

MAALATTUJEN TUOTTEIDEN VÄRITOLERANSSIT



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Konetekniikka, insinööri (AMK)

Kevät, 2023

Mia Hämäläinen

Konetekniikka, Insinööri (AMK)

Tekijä Mia Hämäläinen

Työn nimi Maalattujen tuotteiden väritoleranssit

Ohjaajat Esa Vyyryläinen, Antti Murto

Tiivistelmä

Vuosi 2023

Opinnäytetyön tilaaja on yhtiö, joka valmistaa tuotteita neljässä yksilöidyssä brändivärisä, tuotteiden loppukokoonpano tapahtuu Suomessa. Ennen kokoonpanoa tuotteen aliosat valmistetaan ja pintakäsittellään yhtiön oman tuotannon sekä toimittajien toimesta Suomessa ja ulkomailla. Yhtiössä on havaittu, että kappaleiden värisävyissä on eroja, vaikka jokaisen brändiväriin pitäisi toistua samana kappaleesta riippumatta. Tässä työssä keskitytään värierojen analysointiin analyttisellä mittauslaitteella, spektrofotometrillä, minkä yhtiö on ostanut värin tarkastuksia varten vuonna 2021. Tämän työn tarkoituksena on syventää värimittauksien ymmärrystä tuloksien analysoinnissa sekä luoda toleranssit neljälle eri brändiväriä laadunvarmistusta varten. Toimeksiantajan toiveesta tunnistetiedot on häivytetty, jonka takia työssä puhutaan yleisesti yhtiöstä.

Opinnäytetyössä käydään läpi oleellisia käsitteitä värien havainnointiin ja värinmittaukseen liittyen sekä suoritetaan värimittaukset ja niiden analysoinnit tuotannon neljälle eri brändiväriä. Mittauksissa käytetään standardisoituja valonlähteitä D65 ja F11 sekä brändivärikohtaisia väritoleransseja, jotka määrittävät standardoidun värieron mittauskaavan CIEDE2000 avulla. Värieron mittauskaavoilla lasketaan kahden värin koordinaattien välinen euklidinen etäisyys CIELAB väriavaruudessa. Yhtiö on aiemmin käyttänyt laadunvarmistuksissa yleistoleranssina standardoitua CIE76 värieron mittauskaavaa, minkä perusteella värejä on analysoitu. Työssä esitetään kolme värieron mittauskaavaa, joita yhtiön spektrofotometri tukee.

Opinnäytetyön tutkimuksen pohjalta yhtiössä määriteltiin brändiväreille väritoleranssit mukailen ihmisen kykyä havaita värit. Opinnäytetyötä voidaan käyttää yhtiössä perehdytysmateriaalina spektrofotometrin käyttöön sekä ohjeiden luomiseen. Brändivärien CIELAB-väriavaruuden koordinaateille asetetaan väritoleranssit, joiden määrittämiseen käytetään CIEDE2000 värieron mittauskaavaa. Verratessa toleransseja värierotteluellipseihin, havaittiin näiden välillä korrelaatio. Havainto tarkoittaa, ettei määritellyn toleranssirajan sisäpuolella tapahtuvissa muutoksissa ole visuaalisesti havaittavia värieroja. Näytteitä verrattiin toleransseihin ja poikkeavuuksia löytyi kolmessa eri brändivärisä. Kuvaajista ja koordinaatistoista käy ilmi, mihin suuntiin kyseisiä värejä tulisi säätää, että värieroja ei olisi enää visuaalisesti havaittavissa.

Avainsanat Väritoleranssi, spektrofotometri, värimittaus, CIELAB, standardivalonlähde

Sivut 55 sivua ja liitteitä 6 sivua

This thesis was commissioned by a company that manufactures products in four different individualized brand colors and the final assembly of the products is done in Finland. Before assembly, the parts of the final product are manufactured, and surface treated by the company's own production and suppliers in Finland and abroad. The company has noticed that there are color differences between the parts that should be identically colored regardless of what the part is. This thesis focuses on the analysis of color differences with an analytical measuring device, a spectrophotometer, which the company acquired in 2021. The purpose of this thesis is to deepen the understanding of color measurements in the analysis of results and to create tolerances for four different brand colors for quality assurance. At the request of the commissioner all identifying information has been removed and the commissioner is generally referred to as the company in the thesis.

The thesis introduces the key concepts related to color perception and color measurement and performs color measurements and analysis of the measurements for the four different brand colors of the production. The measurements use standard illuminants D65 and F11 and color-specific tolerances, which are defined with the standardized color difference measurement formula CIEDE2000. Color difference measurement formulas are used to calculate the Euclidean distance between the coordinates of two colors in the CIELAB color space. The company has previously used the standardized CIE76 color difference measurement formula as a general tolerance in quality assurances. The thesis presents three standardized color difference measurement formulas, which the company's spectrophotometer supports.

As a result of the thesis, color tolerances were defined for brand colors in accordance with the human ability to perceive colors. The thesis can be used in the company as orientation material for using the spectrophotometer and for creating instructions. In the thesis color tolerances are set for the coordinates of the CIELAB color space of brand colors, which are determined using the CIEDE2000 color difference measurement formula. It was found that the tolerance limits correlate with the color discrimination ellipses. The correlation found shows that the deviations within the defined tolerance limit do not have visually noticeable color differences. Samples were compared to tolerances and deviations were found in three different brand colors. The graphs and coordinates show in which directions the colors should be adjusted so that the color differences are no longer visually noticeable.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Väri ja valo	2
2.1	Standardivalonlähteet.....	3
2.2	Väriavaruudet	4
2.3	Väriero.....	4
2.3.1	CIE76.....	5
2.3.2	CIE94.....	6
2.3.3	CIEDE2000	6
2.4	Väri- ja kromaattisuusdiagrammien ellipsit.....	7
3	Spektrofotometri.....	9
3.1	Spektrofotometrin toimintaperiaate ja värisävyn tarkistus	10
3.2	Valonlähteen vaikutus, metameria	12
3.3	Eri materiaalien ja pintaprofiilien vaikutus.....	13
3.4	Spektrofotometrin geometriat ja mittaustavat	14
3.5	Observerit suom. Havaitsijakulma.....	16
4	Väritoleranssit ja mittaustuloksien analysointi	17
4.1	Brändikohtaisten toleranssien määrittäminen	17
4.1.1	Vihreän toleranssirajat	21
4.1.2	Keltaisen 1 toleranssirajat	22
4.1.3	Vaalean harmaan toleranssirajat	23
4.1.4	Keltaisen 2 toleranssirajat	24
4.2	Värin tarkastelu ja väritoleranssit	25
4.3	Sävynäytteet verrattuna sävytoleransseihin	25
4.3.1	Vihreä	26
4.3.2	Keltainen 1.....	32
4.3.3	Vaalean harmaa	38
4.3.4	Keltainen 2.....	44
5	Johtopäätökset värinmittauksesta tuotantoympäristössä	50
6	Yhteenveto	52
	Lähdeluettelo.....	54

Liitteet

Liite 1 Spektrofotometrin käyttöohje

Liite 2 Spektrofotometri CM-23d

Sanasto

Brändiväri:	Yksilöity väri tietylle tuotemerkille
CIE:	Kansainvälinen valaistuskomissio: Commission Internationale de l'Eclairage
CIELAB:	Väriavaruusmalli
ΔE^* :	Näyteparin koordinaattien välinen euklidinen etäisyys
Ellipsi:	Matemaattisesti määritelty geometrinen muoto, puhekielessä usein soikio
Target:	Tässä yhteydessä tavoitesijainti väriavaruudessa
Master sample:	Päävärimalli
SCE:	Specular Component Excluded
SCI:	Specular Component Included

1 Johdanto

Yhtiö valmistaa tuotteita neljässä eri brändissä, joista jokaisella on oma yksilöity brändivärinsä. Brändivärien lisäksi kaikissa brändeissä esiintyy myös mustaa ja tumman harmaata väriä. Tuotteet kokoonpannaan Suomessa ja valtaosa tuotteiden osista valmistetaan ja pintakäsitellään toimittajien toimesta Suomessa ja ulkomailla, mutta yhtiöllä on myös omaa valmistavaa tuotantoa sekä maalaamo. On havaittu, että tuotteiden sävyissä on silmin havaittavia eroja niin brändivärien päävärimalleihin verraten sekä tuotteiden välillä. Värin pitäisi toistua samana jokaisessa brändivärisä sekä jokaisen osan värin tulisi vastata brändivärien päävärimallia. Värisävyjen yhtenäistämistä tekee haasteellista mm. eri materiaalien sekä pintaprofiilien poikkeavuudet, ja tämä hankaloittaa myös värisävyn mittauksia. Värisävyt voivat poiketa toisistaan niin värisävyn, kuin kiiltoasteenkin kohdalla.

Tässä työssä keskitytään maalattujen kappaleiden neljään brändiväriin, joiden brändivärikohtaiset kiiltoasteet ovat stabiileja. Yhtiö on ostanut värien tarkastelua varten kannettavan spektrofotometrin vuonna 2021 jota on käytetty satunnaisesti, kun värisävyongelmia on tuotannossa havaittu. Tämän työn tarkoituksena on syventää spektrofotometrinen mittauksien ymmärrystä tuloksien analysoinnissa sekä luoda toleranssit neljälle brändivärielle laadunvarmistusta varten. Toimeksiantajan toiveesta tunnistetiedot on häivytetty, jonka takia työssä puhutaan yleisesti yhtiöstä.

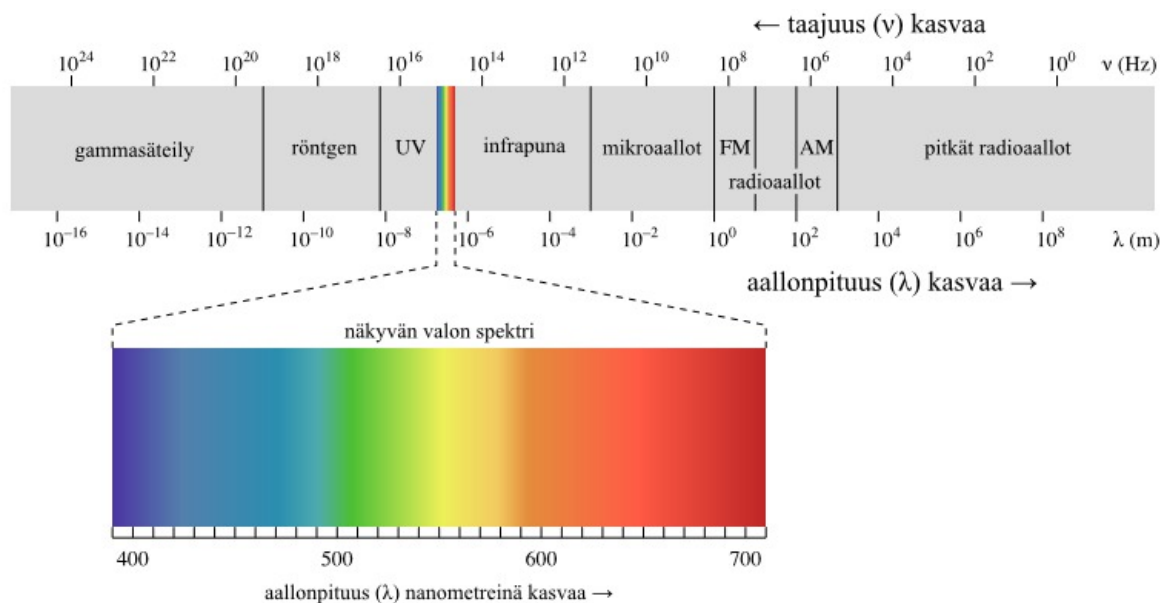
2 Väri ja valo

Tossavainen (2002, s. 1) muotoilee väriaistimuksen seuraavasti:

Väriaistimus syntyy fysikaalisten ja psykologisten tekijöiden yhteisvaikutuksena havaitsijan näköjärjestelmässä. Valonlähde sekä kappaleen rakenne määräävät sen millaisena valo saapuu kohteesta havaitsijan silmään. Eri aallonpituudet nähdään eriväreinä.

