA
Voltage:	24.00 V
Power:	4.12 W
Stoving time:	Ca. 30 min
Total luminous flux Φ_{tot}:	293.71 lm
Luminous intensity in center I_0:	119.25 cd
Max. luminous intensity I_{max}:	119.38 cd @ φ = 30 °, ϑ = 0 °
Color temperature CRI:	na K
Color rendering index R_a:	Na
CIE color coordinates:	x = na, y = na
Light emitting efficiency of luminaire:	71.29 lm/W
Light output ratio μ:	na lm/lm
Photos:	

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #104

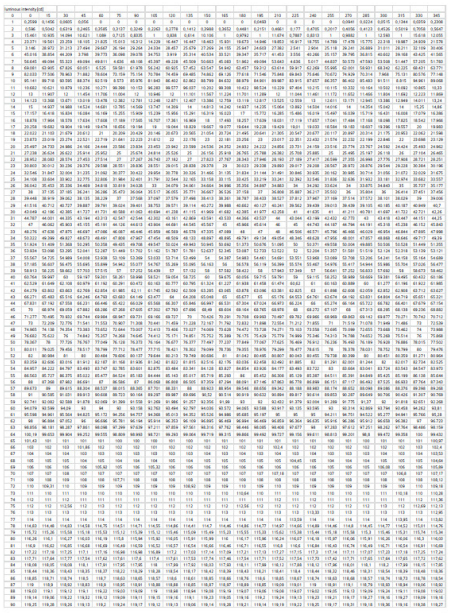




Measurement data:	See below

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #104



Liite 3. Goniometrimittausraportti kupumateriaalille S105

opsira

report

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #105

Version: 1
Date: December 20th, 2017

opsira GmbH
Leibnizstraße 20
88250 Weingarten / Germany
Phone +49 751 561 890
Telefax +49 751 561 899
info@opsira.de
www.opsira.de

Südwestbank Ravensburg
BLZ 600 907 00
Konto 828 009 007
IBAN DE78600907000828009007
BIC SWBSDESS

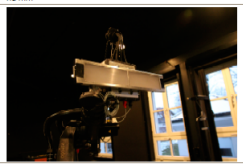
Landesbank Baden-Württemberg
BLZ 600 501 01
Konto 450 30 15
IBAN DE04600501010004503015
BIC SOLADEST

Geschäftsführung
General Managers:
Volker Schumacher
Jürgen P. Weißhaar
HRB 552042 AG Ulm
VAT DE201444158

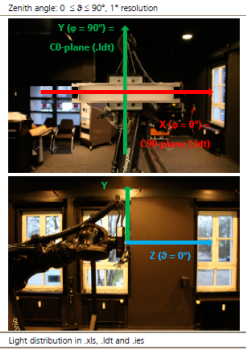
1 General Information

Project No:	P17464817
Client:	Mr Janne Jantunen, TEKNOWARE OY
Project Manager:	Jan Fessler
Version / Date:	1 / December 20th, 2017

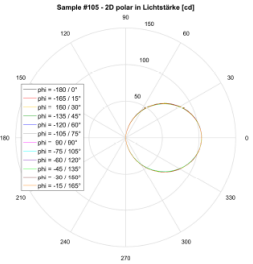
2 Sample

Manufacturer:	TEKNOWARE OY
Name of test sample:	#105
Serial No:	#105
Light Source:	LED
Total luminous flux of light source:	Na
Length:	83 mm
Width:	447 mm
Depth:	25 mm
Light emitting area (LxW):	2 x 62 mm x 190 mm
Light emitting area (D):	na mm
Photo:	

3 Measurement Condition

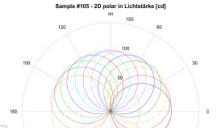
Date of measurement:	December 14th 2017
Laboratory:	Lab 3 (Multifunctional lightlab), opsira GmbH
Measurement device/ Goniometer:	robogonio mrg-16 LG0070112
Detectors:	Photometer frc-f-I
Power supply:	DC: IT 6952A, Serial-No.: 600543010697720014
Power measuring device:	LMG95e, Serial-No.: 01951407
Distance of measurement:	10 m
Angle range:	Azimuth angle: -180 ≤ φ ≤ 180°, 15° resolution Zenith angle: 0 ≤ ϑ ≤ 90°, 1° resolution
Alignment:	
Results:	Light distribution in .xls, .ldt and .ies

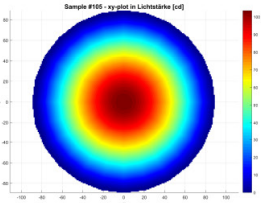
4 Results

Ambient temperature:	21.9 °C ± 3K
Ambient humidity	31.3 % ± 3%
Current:	171.5 mA
Voltage:	24.00 V
Power:	4.12 W
Stoving time:	Ca. 30 min
Total luminous flux Φ_m:	278.62 lm
Luminous intensity in center I_v:	103.38 cd
Max. luminous intensity I_{max}:	103.58 cd @ φ = 135 °, ϑ = 0 °
Color temperature CRI:	na K
Color rendering index R_i:	Na
CIE color coordinates:	x = na, y = na
Light emitting efficiency of luminaire:	67.63 lm/W
Light output ratio μ:	na lm/lm
Photos:	

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #105

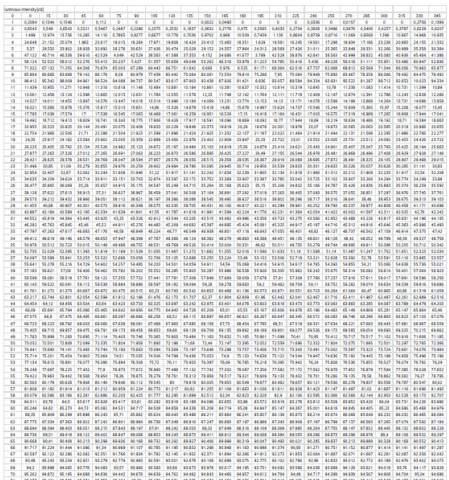




Measurement data:	See below

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #105



Liite 4. Goniometrimittausraportti kupumateriaalille S108

opsira

report

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #108

Version: 1
Date: December 20th, 2017

opsira GmbH
Leibnizstraße 20
88250 Weingarten / Germany
Phone +49 751 561 890
Telefax +49 751 561 899
info@opsira.de
www.opsira.de

Südwestbank Ravensburg
BLZ 600 907 00
Konto 828 009 007
IBAN DE78600907000828009007
BIC SWBSDE55

Landesbank Baden-Württemberg
BLZ 600 501 01
Konto 450 30 15
IBAN DE04600501010004503015
BIC SOLADEST

Geschäftsführung
General Managers
Volker Schumacher
Jürgen P. Weißhaar
HRB 552043 AG Ulm
VAT DE201444158

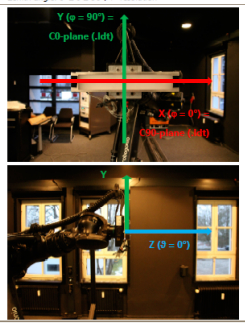
1 General Information

Project No:	P17464817
Client:	Mr Janne Jantunen, TEKNOWARE OY
Project Manager:	Jan Fessler
Version / Date:	1 / December 20th, 2017

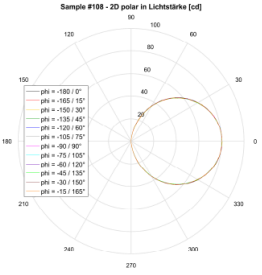
2 Sample

Manufacturer:	TEKNOWARE OY
Name of test sample:	#108
Serial No:	#108
Light Source:	LED
Total luminous flux of light source:	Na
Length:	83 mm
Width:	447 mm
Depth:	25 mm
Light emitting area (LxW):	2 x 62 mm x 190 mm
Light emitting area (D):	na mm
Photo:	

3 Measurement Condition

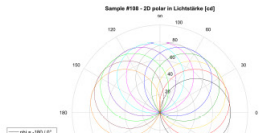
Date of measurement:	December 14th 2017
Laboratory:	Lab 3 (Multifunctional lightlab), opsira GmbH
Measurement device/ Goniometer:	robogonio mrg-16 LG0070112
Detectors:	Photometer frc-f-I
Power supply:	DC: IT 6952A, Serial-No.: 600543010697720014
Power measuring device:	LMG95e, Serial-No.: 01951407
Distance of measurement:	10 m
Angle range:	Azimuth angle: -180 ≤ φ ≤ 180°, 15° resolution Zenith angle: 0 ≤ ϑ ≤ 90°, 1° resolution
Alignment:	
Results:	Light distribution in .xls, .ldt and .ies