Ihmissilmän verkkokalvolla on useita eri solutyyppejä, joista sauva- ja tappisolut ovat erikoistuneet valon havaitsemiseen. Tappisoluja löytyy eniten tarkannäön alueelta ja ne saavat ihmisen näkemään värejä, kun taas sauvasolujen ansiosta ihminen näkee hämärässä – ilman värejä, harmaana. Värit muodostuvat kun eri pinnat heijastavat ja absorboivat niihin kohdistuvia valonsäteitä eli eri värien aallonpituuksien säteilyä. Toisin sanoen, ilman valoa ihminen ei voi nähdä värejä. Ihminen kykenee näkemään valon aallonpituuksien 380nm—740nm välillä. Näkyvän valon spektri on esitettyä kuvassa 1. Ihminen näkee parhaiten keltavihreät sävyt, sillä silmän herkkyys on suurimmillaan keltaisen ja vihreän valon aallonpituuden rajalla. (Männistö, 2011, ss. 8—10)

Kuva 1. Valon spektri. (Joronen, n.d.)



2.1 Standardivalonlähteet

Valonlähteiden mittausyksikkö on Kelvin, joka ilmaisee väriämpötilaa. Korkea väriämpötila vastaa kylmän väristä valoa, kun taas matala väriämpötila vastaa lämpimän väristä valoa (Anter & Klarén, 2017, s. 86). Laskennallisiin tarkoituksiin on suunniteltu standardivalonlähteitä. Eri valotyyppien käyttö voi muuttaa käsitystä väreistä. Tunnetuimpia standardivalotyyppejä ovat D65 sekä F11, joka tunnetaan myös TL84 valonlähteenä.

D65 simuloi päivänvaloa noin 6500 Kelvinin väriämpötilassa ja muita päivänvaloa simuloivia valotyyppejä ovat mm. D50, D55 ja D75. Vakiovalaisin C tarkoittaa myös päivänvaloa, noin 6770 Kelvinin väriämpötilassa. Valonlähde B edustaa suoraa auringon valoa noin 4870 Kelvinin lämpötilassa. Hehkulamppuja ovat valonlähde A 2856 Kelvinin väriämpötilassa sekä auringonlaskua simuloiva 2300 Kelvinin valonlähde Horizon. Fluoresoivia valonlähteitä on kaikkiaan kaksitoista, joista yleisimmät ovat F2 ja F11. Valonlähde F2 kuvaa kylmän valkoista valoa, jonka väriämpötila on 4230 Kelviniä. F11 (TL84) on valotyyppi, joka edustaa kapeaa kolmikaistaista fluoresoivaa 4000 Kelvinin väriämpötilaa, jota kutsutaan myös tavaratalon valoksi. Näiden valotyyppien lisäksi on monia muita kapeista laajakaistaisiin standardivalotyyppeihin. (Image Engineering GmbH & Co. KG, 2011) Valonlähteiden korreloivia kuvauksia ja väriämpötiloja on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Valonlähteitä korreloivia kuvauksia ja väriämpötiloja. (Arnkil, 2021, s. 209)

Väriämpötila (kelvin)	Korreloiva väriämpötilan kuvaus	Valonlähde
7000-10000K	Pilvisen taivaan valo keskipäivällä.	
6770-7500K	Pohjoisen taivaan valo	C, D75
6000-6500K	Päivänvalo keskipäivällä.	D65
5570K	Aurinko	
5000K	Päivänvalo	D50, F8
4870K	Suora auringon valo	B
4230K	Kylmä valkoinen	F2
4000K	Kirkas valkoinen, tavaratalon valo	F11, TL84
3200K	Auringonlasku/nousu	
2300-3000K	Hehkulamppu	A, Horizon

2.2 Väriavaruudet

Väriavaruus on menetelmä, jonka avulla kohteen tai valonlähteen värin ilmaisemiseksi käyttämällä jotakin merkintää, kuten numeroita, joka koostuu kolmesta elementistä. Väriavaruudet ovat geometrisesti määriteltyjä kolmiulotteisia kappaleita, joissa jokaiselle värille on kolme koordinaattia X-, Y- ja Z-suunnissa. Väriavaruus on tilallinen koordinaatisto, missä värien koordinaatit voidaan määrittää tarkasti, kun jokainen väri kuvataan kolmikomponenttivektorina. Väriavaruudet voivat edustaa kaikkia havaittavia värejä ja niitä voidaan soveltaa yleisesti eri aloilla. (Arnkil, 2021, s. 164)

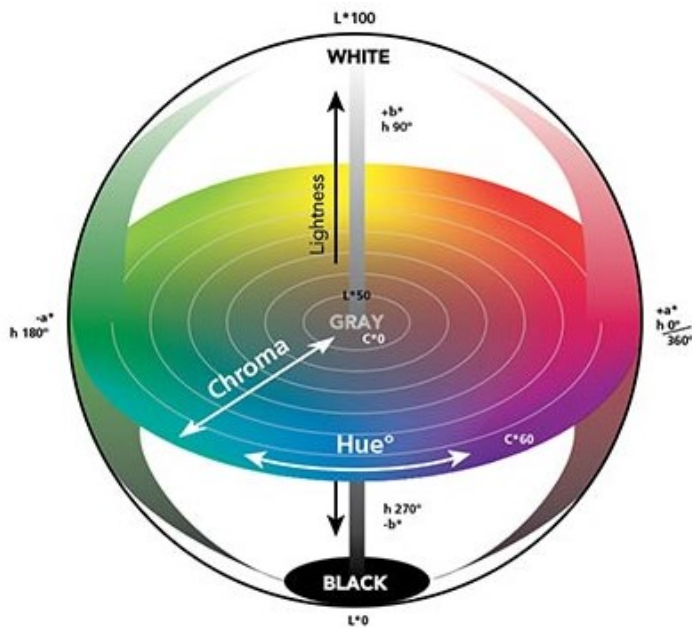
Kansainvälinen valaistuskomissio CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) toimii valon, valaistuksen sekä väritieteen parissa. (CIE, Commission Internationale de l'Eclairage, 2023) CIE kehitti vuonna 1931 ensimmäisen matemaattisen väriavaruusmallin CIEXYZ:n ja myöhemmin, vuonna 1976 väriavaruusmallit CIELAB:in ja CIELUV:in. Samana vuonna esiteltiin myös CIE76 värieron mittauskaava, jolla voidaan laskea kahden värin välinen väriero etäisyytenä. Värieron mittauskaavoja on kuitenkin paranneltu vuosien varrella ja CIELAB avaruuden epäyhteneväisyyksiä on pyritty huomioimaan uudemmissa mittariversioissa CIE94 ja CIEDE2000. (Painomaa, 2012, s. 3)

2.3 Väriero

Jokaisella värillä on omat väriarvot eli sijainti väriavaruudessa. Väriarvot ilmaistaan koordinaatteina, joiden avulla voidaan laskea kahden toisiinsa verrattavan värin väriero. Väriero on kahden värin koordinaattien välinen euklidinen etäisyys CIELAB avaruudessa. (Fernandez-Maloigne, 2013, s. 227) Koordinaattien suunnat ilmoitetaan L^* , a^* ja b^* - termein. L^* on vaaleuden koordinaatti, a^* on väriavaruuden punainen-vihreä suuntainen koordinaatti ja b^* puolestaan väriavaruuden keltainen-sininen suuntainen koordinaatti. Kun kahden värin koordinaatteja verrataan toisiinsa puhutaan targetin ja näytteen välisestä värierosta. Targetilla tarkoitetaan tavoitekoordinaatteja mihin näytettä verrataan. Tässä opinnäytetyössä targetteina toimivat brändivärien päävärimallien mitatut väriarvot. Jokaisella brändivärillä on oma targetiksi asetettu mittaustulos, joka on mitattu päävärimallista.

Yleensä värierot mitataan näytteistä analyttisellä mittauslaitteella kuten spektrofotometrillä. Spektrofotometri laskee mittaustuloksen värieron mittauskaavoilla. (Konica Minolta, 2007, s. 22) Kuvassa 2 visualisoidaan CIELAB avaruuden koordinaattisuunnat.

Kuva 2. CIELAB avaruusmallin koordinaattisuunnat. (Mouw, 2018)



2.3.1 CIE76

CIE76:n kaavassa saadaan näyteparin välisten koordinaattien euklidinen etäisyys laskemalla ΔE^* . Kaavassa 1. ΔL^* kuvaa vaaleuden muutosta, Δa^* punaisuuden tai vihreyden muutosta ja Δb^* keltaisuuden tai sinisyyden muutosta.

CIE76 kaavassa koordinaatit ovat väriavaruudessa tasavälisiä. Ihmisen silmä on herkempi sävy muutoksille kuin vaaleudelle tai kylläisyydelle. Tässä kaavassa ei ole otettu näihin ominaisuuksiin kantaa. (Fernandez-Maloigne, 2013, ss. 227–228)

Kaava 1. CIE76 mittarin kaava.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

2.3.2 CIE94

Kaavassa 2 lasketaan ΔE^* niin, että ΔL^* , ΔC^* ja ΔH^* eli vaaleus-, kylläisyys- ja värierot jossa on painokertoimia K_L , K_C ja K_H , joiden arvot riippuvat havainto-olosuhteista. Nämä arvot ovat tekijöitä, jotka on säädettävä eri katseluparametrien, kuten esimerkiksi valonlähteen mukaan.

S_L , S_C ja S_H ovat vaaleus-, kylläisyys- ja värisävykomponenttien painotusfunktiot. Näille funktioille lasketut arvot vaihtelevat CIELAB -väriavaruudessa tarkasteltavan näyteparin sijainnin mukaan. S_L toteuttaa vaaleuden kompensoinnin, S_C on värin kompenzaatio, joka lieventää ellipsien merkittävää pidentymistä kylläisyyden kanssa, S_H on sävyn kompenzaatio, joka korjaa ellipsien suurentumista kylläisyyden sekä sävyn avulla. (Fernandez-Maloigne, 2013, ss. 227—228)

Kaava 2. CIE94 mittarin kaava.

$$\Delta E^*_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{ab}}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{ab}}{K_H S_H}\right)^2}$$

2.3.3 CIEDE2000

CIEDE2000 kaava kehitettiin ratkaisemaan aiempien värieron mittauskaavojen ja ihmissilmän arvioinnin välillä esiintyvien erojen ongelmia. Ongelmat johtuvat ihmissilmän värinerottelukynnyksestä. CIE:n tarkoituksena ei ollut rakentaa väriavaruutta, jossa ihmissilmän värinerottelukynnysten leveydet olisivat tasaisia, vaan määritellä laskelma niin, että värieron mittauskaavalla laskettava väriero tulee lähelle ihmissilmän värinerottelukykyä kiinteässä CIELAB väriavaruudessa.