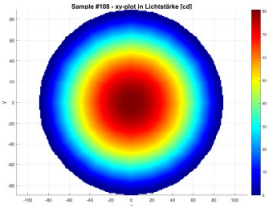
4 Results

Ambient temperature:	21.84 °C ± 3K
Ambient humidity	31.4 % ± 3%
Current:	171.4 mA
Voltage:	24.00 V
Power:	4.11 W
Stoving time:	Ca. 30 min
Total luminous flux Φ_m:	228.61 lm
Luminous intensity in center I_v:	80.48 cd
Max. luminous intensity I_{max}:	80.71 cd @ φ = -150 °, ϑ = 1 °
Color temperature CRI:	na K
Color rendering index R_i:	Na
CIE color coordinates:	x = na, y = na
Light emitting efficiency of luminaire:	55.62 lm/W
Light output ratio μ:	na lm/lm
Photos:	

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #108

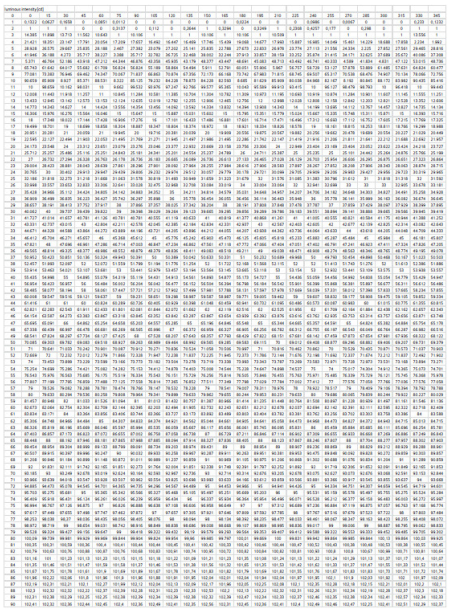




Measurement data: See below

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #108



Liite 5. Goniometrimittausraportti kupumateriaalille S109

opsira

report

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #109

Version: 1
Date: December 20th, 2017

opsira GmbH
Leibnizstraße 20
88250 Weingarten / Germany
Phone +49 751 561 890
Telefax +49 751 561 899
info@opsira.de
www.opsira.de

Südwestbank Ravensburg
BLZ 600 907 00
Konto 828 009 007
IBAN DE78600907000828009007
BIC SWBSDESS

Landesbank Baden-Württemberg
BLZ 600 501 01
Konto 450 30 15
IBAN DE04600501010004503015
BIC SOLADEST

Geschäftsführung
General Managers
Volker Schumacher
Jürgen P. Weißhaar
HRB 552042 AG Ulm
VAT DE201444158

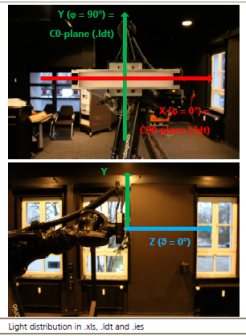
1 General Information

Project No:	P17464817
Client:	Mr Janne Jantunen, TEKNOWARE OY
Project Manager:	Jan Fessler
Version / Date:	1 / December 20th, 2017

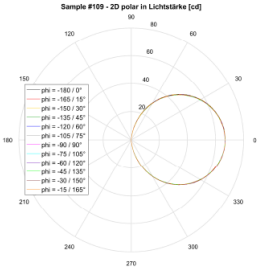
2 Sample

Manufacturer:	TEKNOWARE OY
Name of test sample:	#109
Serial No:	#109
Light Source:	LED
Total luminous flux of light source:	Na
Length:	83 mm
Width:	447 mm
Depth:	25 mm
Light emitting area (LxW):	2 x 62 mm x 190 mm
Light emitting area (D):	na mm
Photo:	