Kaavassa 3 painotus määrätään vaaleuserolle ΔL^* , kylläisyserolle ΔC^* ja sävyerolle ΔH^* käyttämällä painotuskertoimia S_L , S_C ja S_H ja niiden sisältämiä vaaleuden, kylläisyyden ja sävykulman vaikutuksia. R_T termillä otetaan kaavassa huomioon ellipsien kierto sinisessä;

näin laskelma sisältää ihmissilmän värinerottelukynnyksen ominaisuudet. (Fernandez-Maloigne, 2013, ss. 227–228)

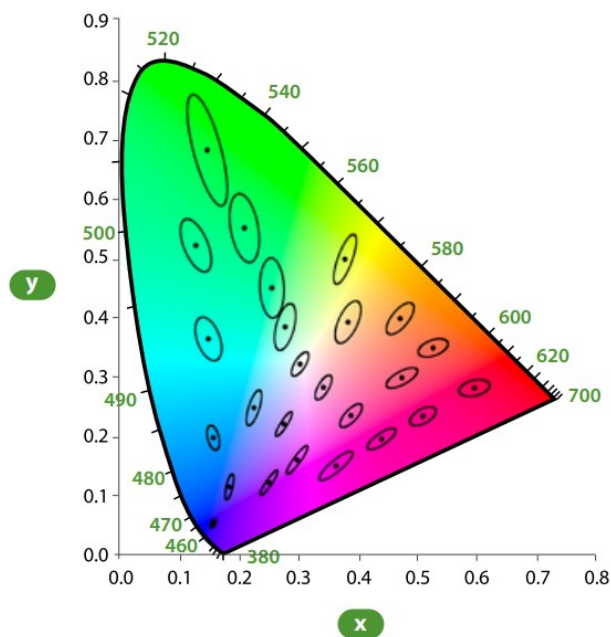
Kaava 3. CIEDE2000 mittarin kaava:

$$\Delta E^*_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{K_C S_C} \frac{\Delta H'}{K_H S_H}}$$

2.4 Väri- ja kromaattisuusdiagrammien ellipsit

David MacAdam suoritti vuonna 1942 kokeen, jonka tuloksena saatiin 25 ellipsiä eri puolille kromaattisuusdiagrammia sijoittuneina. Kuvassa 3 MacAdamin ellipsit kuvaavat alueita joilla ihmissilmä ei havaitse värieroja.

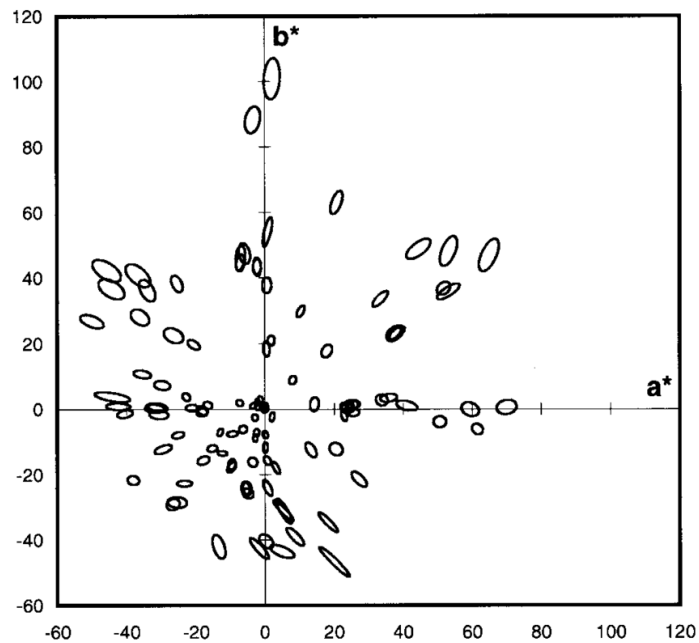
Kuva 3. MacAdamin 25 ellipsiä. (Dextra Group Plc, n.d., s. 1)



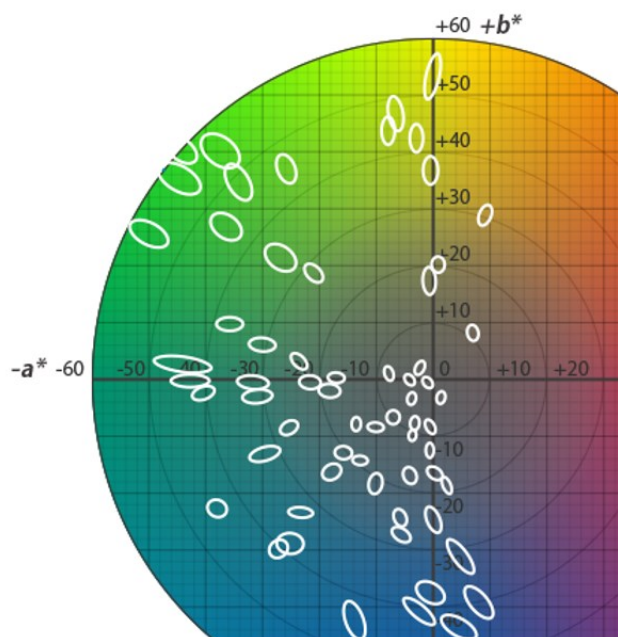
Myöhemmin Dr. M. Ronnier Luo ja B. Rigg (Derbyn yliopisto, väri ja kuvankäsittely instituutti) keräsivät suurimman osan saatavilla olevista kokeellisista tiedoista pintavärien pienistä ja keskiuurista värieroista. Kertynyt tieto sisälsi erilaisia pintamateriaaleja ja kahta tietotyyppiä: havaittavuus ja hyväksyttävyyys. Näistä kerätyistä tiedoista sovitettiin yli 120

värierottelu ellipsiä ja ne tutkittiin ensin CIE x, y -diagrammissa. Lopuksi luotiin johdonmukainen ellipsikuvio. (Schanda, 2007, s. 92) Kuvassa 4 Luon ja Riggin kokeelliset värierotteluellipsit piirrettynä a^*b^* diagrammiin ja Kuva 5 esittää samat ellipsit piirrettynä värilliseen a^*b^* diagrammiin.

Kuva 4. Luon ja Riggin kokeelliset värierotteluellipsit. (Schanda, 2007, s. 92)



Kuva 5. Värierotteluellipsit värilliseen kaavioon piirrettynä. (Konica Minolta, n.d.)



3 Spektrofotometri

Jokaisella värillisellä pinnalla on tietyt ominaisuudet, jotka ovat mitattavissa spektrofotometrillä. Värikoordinaatit ilmaisee mitatun värin sijainnin CIELAB väriavaruudessa ja tällä tavoin voidaan laskea kahden eri värin välinen väriero. Harald Arnkil (2021, s. 161) kuvailee kirjassaan värinmittauksen seuraavasti:

Värejä mitattaessa fyysisesti, mitataan aina valoa – sitä, kuinka valo säteilee tai heijastuu tietyillä valon aallonpituuksilla. Jokaisella värillisellä pinnalla on heijastuskyky eli reflektanssi ja jokaisella säteilevällä kohteella valotiheys eli luminanssi. Nämä ominaisuudet on suhteellisen helppoa saada selville mittarilla, joka laskee kohteen säteilemän kohteen säteilevän kokonaisvaloenergian määrän suhteutettuna ihmisen tapaan aistia kirkkautta. Spektrofotometrisessä mittaamisessa kohteesta heijastuva valo analysoidaan aallonpituuden funktiona.

Värieroja voidaan laskea lukemattomista eri materiaaleista erilaisilla spektrofotometreilla. On luonnollista, että mittausmenetelmät poikkeavat näissä tilanteissa toisistaan. Väriä mitattaessa on otettava huomioon mittaustapa ja valonlähde mutta myös se, vertaillaanko mitä materiaaleja keskenään. Ennen mittausta on huomioitava mitä mitataan; onko kyseinen mittaus mahdollista suorittaa luotettavasti. On olemassa lukuisia erilaisia tilanteita, milloin mitattavien kohteiden ominaisuudet eroavat toisistaan niin radikaalisti, ettei värin mittausta voi tehdä toivotulla tavalla. Esimerkiksi mitattavan pinnan kiiltoasteella ja pintaprofiilin karkeudella on suuri vaikutus mittaustulokseen. (Konica Minolta, 2007, ss. 30-37)

Ennen mittausta on päätettävä, mitä halutaan tarkastaa ja suunniteltava mittaus sen mukaisesti. Mittauksien valonlähteiksi on hyvä astetta vähintään kaksi standardivalonlähdettä, sillä värierot näkyvät eri valonlähteissä eri tavalla. Myös pinnan ominaisuuksilla on vaikutuksia valon heijastamiseen. (Mitaten Oy, n.d.)

3.1 Spektrofotometrin toimintaperiaate ja värisävyn tarkistus

Kannettava spektrofotometri on helppokäyttöinen. Mittalaite käynnistetään, asetetaan tasaisesti mitattavaa pintaa vasten ja mittaus suoritetaan painamalla mittauspainikkeesta. Tämän jälkeen mittaustulos tulee esiin näytölle, josta on luettavissa targetin ja näytteen mitatut koordinaatit sekä niiden välinen väriero. Kuvassa 6 esitetään spektrofotometrin käyttö. Mittalaitteen mukana tulleen käyttöohjeen lisäksi on tehty yksinkertaistetumpi versio satunnaiskäyttäjille, tästä ohjeesta on ote liitteenä 1. Yhtiön käyttöön valikoitunut instrumentti on Konica Minolta spektrofotometri CM-23d, laitteen tarkemmat tiedot liitteessä 2.

Kuva 6. Spektrofotometrin käyttö yksinkertaisimmillaan.



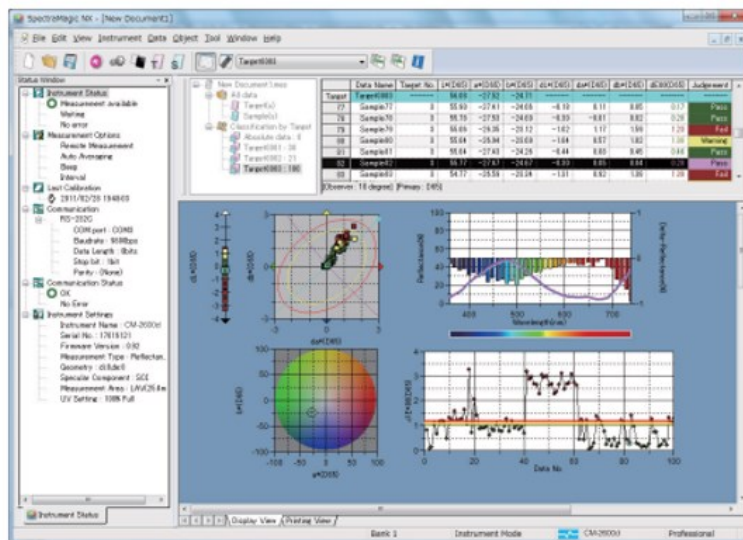
Spektrofotometriin asetetaan oletukseksi kohdan 3 parametrit. Arnkilin (2021, s. 162) kirjassa kuvaillaan seuraavasti: ”Spektrofotometrissä on sisäinen kalibroitu valonlähde. Mittari analysoi pinnasta heijastuvan valon muutaman nanometrin aallonpituusjaksoina. Lukemista saadaan pinnan värille erittäin tarkka fysikaalinen määritelmä, aallonpituusjakauma.” Kuvassa 7 keltaisilla katkoviivoilla on osoitettu reitti, miten mitattu informaatio kulkee spektrofotometrin näytölle. Kun instrumentti asetetaan mitattavalle pinnalle, mittausaukosta näkyy mittausaukon kokoinen ala mitattavaa kohdetta, jonka pinnalta heijastuva valo mitataan. Mittausaukon koon määrittäminen käyttötarkoituksen mukaan on tärkeää mutta kaikissa spektrofotometri malleissa mittausaukon koon vaihtaminen ei ole mahdollista. Eri kokoiset mittausaukot mittaavat kohteesta eri kokoisen alueen, parhaan mahdollisen mittaustarkkuuden saavuttaa suurimmalla mahdollisella aukolla, kun näytettä on enemmän mitattavana. (Konica Minolta, 2001, s. 2)

Kuva 7. Informaation kulku spektrofotometrissä. (Konica Minolta, 2001, s. 6)



Mittausdata voidaan siirtää analisoitavaksi SpectraMagic NX -ohjelmistoon, minkä yhtiö osti yhdessä spektrofotometrin kanssa. Ohjelmistolla voidaan analysoida mittausdataa monipuolisesti. Kuvassa 8 esitetään esimerkkejä ohjelmiston analysointimenetelmiä.