3 Measurement Condition

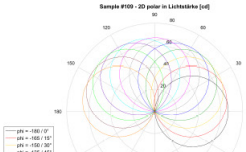
Date of measurement:	December 14th 2017
Laboratory:	Lab 3 (Multifunctional lightlab), opsira GmbH
Measurement device/ Goniometer:	robogonio mrg-16 LG0070112
Detectors:	Photometer frc-f-I
Power supply:	DC: IT 6952A, Serial-No.: 600543010697720014
Power measuring device:	LMG95e, Serial-No.: 01951407
Distance of measurement:	10 m
Angle range:	Azimuth angle: -180 ≤ φ ≤ 180°, 15° resolution Zenith angle: 0 ≤ ϑ ≤ 90°, 1° resolution
Alignment:	
Results:	Light distribution in .xls, .ldt and .ies

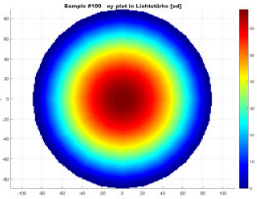
4 Results

Ambient temperature:	21.89 °C ± 3K
Ambient humidity	31.5 % ± 3%
Current:	171.4 mA
Voltage:	24.00 V
Power:	4.11 W
Stoving time:	Ca. 30 min
Total luminous flux Φ_{tot}:	190.73 lm
Luminous intensity in center I_0:	66.91 cd
Max. luminous intensity I_{max}:	66.99 cd @ φ = -105 °, ϑ = 1 °
Color temperature CRI:	na K
Color rendering index R_i:	Na
CIE color coordinates:	x = na, y = na
Light emitting efficiency of luminaire:	46.4 lm/W
Light output ratio μ:	na lm/lm
Photos:	

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #109

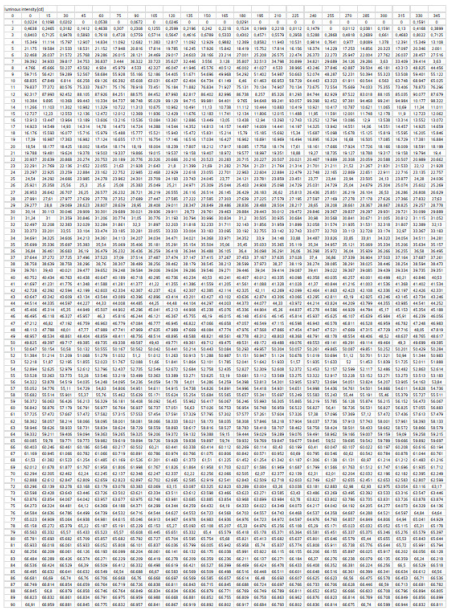




Measurement data: See below

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #109



Liite 6. Goniometrimittausraportti kupumateriaalille S110

opsira

report

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #110

Version: 1
Date: December 20th, 2017

opsira GmbH
Lebnizstraße 20
88250 Weingarten / Germany
Phone +49 751 561 890
Telefax +49 751 561 899
info@opsira.de
www.opsira.de

Südwestbank Ravensburg
BLZ 600 907 00
Konto 828 009 007
IBAN DE78600907000828009007
BIC SWBSDESS

Landesbank Baden-Württemberg
BLZ 600 501 01
Konto 450 30 15
IBAN DE04600501010004503015
BIC SOLADEST

Geschäftsführung
General Managers
Volker Schumacher
Jürgen P. Weißhaar
HRB 552042 AG Ulm
VAT DE201444158

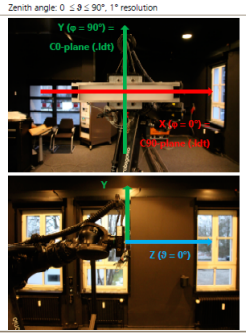
1 General Information

Project No:	P17464817
Client:	Mr Janne Jantunen, TEKNOWARE OY
Project Manager:	Jan Fessler
Version / Date:	1 / December 20th, 2017

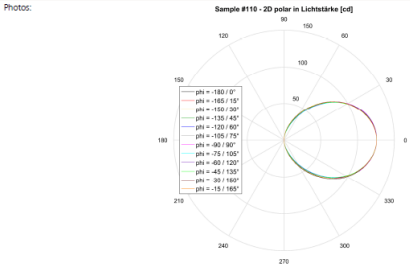
2 Sample

Manufacturer:	TEKNOWARE OY
Name of test sample:	#110
Serial No:	#110
Light Source:	LED
Total luminous flux of light source:	Na
Length:	83 mm
Width:	447 mm
Depth:	25 mm
Light emitting area (LxW):	2 x 62 mm x 190 mm
Light emitting area (D):	na mm
Photo:	