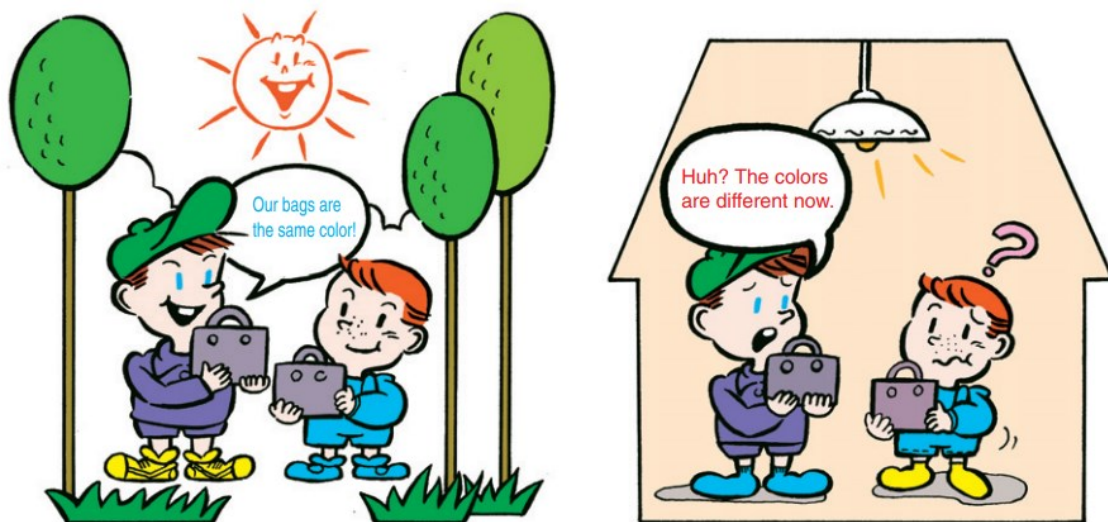
Kuva 8. SpectraMagic NX. (Konica Minolta, 2001, s. 5)



3.2 Valonlähteen vaikutus, metameria

Valonlähteiden vaikutus värin toistossa on myös merkittävä huomioitava asia. Värit toistuvat eri valonlähteillä eri tavalla. Hehkulampun valossa vertailut kappaleet todetaan visuaalisesti toisiaan vastaavaksi, kun valonlähde vaihdetaan kirkaaseen valaistukseen vertailut värit saattavat näyttää kahdelta aivan eri väriltä. Kuva 9 esittää, miten vastaaviin ilmiöihin voidaan törmätä esimerkiksi tekstiilien kanssa; tarkastellessa kahta oletetusti saman väristä asustetta yhdessä valossa, saattaa toinen asuste näyttää häiritsevästi sinertävältä tai punertavalta toisessa valaistuksessa verrattuna toiseen asusteeseen. Tätä ilmiötä kutsutaan pintavärien metameriaksi. (Konica Minolta, 2007, ss. 37–38)

Kuva 9. Metamerian vaikutus. (Konica Minolta, 2007, s. 38)



János Schanda (2007, s. 70) kertoo metamerian viralliseksi määritelmäksi: ”Kaksi näytettä, joilla on identtiset kolmivärieroarvot annetulle vertailuvalaisimelle ja havainnoijalle, ovat metamerisia jos niiden spektrisäteilyn jakaumat eroavat näkyvän spektrin sisällä.” Metamerian estäminen voi olla erittäin tärkeää, kun eri materiaalien tulee näyttää keskenään saman värisiltä eri valaistuksissa. (Schanda, 2007, s. 70)

3.3 Eri materiaalien ja pintaprofiilien vaikutus

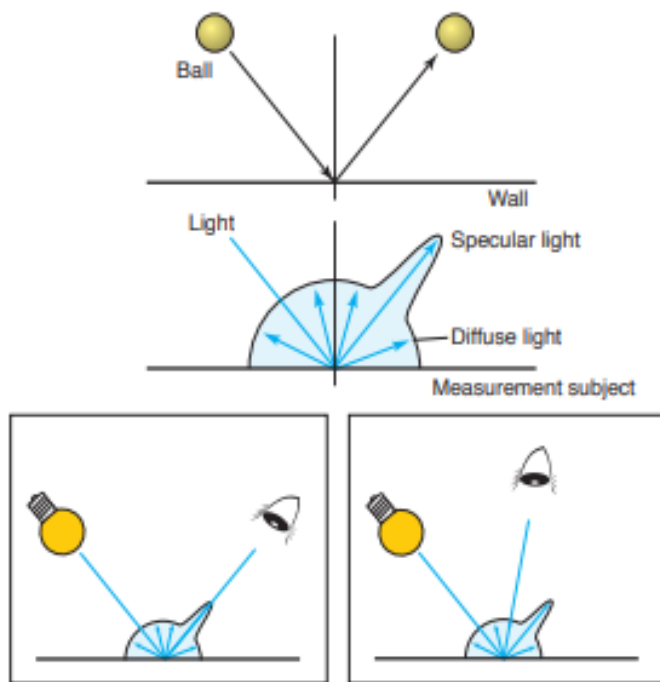
Pinnan tekstuuurilla ja kiiltoasteella on visuaalisia vaikutteita sävyyn, esimerkiksi mustan sävyn kanssa tämä korostuu varsin selkeästi. Matalan kiiltoasteen omaava pinta ja kiiltävä pinta mustassa sävyssä luovat visuaalisen ilmiön, joka saa saman väriset kappaleet näyttämään huomattavasti toisistaan poikkeavilta. Tämä johtuu pinnan kyvystä heijastaa valoa. Kuvassa 10 visualisoidaan mustan kappaleen pinnan heijastuksia eri pinnankarheuksilla: mattapintainen kappale näyttää harmaalta kiiltävän mustan rinnalla, mutta kappaleita kääntäessä tilanne muuttuu päinvastaiseksi.

Kuva 10. Valokuva kappaleesta, jossa on eri pinnan profiileja.



Kun valo osuu kiiltävään pintaan oikeassa kulmassa, pinta heijastaa siihen kohdistuvaa valoa, jolloin pinta heijastaa valon suoraan katsojaa kohti ja mattapintainen pinta ei heijasta valoa vastaavalla tavalla. Tästä voidaan todeta, että materiaali on saman väristä mutta pinnan kiiltoaste tai pinnan tekstuuri luovat visuaalisen vaikutelman värierosta. Tämä johtuu siitä, että kiiltäväpintaisilla kohteilla peiliheijastuva valo on voimakasta ja hajavallo heikompa, kun taas mattapintaisilla kappaleilla tilanne on päinvastainen. Peiliheijastuvaa valoa kutsutaan spekuulariseksi heijastuskyvyksi ja hajavalloheijastusta diffuusioheijastukseksi. Kuvassa 11 esitetään peili- ja hajaheijastus, jossa peiliheijastusta kuvataan niin sanotulla pallo esimerkillä.

Kuva 11. Peili- ja hajaheijastuksen erot. (Konica Minolta, 2007, s. 40)



Kohteen väri voi näyttää erilaiselta spekulaarisen heijastuksen tasoerojen, eli pintaprofiilin vuoksi. Tämä luo haasteita mittauksiin, kun tarkastellaan kahden eri materiaalin välisiä värieroja. On tehtävä päätös, tarkastellaanko visuaalista vaikutelmaa vai väriä itsessään, huomioimatta kiillon vaikutuksia. Maalattuja kappaleita mitattaessa spekulaarista valoa ei tarvitse sulkea pois mittauksessa, jos tarkastellaan tuotteen visuaalista ilmettä, sillä yleensä ihminen tarkastelee kohteen väriä huomioimatta valonlähteen peiliheijastusta. (Konica Minolta, 2007, s. 40)

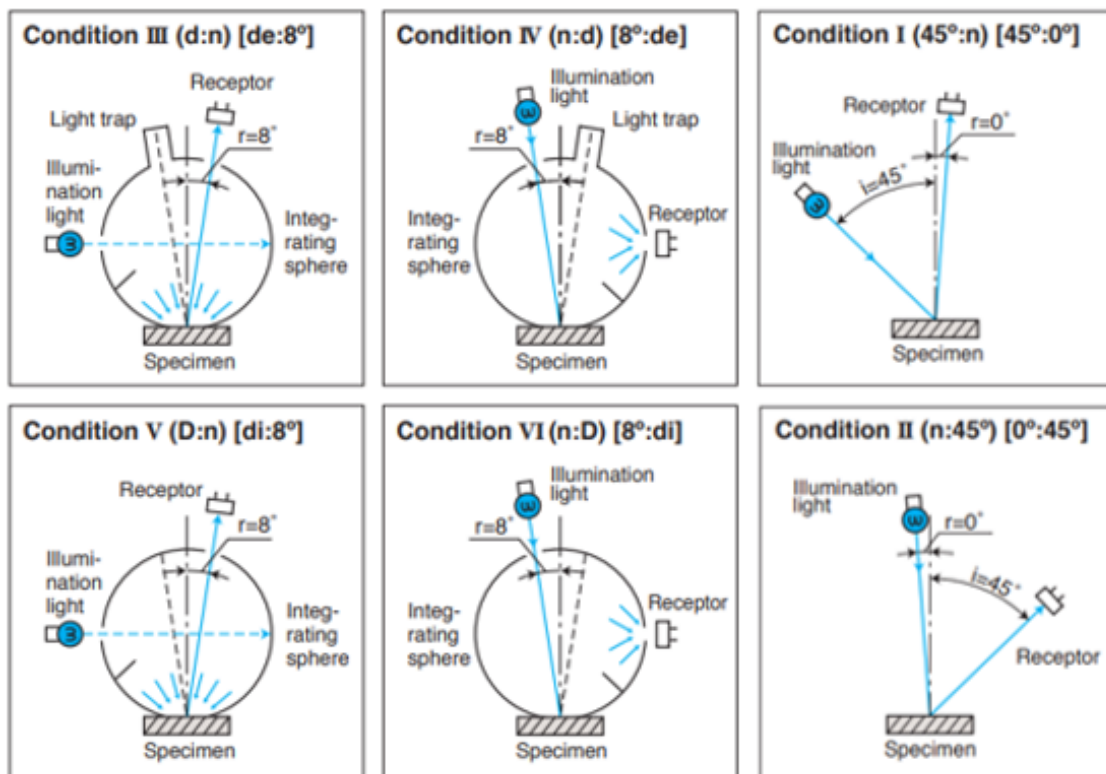
3.4 Spektrofotometrin geometriat ja mittaustavat

Mittausgeometria kuvaa mittauslaitteen säteilevän valonlähteen ja mitattavan kohteen pinnan välistä kohdistusta sekä reseptorin kohdistusta mitattavan kohteen heijastavaan pintaan. Mittausgeometrian valinta vaikuttaa merkittävästi mittaustuloksiin ja voi johtaa tulkintavirheisiin asiakkaiden ja/tai toimittajien välisessä tiedonvaihdossa. Koska mittausgeometriaa ei voi muuttaa tai säätää jälkikäteen, se on selkeytettävä ennen ostamista. Tunnetuimpia geometrioita ovat $d/8^\circ$ ja $8^\circ/d$ joilla on hajavalaistuksen integroivat pallojärjestelmät sekä yksisuuntaiset valaistusjärjestelmät $45^\circ/0^\circ$ ja $0^\circ/45^\circ$.

Instrumentti, $8^\circ/d$ -geometria, valaisee kohteen 8° kulmassa ja tunnistaa heijastuneen valon hajallaan olevista suunnista, kun taas instrumentti, jolla on $d/8^\circ$ -geometria, valaisee kohteen hajanaisista suunnista ja tunnistaa heijastuneen valon 8° asteen kulmassa. $D/8^\circ$ -mittausgeometria tuottaa hajavaloa, jolloin pinnan tekstuuriin vaikutus kiillon ja karheuden suhteen vähenee. Tämän geometrian avulla voidaan niin sanotusti katsoa värin sisään. $45^\circ/0^\circ$ -mittausgeometria tuottaa suunnatun heijastuksen, joka vastaa enemmän ihmisen havaintoa väristä ilman kiiltoa.

Instrumentissa, jonka geometria on $d/8^\circ$ tai $8^\circ/d$, voidaan spekulaarinen heijastus sisällyttää tai sulkea pois mittauksesta. Geometrioissa voidaan ilmaista myös, onko kiillon vaikutus sisällytetty tai suljettu pois mittauksista, esimerkiksi $d_i/8^\circ$ kertoo kiillon vaikutuksen sisällytyksestä mittaukseen ja $d_e/8^\circ$ kertoo kiillon vaikutuksen olevan pois suljettu mittauksesta. Geometriat ovat esitetty kuvan 12 piirroksissa. (Konica Minolta, 2007, s. 42)

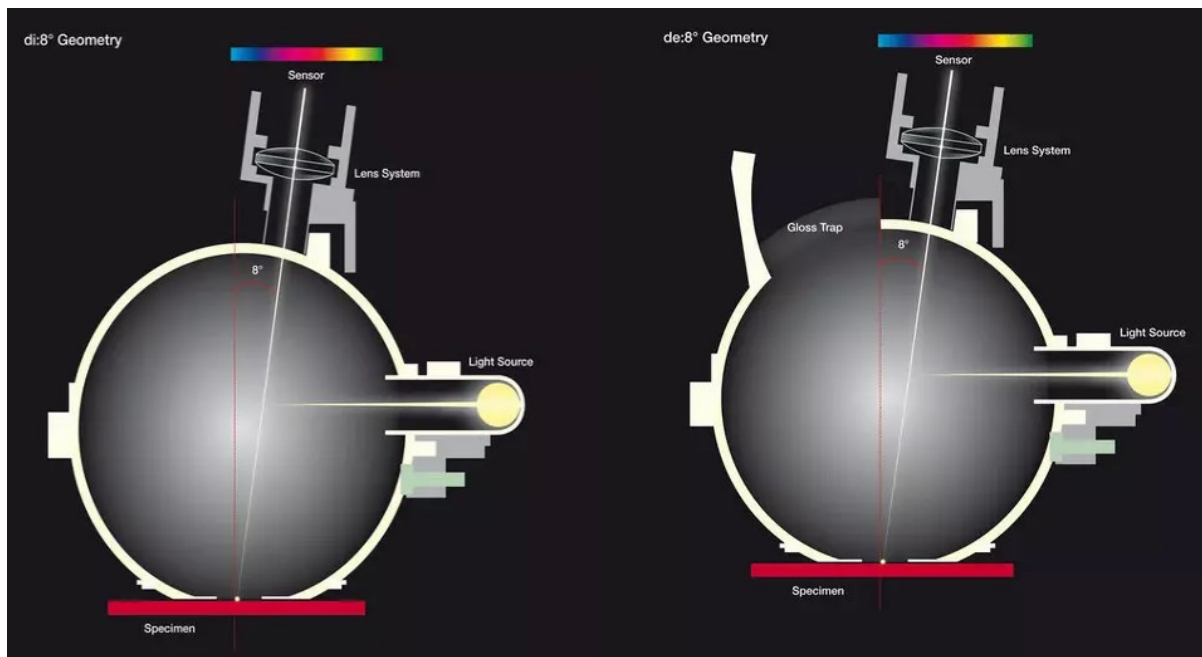
Kuva 12. Mittausgeometriat. (Konica Minolta, 2007, s. 42)



Luvussa 3.3. kerrottiin, että ihmiset tunnistavat kohteen värin katsomalla hajaheijastusta. Hajaheijastusta on olemassa kahta lajia; heijastusta kohteen sisällä ja heijastusta kohteen

pinnalla. Jos pinnan tekstuuri muuttuu, värit näyttävät erilaisilta. Esimerkiksi, jos kappaleen pintaa karhennetaan ei sisäpuolelta tuleva diffuusiheijastus muutu, mutta pinnan diffuusiheijastus muuttuu, jolloin spekulaarisen heijastuksen ja diffuusiheijastuksen määrä muuttuu. Mittaustapaa, jossa spekulaarinen heijastus on suljettu pois mittauksista kutsutaan SCE:ksi (Specular Component Excluded) ja sitä käytetään kun halutaan varmistaa, että väri vastaa väristandardeja. Mikäli spekulaarinen heijastus sisällytetään mittaukseen, kutsutaan mittaustapaa SCI:ksi (Specular Component Included.) SCI:tä käytetään kun mitataan kokonaisulkonäköä pintaolosuhteista riippumatta, menetelmä on tehokas kun värielementtejä säädetään tuotantotasolla. (Konica Minolta, 2007, ss. 41–42) Kuvassa 13 esitetty mittaustavat SCI, $d_i:8^\circ$ ja SCE, $d_e:8^\circ$, joita yhtiön spektrofotometri tukee.

Kuva 13. Mittaustavat SCI, $d_i:8^\circ$ ja SCE, $d_e:8^\circ$. (Konica Minolta, n.d.)

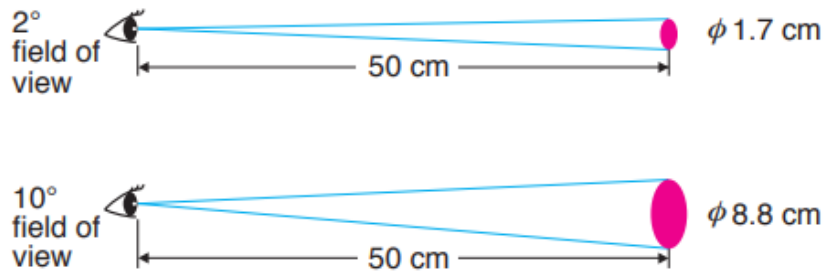


3.5 Observiserit suom. Havait sijakulma

Silmän väriaste muuttuu katselukulman mukaan. CIE määritteli alun perin standardi observiserin vuonna 1931 käyttämällä 2° näkökenttää. Vuonna 1964 määriteltiin toinen observiser täydentäväksi observiseriksi, tällä kertaa 10° näkökenttään. Näin saatiin käsitys siitä millainen 2° näkökenttä verrattuna 10° näkökenttään 50 cm katseluetäisyydellä.

Kuvassa 14 katselukulmat 2° ja 10° visualisoituna. Katselukulmalla on merkitys, kun valitaan observiser. Observiseriksi valitaan 2° kun katselukulma on 1° – 4° ja observiser 10° kun kulma ylittää 4° . (Konica Minolta, 2007, s. 60)

Kuva 14. Katselukulmat 2° ja 10° . (Konica Minolta, 2007, s. 60)



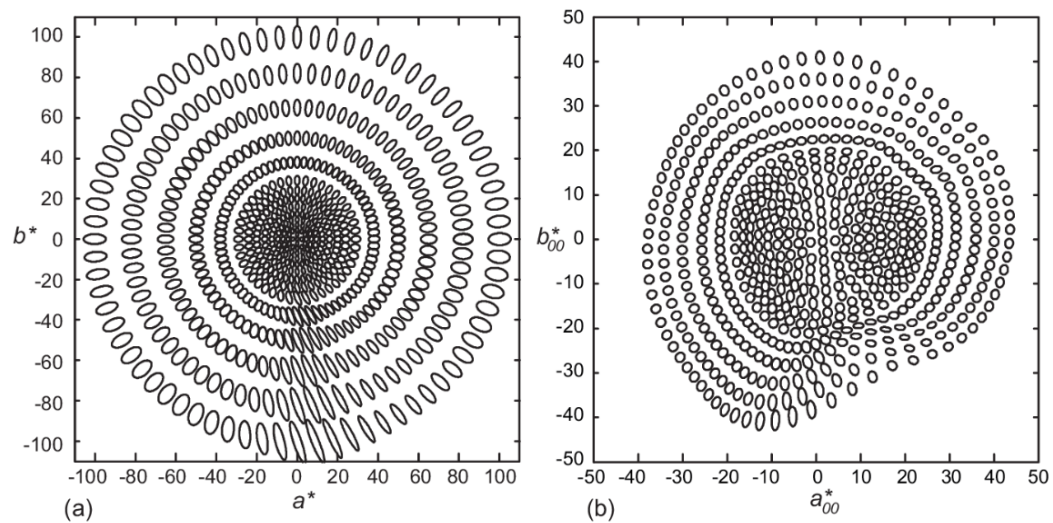
4 Väritoleranssit ja mittaustuloksien analysointi

Teollisuudessa värinmittausta voidaan pitää yhtenä laadunhallinnan työkaluna, tuotteille voidaan asettaa väritoleranssit. Väritoleransseja voidaan määrittää kokonaisvärierolle ΔE^* :lle sekä suuntakohtaisesti vaaleuserolle ΔL^* , punainen-vihreä erolle Δa^* tai keltainen-sininen erolle Δb^* . Toleransseilla voidaan määrittää, ettei sävy saa poiketa negatiiviseen tai positiiviseen suuntaan tai sallia kyseiselle akselille suurempi toleranssi kuin muille akseleille.

4.1 Brändikohtaisten toleranssien määrittäminen

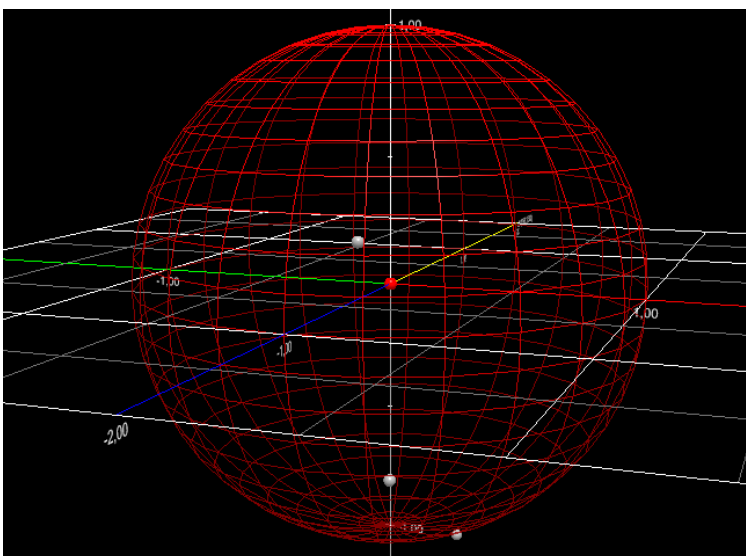
Luvussa 2 todettiin, että värierojen visuaalinen havaittavuus poikkeaa eri värien välillä huomattavasti, joten toleranssien tulisi olla määritelty tähän tietoon nojaten. Koska väriavaruus ei ole lineaarinen, ei toleransseja voida määrittellä vanhempiin kaavoihin perustuen vaan toleranssien määrittelyssä hyödynnetään värierotteluellipsejä ja CIEDE2000 kaavaa. Sävyt vastaanottavat valoa keskenään eri tavalla ja myös muilla sävyjen ominaisuuksilla on eroja värintoistossa. Kuvassa 15 (a) ellipsien kääntyminen CIELAB avaruudessa projisoituna a^*b^* tasolle sekä kuvassa 15 (b) samojen ellipsien muuttuminen euklidiseksi väriavaruudeksi. Nämä kuvat kuvaavat hyvin sitä, että väriavaruuden etäisyydet eivät ole tasavälisiä.

Kuva 15. Ellipsit projisoituina. (Urban;Berns;& Rosen, 2007, s. 5)



Tuotannossa kahden eri kappaleen välille ei saa syntyä liian suurta värieroa, mikä saattaa olla mahdollista mikäli väritoleranssit ovat liian suuria. Jos toleranssi asetetaan targetin ympärille niin, että kahden eri kappaleen värierot ΔE^*_{ab} targetiin nähden ovat yhtä suuria ja toleranssin $\Delta E^*_{ab} = < 1,5$ sisäpuolella, on mahdollista, että näiden kahden osan välinen väriero ΔE^*_{ab} voi olla kaksinkertainen. Edellä mainittu tilanne on mahdollinen, jos kappaleiden värikoordinaatit asettuvat toleranssialueen ääripäihin. Toleranssit targetien ympärillä eivät siis voi olla pallon muotoisia. Kuvassa 16 nähdään SpectraMagic NX -ohjelmistolla luotu pallon muotoinen ΔE^*_{ab} toleranssiraja 3d kuvaajana.