3 Measurement Condition

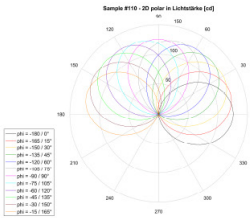
Date of measurement:	December 14th 2017
Laboratory:	Lab 3 (Multifunctional lightlab), opsira GmbH
Measurement device/ Goniometer:	robogonio mrg-16 LG0070112
Detectors:	Photometer frc-f-I
Power supply:	DC: IT 6952A, Serial-No.: 600543010697720014
Power measuring device:	LMG95e, Serial-No.: 01951407
Distance of measurement:	10 m
Angle range:	Azimuth angle: -180 ≤ φ ≤ 180°, 15° resolution Zenith angle: 0 ≤ ϑ ≤ 90°, 1° resolution
Alignment:	
Results:	Light distribution in .xls, .ldt and .ies

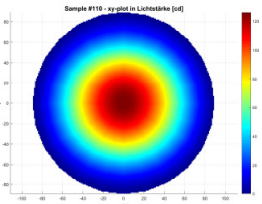
4 Results

Ambient temperature:	21.9 °C ± 3K
Ambient humidity	31.6 % ± 3%
Current:	171.6 mA
Voltage:	24.00 V
Power:	4.12 W
Stoving time:	Ca. 30 min
Total luminous flux Φ_{tot}:	296.46lm
Luminous intensity in center I_0:	125.89 cd
Max. luminous intensity I_{max}:	126.09 cd @ φ = 45 °, ϑ = 0 °
Color temperature CRI:	na K
Color rendering index R_i:	Na
CIE color coordinates:	x = na, y = na
Light emitting efficiency of luminaire:	71.96 lm/W
Light output ratio μ:	na lm/lm
Photos:	

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #110

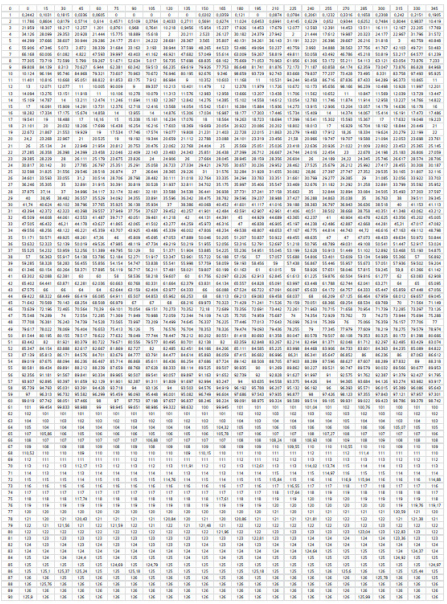




Measurement data:	See below

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #110



Liite 7. Goniometrimittausraportti kupumateriaalille S111

opsira

report

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #111

Version: 1
Date: December 20th, 2017

opsira GmbH
Leibnizstraße 20
88250 Weingarten / Germany
Phone +49 751 561 899
Telefax +49 751 561 899
info@opsira.de
www.opsira.de

Südwestbank Ravensburg
BLZ 600 907 00
Konto 828 009 007
IBAN DE78600907000828009007
BIC SWBSDESS

Landesbank Baden-Württemberg
BLZ 600 501 01
Konto 450 30 15
IBAN DE04600501010004503015
BIC SOLADEST

Geschäftsführung
General Managers
Volker Schumacher
Jürgen P. Weißhaar
HRB 552042 AG Ulm
VAT DE201444158

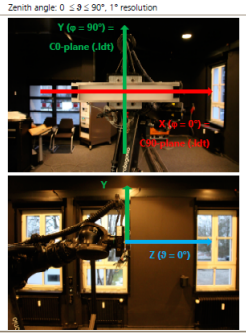
1 General Information

Project No:	P17464817
Client:	Mr Janne Jantunen, TEKNOWARE OY
Project Manager:	Jan Fessler
Version / Date:	1 / December 20th, 2017