Kuva 16. Pallon muotoinen toleranssiraja CIELAB väriavaruudessa.



Väritoleranssien luominen perustuu vanhempiin kaavoihin, sillä niin kahden vierekkäisen osan välillä on mahdollisuus liian suureen värieroon. Toleranssin asettaminen liian tiukaksi aiheuttaa haasteita valmistavaan tuotantoon, koska osat koneeseen saapuvat eri toimittajilta, joilla on erilaiset valmistusprosessit. Tämä aiheuttaa jo itsessään pieniä värieroja kappaleiden välillä, vaikka käytetty pinnoite olisi sama, sillä maalinkin valmistuksessa voi esiintyä väri vaihtelua. Kaavalla ΔE^*_{ab} laskettujen toleranssirajojen asettaminen toleranssiksi näyttäytyy kuvaajassa pallona ja näin ollen toleranssit rajautuisivat liian tarkkoiksi tai liian suuriksi.

Ratkaisua ongelmaan haetaan brändivärikohtaisilla toleransseilla, mitkä on määritelty käyttämällä apuna uudempaa CIEDE2000 kaavaa sekä väridiagrammin ellipsejä. Brändivärien koordinaattien sijoittaminen väriavaruuteen ja niiden ympärille CIEDE2000 kaavalla lasketut toleranssit $\Delta E^*_{00} = 1$ auttaa hahmottamaan suunnat joihin toleranssit voidaan pitää suurempina ja mihin ne on syytä asettaa tiukemmiksi. CIEDE2000 kaavalla lasketut toleranssit muodostavat ellipsin muotoiset yksilölliset toleranssit väriavaruuteen. Näiden ellipsien sijoittaminen a^*b^* koordinaatistoon näyttää rajat, mitä voidaan verrata värierotteluellipseihin. Ellipsien sijoittaminen a^*b^* koordinaatistoon ei ota kantaa luminanssiin.

Brändiväritoleransseja lähdetään määrittelemään SCI-mittaustavalla, D65 valotyypillä ja 10° katselukulmalla. Väri targetteina toimii yhtiön uusimmat päävärimallit eli master samplet, joita verrataan maalattuihin näytteisiin spektrofotometrillä mitaten. Master samplejen koordinaatit taulukossa 2.

Taulukko 2. Brändisävyjen päävärimallien koordinaatit.

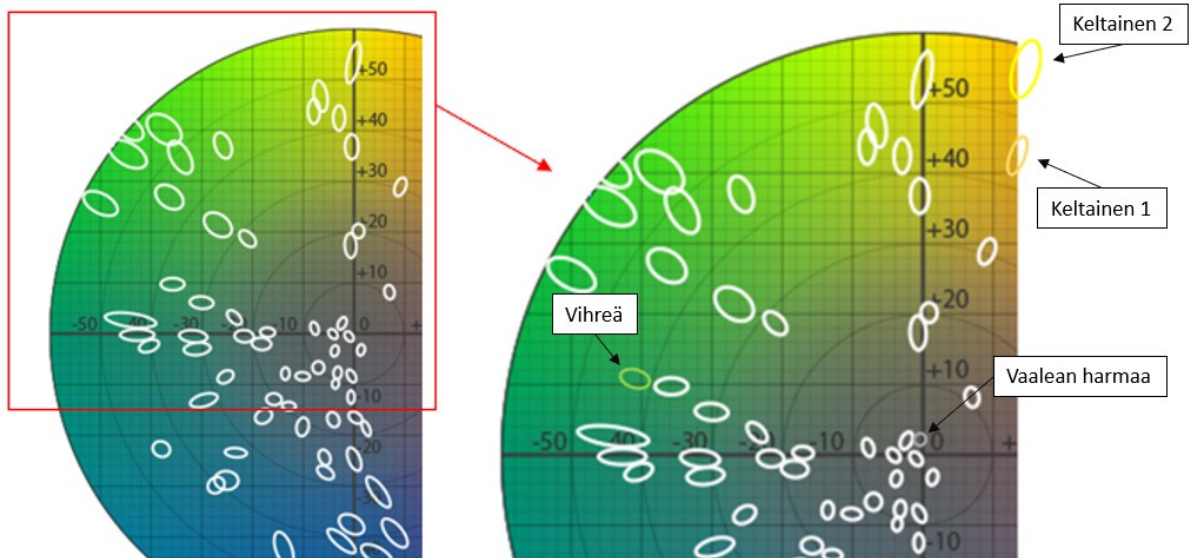
Master sample	Koordinaatit (SCI / D65)
Vihreä	L*65,94 a*-41,48 b*10,85
Keltainen 1	L*61,67 a*13,56 b*41,37
Vaalean harmaa	L*83,30 a*-0,63 b*2,04
Keltainen 2	L*66,12 a*15,38 b*55,05

Master samplejen koordinaateille asetettiin $\Delta E^*_{00} = 1$ toleranssit ja niitä verrattiin luvussa 2.4. esiteltyihin värierotteluellipseihin asettamalle ne samaan a^*b^* -koordinaatistoon.

Värierotteluellipsien ja toleranssirajojen välillä havaittiin korrelaatio. $\Delta E^*_{00} = 1$ toleranssin

a^*b^* ellipsit ovat saman suuntaisia kuin a^*b^* -koordinaatistossa esitetyt värierotteluellipsit. Havainto esitetään kuvassa 17. Kuvassa värilliset ellipsit kuvaavat brändisävyjen $\Delta E^*_{00} = 1$ toleranssirajoja ja valkoiset ellipsit ovat värinerotteluellipsejä.

Kuva 17. Ellipsit piirrettynä a^*b^* koordinaatistoon. Alkuperäinen kuva (Konica Minolta, n.d.)

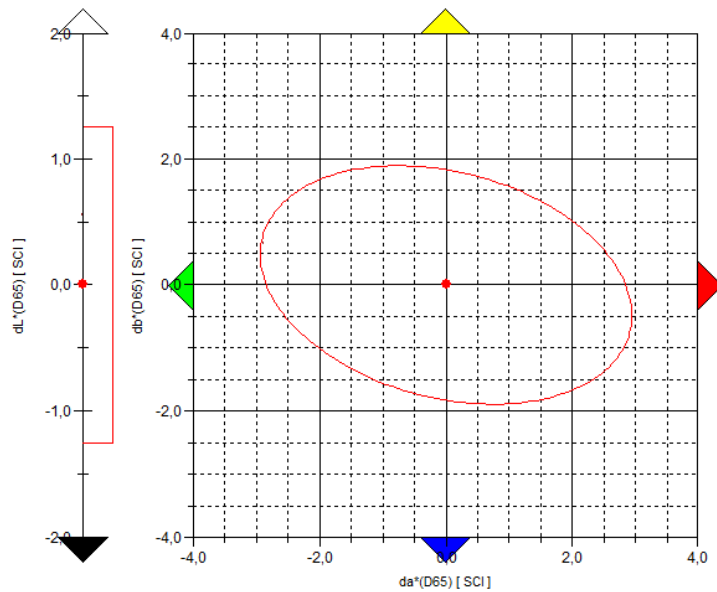


Esiintynyt korrelaatio näyttää $\Delta E^*_{00} = 1$ toleranssin olevan turvallinen asetus kaikille yhtiön käytössä oleville väreille. Tämä antaa myös vanhemmasta laskentakaavasta poikkeavat liikkumavarat horisontaalisissa a^* ja b^* suunnissa sekä vertikaalisessa L^* suunnassa. Ellipsien muoto ja koko ellipsien koko ovat pienimmillään lähellä origoa, harmaan alueella. Ellipsien koko kasvaa kylläisyyden lisääntyessä, joten värit mustasta valkoiseen ovat herkkiä sävy muutoksille olemattoman värikylläisyytensä vuoksi, eli a^* ja b^* -akselien sävy muutokset näkyvät varsin selkeästi.

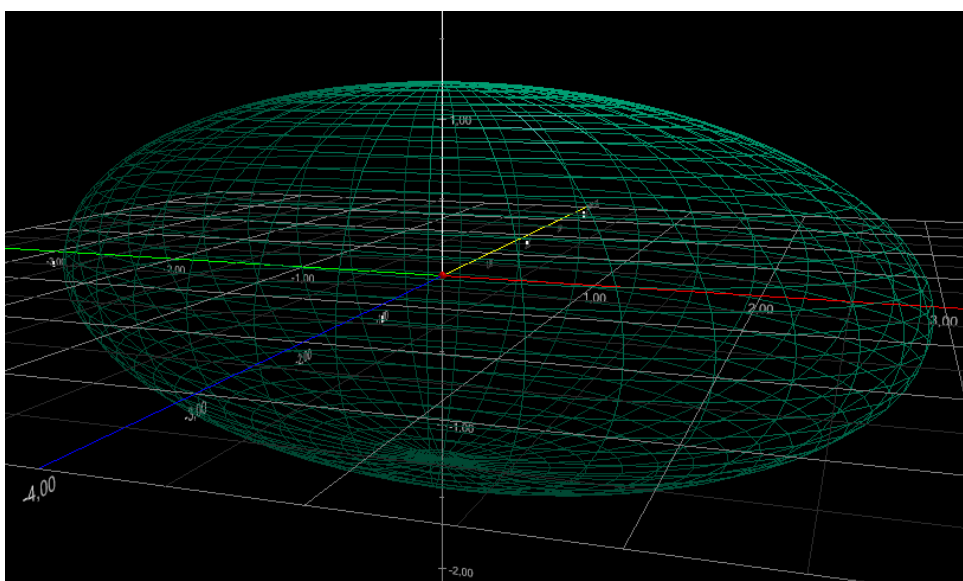
4.1.1 Vihreän toleranssirajat

Ellipsin asento kuvaajassa näyttää, että liikkumavaraa on a^* -akselin suuntaisesti, mutta b^* -akselilla liikkuminen tuo värierot esiin herkemmin. Kuvassa 18 ja 19 SpectraMagic NX mittausdatan käsittelyohjelmistolla tehdyt koordinaatisto ja 3d-kuvaajat.

Kuva 18. Vihreän toleranssirajat piirrettynä koordinaatistoon.



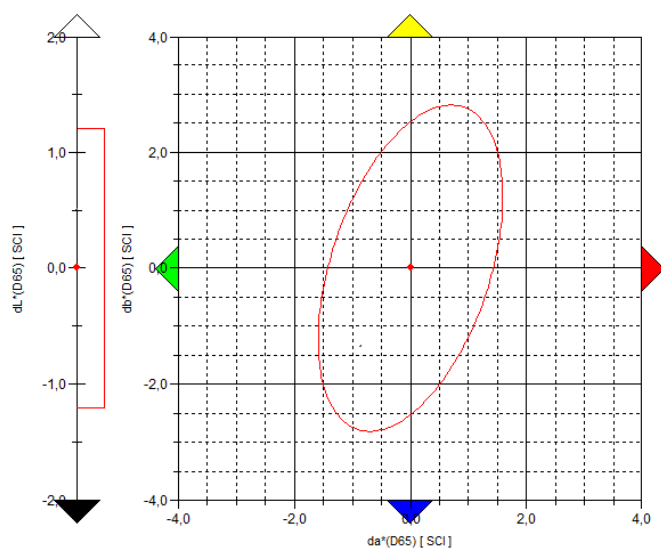
Kuva 19. Vihreän toleranssirajat kuvattuna 3d-kuvaajassa.



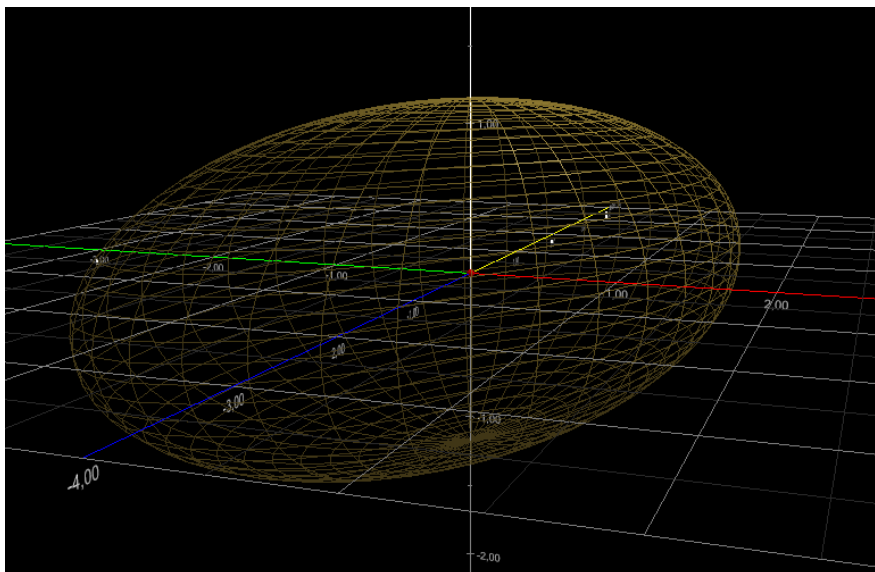
4.1.2 Keltaisen 1 toleranssirajat

Ellipsin asento on edelliseen väriin nähden erisuuntainen. Tämän sävyn alueella värierot näkyvät herkemmin, kun liikutaan a^* -akselin suuntaisesti, kun taas b^* -akselilla esiintyvä väriero ei esiinny yhtä selkeästi. Tämä keltaisen sävy ei ole kirkas, jolloin värierot L -akselilla näkyvät myös herkemmin. Kuvassa 20 ja 21 SpectraMagic NX -ohjelmistolla tehdyt koordinaatisto ja 3d-kuvaajat.

Kuva 20. Keltaisen 1 toleranssirajat piirrettynä koordinaatistoon.



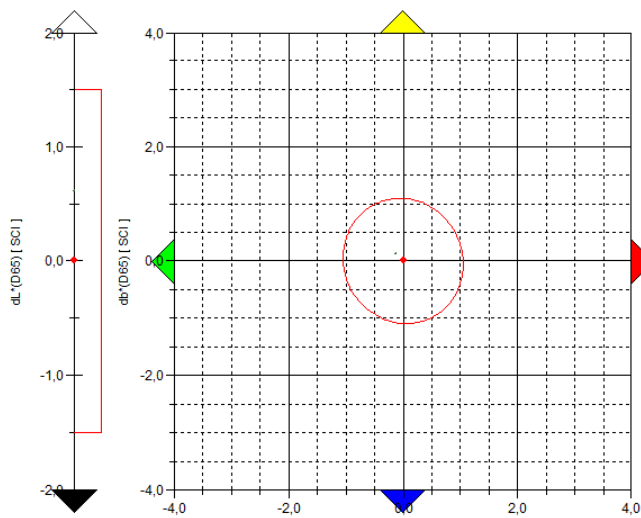
Kuva 21. Keltaisen 1 toleranssirajat kuvattuna 3d-kuvaajassa.



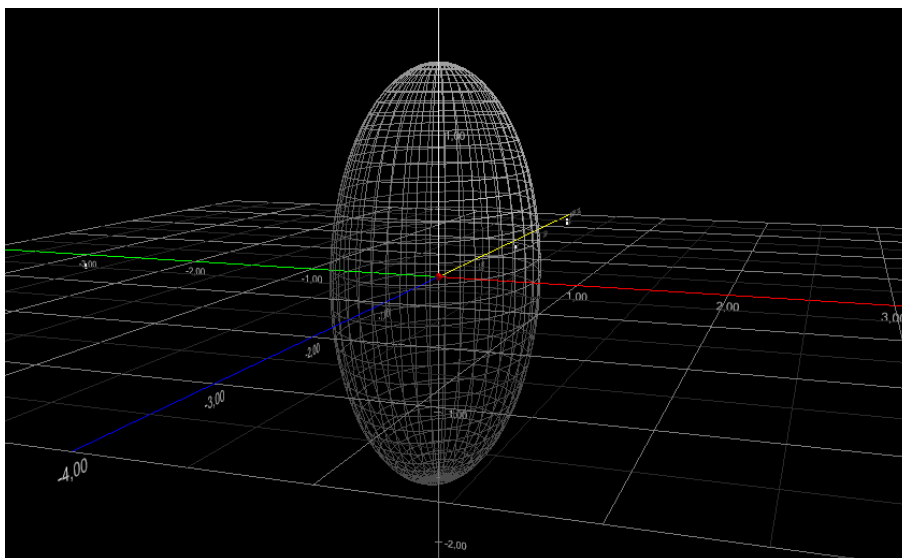
4.1.3 Vaalean harmaan toleranssirajat

Ellipsin asento tässä värissä kapea ja liikkumavaraa on enemmän L^* -akselilla pysty suuntainen. Harmaan sävyt ovat todella herkkiä sävymuutoksille olemattoman kylläisyyden vuoksi. Tästä syystä kaikkien kolmen akselin suunnat ovat herkkiä mutta muutokset a^* ja b^* -akseleilla ovat todella kriittisiä. Vaaleassa harmaassa värissä ei sävyeroja saisi esiintyä millään akselilla ja tämä asettaa myös kriittisemmät arvot sävymuutoksille. Kuvassa 22 ja 23 SpectraMagic NX -ohjelmistolla tehdyt koordinaatisto ja 3d-kuvaajat.

Kuva 22. Vaalean harmaan toleranssirajat piirrettynä koordinaatistoon.



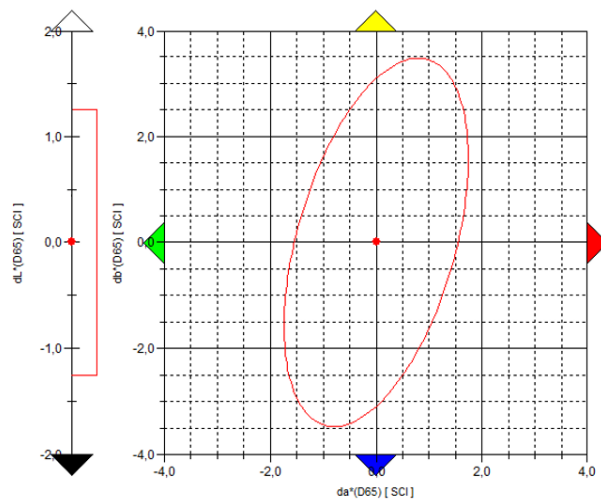
Kuva 23. Vaalean harmaan toleranssirajat kuvattuna 3d-kuvaajassa.



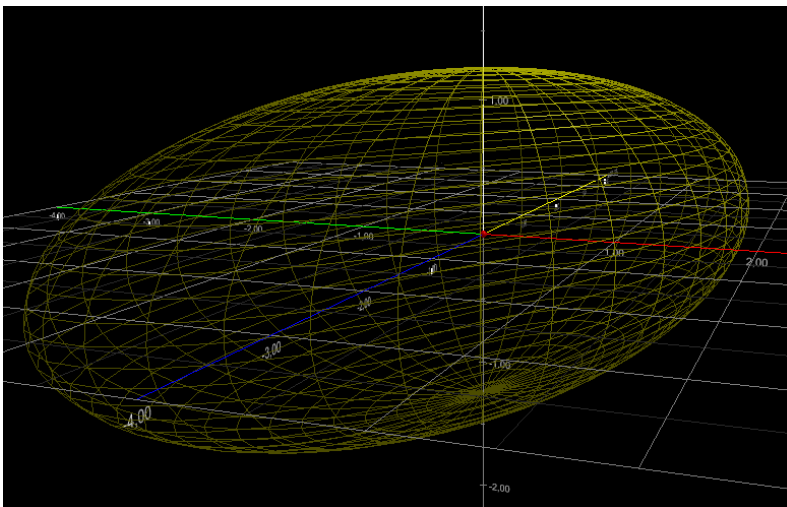
4.1.4 Keltaisen 2 toleranssirajat

Ellipsien asento kirkkaan keltaisella alueella on saman suuntainen kuin keltaisella 1. Sävymuutokset erottuvat selkeämmin a^* -akselin suunnassa ja b^* -akselilla on enemmän liikkumavaraa. Keltainen 2 on kylläinen väri, värierot eivät näy yhtä selkeästi kylläisissä kuin vähemmän kirkkaissa sävyissä. Näin ollen tämä sävy ei ole niin herkkä sävymuutoksille kuin muut brändivärit. Tästä johtuen keltaisen 2 toleranssit voi olla hieman suurempi kuin keltaisella 1. Kuvassa 24 ja 25 SpectraMagic NX -ohjelmistolla tehdyt koordinaatisto ja 3d-kuvaajat.

Kuva 24. Keltaisen 2 toleranssirajat piirrettynä koordinaatistoon.



Kuva 25. Keltaisen 2 toleranssirajat kuvattuna 3d-kuvaajassa.



4.2 Värin tarkastelu ja väritoleranssit

Yhtiön Suomen tehtaalla värin tarkastusta on tehty visuaalisesti vertailemalla värinäytteitä toisiinsa eri ympäristöissä. Värinäytteiden visuaaliseen vertailuun on osallistunut kahdesta kolmeen henkilöä. Ulkovaloa on pidetty määrittävänä valonlähteenä ja sisätilojen valaistusta vertailuvalaistuksena. Vuonna 2021 yhtiö investoi Konica Minoltan kannettavaan CM-23d spektrofotometriin, jonka käyttöä on yhtiössä omatoimisesti harjoiteltu. Myös yhtiön sisartehtas käyttää Konica Minoltan spektrofotometriä tuotannossa, jossa tämä on aktiivisesti käytössä tarkastustoimissa.

Visuaalinen tarkastelu on aina suuntaa antavaa, eikä siihen voida täysin luottaa. Kun väreille annetaan toleranssit, myös toimittajien tulee niitä noudattaa. Värimittaus yksinkertaistaa yhteistyötä toimittajien kanssa, kun keskustelut käydään arvojen ympärillä, eikä mielipiteisiin perustuen.

4.3 Sävyinäytteet verrattuna sävytoleransseihin

Neljän brändivärin jauhemaalien eräkohtaisia eroja mitattiin jokaisen värin viidestä eri maaliärsästä, sekä kolmesta tuotannon eri kappaleesta. Tuotannon kolmesta kappaleesta kahta jauhemaalataan kahdella eri toimittajalla ja yhtä märkämaalataan yhtiön tuotannossa. Jokaisesta kolmesta tuotannon kappaleesta otettiin kolmesta eri yksilöstä näyte, eli tuotannon kappaleista otettuja näytteitä on yhdeksän brändiväriä kohti.

Mittaukset suoritettiin yhtiön spektrofotometrillä seuraavilla parametreilla:

- Mittaustapa: SCI
- Valonlähteet: D65 ja F11
- Katselukulma: 10°

Mittaustuloksia analysoidaan ja verrataan luvussa 6 kaavailtuihin sävytoleransseihin.

4.3.1 Vihreä

Vihreän mittauksissa ilmenee määriteltyjen toleranssien ylittymisiä. Vihreä väri sallii lähes kolmen yksikön muutoksen origosta a^* -akselin suunnassa, mikäli L^* -akselin suunnassa ei ole muutoksia targetiin nähden. Tästä huolimatta osa näytteistä ylittää toleranssit a^* -akselin suunnassa. Taulukossa 3 on viiden jauhemaalierän mitatut arvot verrattuna määriteltyihin toleransseihin, kun valonlähteenä on D65. Taulukossa 4 on samat mittaukset, mutta valonlähteeksi on asetettu F11. Jauhemaalierien näytteet 2, 4 ja 5 ovat targetia vihreämpiä ja näyte 4 on myös keltaisempi kuin muut näytteet. Jauhemaalierien näytteet 1 ja 3 ovat toleranssirajojen sisäpuolella tarkasteltaessa tuloksia valonlähteellä D65. Valonlähteen asettaminen F11:ksi muuttaa tilannetta, tällöin toleranssiraja hieman kapenee ja metameriaa ilmenee varsinkin märkemaalien kohdalla. Jokainen mittaus ylittää toleranssirajat tarkastellessa vihreää valonlähteellä F11.