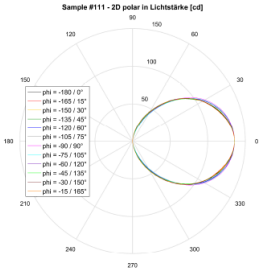
2 Sample

Manufacturer:	TEKNOWARE OY
Name of test sample:	#111
Serial No:	#111
Light Source:	LED
Total luminous flux of light source:	Na
Length:	83 mm
Width:	447 mm
Depth:	25 mm
Light emitting area (LxW):	2 x 62 mm x 190 mm
Light emitting area (D):	na mm
Photo:	

3 Measurement Condition

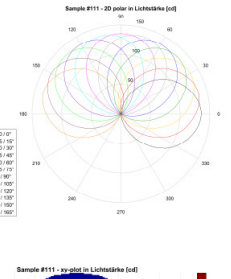
Date of measurement:	December 14th 2017
Laboratory:	Lab 3 (Multifunctional lightlab), opsira GmbH
Measurement device/ Goniometer:	robogonio mrg-16 LG0070112
Detectors:	Photometer frc-f-l
Power supply:	DC: IT 6952A, Serial-No.: 600543010697720014
Power measuring device:	LMG95e, Serial-No.: 01951407
Distance of measurement:	10 m
Angle range:	Azimuth angle: -180 ≤ φ ≤ 180°, 15° resolution Zenith angle: 0 ≤ ϑ ≤ 90°, 1° resolution
Alignment:	
Results:	Light distribution in .xls, .ldt and .ies

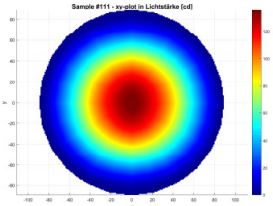
4 Results

Ambient temperature:	21.88 °C ± 3K
Ambient humidity	31.6 % ± 3%
Current:	171.67 mA
Voltage:	24.00 V
Power:	4.12 W
Stoving time:	Ca. 30 min
Total luminous flux Φ_{tot}:	325.11lm
Luminous intensity in center I_0:	135.54 cd
Max. luminous intensity I_{max}:	135.58 cd @ φ = -120 °, ϑ = 0 °
Color temperature CRI:	na K
Color rendering index R_i:	Na
CIE color coordinates:	x = na, y = na
Light emitting efficiency of luminaire:	78.91 lm/W
Light output ratio μ:	na lm/lm
Photos:	

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #111

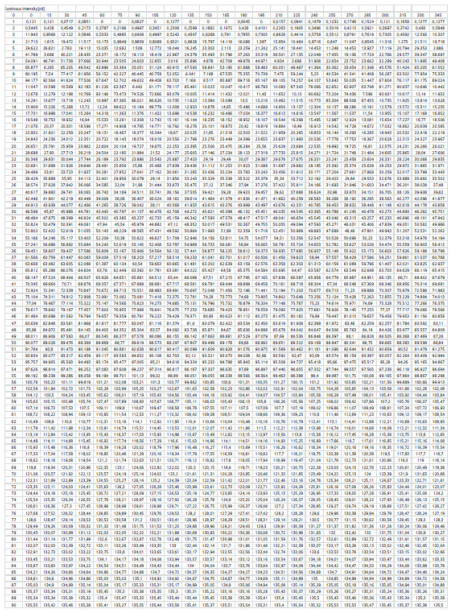




Measurement data: See below

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #111



Liite 8. Goniometrimittausraportti kupumateriaalille S112

opsira

report

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #112

Version: 1
Date: December 20th, 2017

opsira GmbH
Lehrinstraße 20
88250 Weingarten / Germany
Phone +49 751 561 890
Telefax +49 751 561 899
info@opsira.de
www.opsira.de

Südwestbank Ravensburg
BLZ 600 907 00
Konto 828 009 007
IBAN DE78600907000828009007
BIC SWBSDE55

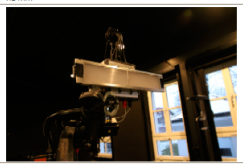
Landesbank Baden-Württemberg
BLZ 600 501 01
Konto 450 30 15
IBAN DE04600501010004503015
BIC SOLADEST

Geschäftsführung
General Managers:
Volker Schumacher
Jürgen F. Weißhaar
HRB 552042 AG Ulm
VAT DE201444158

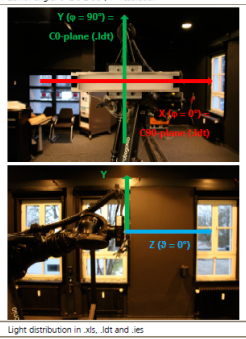
1 General Information

Project No:	P17464817
Client:	Mr Janne Jantunen, TEKNOWARE OY
Project Manager:	Jan Fessler
Version / Date:	1 / December 20th, 2017

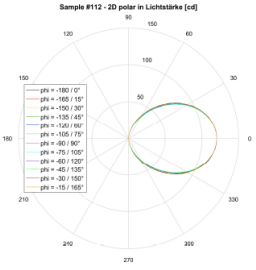
2 Sample

Manufacturer:	TEKNOWARE OY
Name of test sample:	#112
Serial No:	#112
Light Source:	LED
Total luminous flux of light source:	Na
Length:	83 mm
Width:	447 mm
Depth:	25 mm
Light emitting area (LxW):	2 x 62 mm x 190 mm
Light emitting area (D):	na mm
Photo:	

3 Measurement Condition

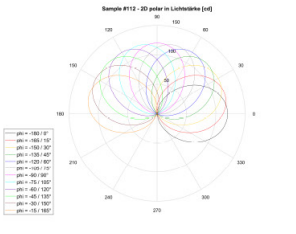
Date of measurement:	December 14th 2017
Laboratory:	Lab 3 (Multifunctional lightlab), opsira GmbH
Measurement device/ Goniometer:	robogonio mrg-16 LG0070112
Detectors:	Photometer frc-f-l
Power supply:	DC: IT 6952A, Serial-No.: 600543010697720014
Power measuring device:	LMG95e, Serial-No.: 01951407
Distance of measurement:	10 m
Angle range:	Azimuth angle: -180 ≤ φ ≤ 180°, 15° resolution Zenith angle: 0 ≤ ϑ ≤ 90°, 1° resolution
Alignment:	
Results:	Light distribution in .xls, .ldt and .ies

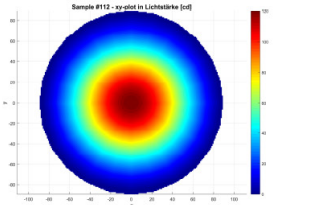
4 Results

Ambient temperature:	21.89 °C ± 3K
Ambient humidity	31.6 % ± 3%
Current:	171.5 mA
Voltage:	24.00 V
Power:	4.12 W
Stoving time:	Ca. 30 min
Total luminous flux Φ_m:	273.48lm
Luminous intensity in center I_0:	120.14 cd
Max. luminous intensity I_{max}:	120.21 cd @ φ = 60 °, ϑ = 1 °
Color temperature CRI:	na K
Color rendering index R_i:	Na
CIE color coordinates:	x = na, y = na
Light emitting efficiency of luminaire:	66.38 lm/W
Light output ratio μ:	na lm/lm
Photos:	

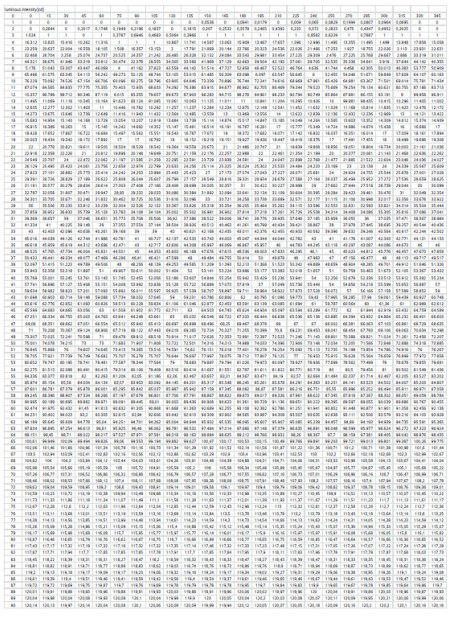
opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #112





Measurement data:	See below

opsira

Measurement of luminous intensity distribution and luminance of Sample #112