Taulukko 3. Jauhemaalierien mitatut arvot. Valonlähteenä D65.

	Judgement	$L^*(D65)$	$a^*(D65)$	$b^*(D65)$	$dL^*(D65)$	$da^*(D65)$	$db^*(D65)$	$dE00(D65)$
Target	----	65,94	-41,48	10,85	----	----	----	----
1	PASS	66,62	-42,96	10,75	0,69	-1,48	-0,10	0,78
2	FAIL	66,69	-44,46	11,10	0,75	-2,98	0,25	1,19
3	PASS	66,52	-43,98	11,29	0,58	-2,50	0,44	0,98
4	FAIL	66,56	-44,48	11,97	0,62	-3,00	1,12	1,19
5	FAIL	66,49	-44,36	11,51	0,55	-2,88	0,66	1,08

Taulukko 4. Jauhemaalierien mitatut arvot. Valonlähteenä F11.

	Judgement	$L^*(F11)$	$a^*(F11)$	$b^*(F11)$	$dL^*(F11)$	$da^*(F11)$	$db^*(F11)$	$dE00(F11)$
Target	----	64,04	-37,18	9,51	----	----	----	----
1	FAIL	64,70	-39,47	9,25	0,66	-2,29	-0,26	1,06
2	FAIL	64,66	-40,55	9,47	0,62	-3,37	-0,04	1,37
3	FAIL	64,52	-40,07	9,70	0,48	-2,88	0,20	1,14
4	FAIL	64,58	-40,54	10,39	0,55	-3,36	0,89	1,32
5	FAIL	64,49	-40,40	9,95	0,45	-3,22	0,45	1,23

Taulukoissa 6 ja 7 on esitetty mittaustulokset, joista kolme näytettä on maalattu märkämaalilla omassa tuotannossa sekä kolme jauhemaalinäytettä kahdelta eri toimittajalta.

Mittaustuloksista voidaan päätellä, ettei toimittajien välillä ole suuria eroja maalausprosesseissaan. Tulokset ovat saman suuntaisia jauhemaalierien kanssa eikä merkittävää vaihtelua näiden välillä esiinny. Oman tuotannon maalausprosessissa ei esiinny sävyvaihtelua, mutta mitattu sävy on sinivihreä verrattuna master sampleen.

Mittaustulokset piirrettynä koordinaatistoihin kuvissa 26, 27, 28 ja 29. Kuvien 30, 31, 32 ja 33 3d-kuvaajissa visualisoidaan kappaleessa 4 asetetut toleranssirajat sekä mittaustuloksien sijoittuminen.

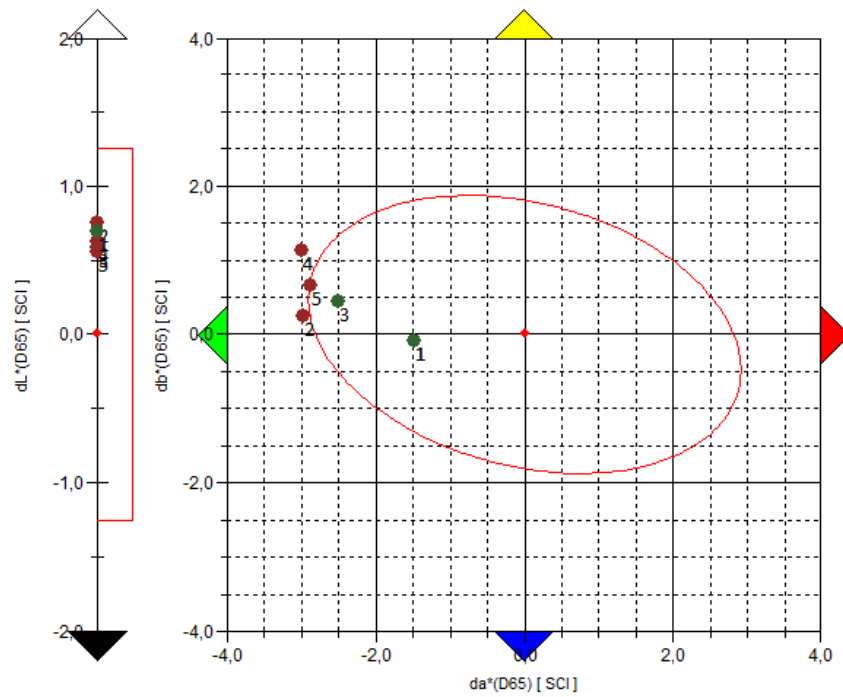
Taulukko 5. Mitatut arvot tuotantokappaleista. Valonlähteenä D65

	Data Name	Judgement	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dL*(D65)	da*(D65)	db*(D65)	dE00(D65)
Target	[Retrieved Data]Target3 (9.5.2023 14:37:54)	----	65,94	-41,48	10,85	----	----	----	----
1	Oma tuotanto, vihreä, näyte 1	FAIL	66,74	-42,97	9,91	0,80	-1,49	-0,94	1,05
2	Oma tuotanto, vihreä, näyte 2	FAIL	66,70	-42,90	9,70	0,77	-1,42	-1,15	1,10
3	Oma tuotanto, vihreä, näyte 3	FAIL	66,71	-42,99	9,81	0,77	-1,51	-1,04	1,08
4	Toimittaja 1, vihreä, näyte 1	FAIL	66,60	-44,29	11,54	0,66	-2,81	0,70	1,11
5	Toimittaja 1, vihreä, näyte 2	PASS	66,71	-43,50	11,53	0,77	-2,02	0,68	0,95
6	Toimittaja 1, vihreä, näyte 3	PASS	66,71	-43,50	11,51	0,77	-2,02	0,67	0,95
7	Toimittaja 2, vihreä, näyte 1	FAIL	66,55	-43,96	11,62	0,62	-2,48	0,77	1,01
8	Toimittaja 2, vihreä, näyte 2	PASS	66,50	-43,97	11,58	0,56	-2,48	0,74	0,98
9	Toimittaja 2, vihreä, näyte 3	PASS	66,47	-43,92	11,60	0,54	-2,44	0,76	0,96

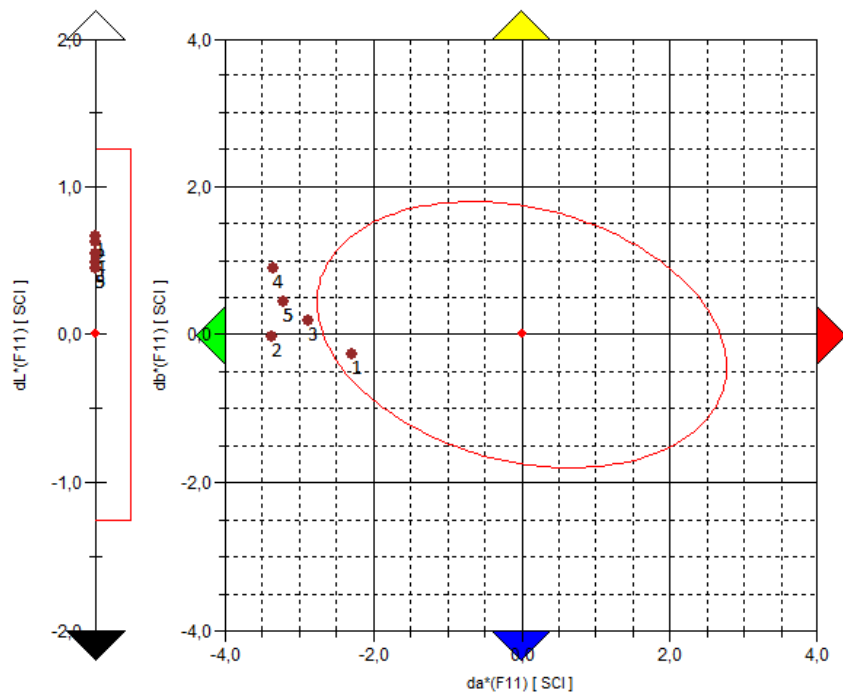
Taulukko 6. Mitatut arvot tuotantokappaleista. Valonlähteenä F11.

	Data Name	Judgement	L*(F11)	a*(F11)	b*(F11)	dL*(F11)	da*(F11)	db*(F11)	dE00(F11)
Target	[Retrieved Data]Target3 (9.5.2023 14:37:54)	----	64,04	-37,18	9,51	----	----	----	----
1	Oma tuotanto, vihreä, näyte 1	FAIL	65,02	-40,11	8,71	0,99	-2,92	-0,80	1,52
2	Oma tuotanto, vihreä, näyte 2	FAIL	64,97	-39,99	8,45	0,93	-2,81	-1,05	1,54
3	Oma tuotanto, vihreä, näyte 3	FAIL	64,98	-40,08	8,58	0,94	-2,90	-0,92	1,53
4	Toimittaja 1, vihreä, näyte 1	FAIL	64,60	-40,38	9,99	0,56	-3,19	0,48	1,26
5	Toimittaja 1, vihreä, näyte 2	FAIL	64,77	-39,77	10,03	0,73	-2,59	0,52	1,13
6	Toimittaja 1, vihreä, näyte 3	FAIL	64,77	-39,75	10,01	0,73	-2,57	0,50	1,12
7	Toimittaja 2, vihreä, näyte 1	FAIL	64,59	-40,08	10,04	0,55	-2,90	0,53	1,16
8	Toimittaja 2, vihreä, näyte 2	FAIL	64,53	-40,08	10,00	0,49	-2,89	0,49	1,14
9	Toimittaja 2, vihreä, näyte 3	FAIL	64,50	-40,04	10,03	0,47	-2,86	0,52	1,12

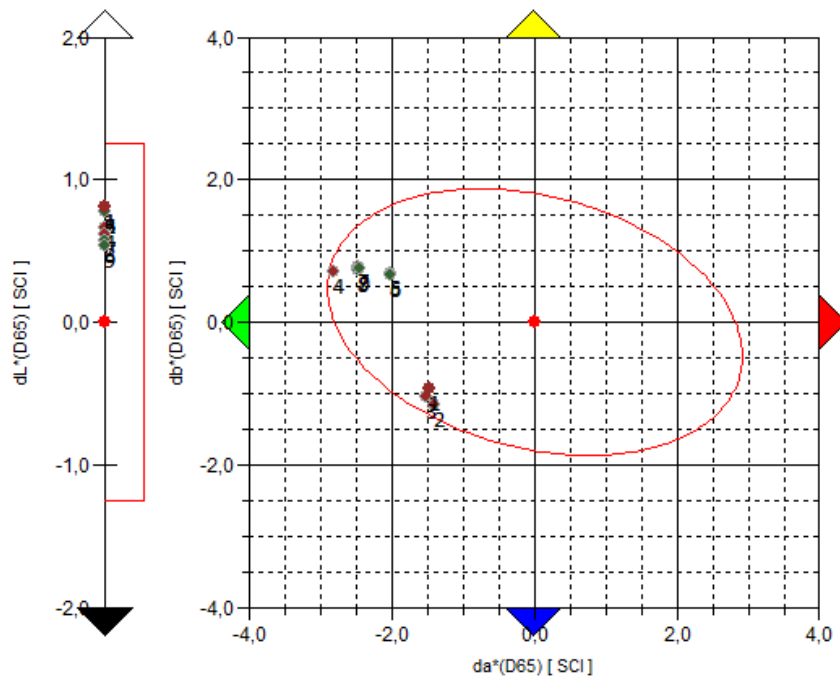
Kuva 26. Jauhemaalierien mittaustulokset koordinaatistossa. Valonlähteenä D65.



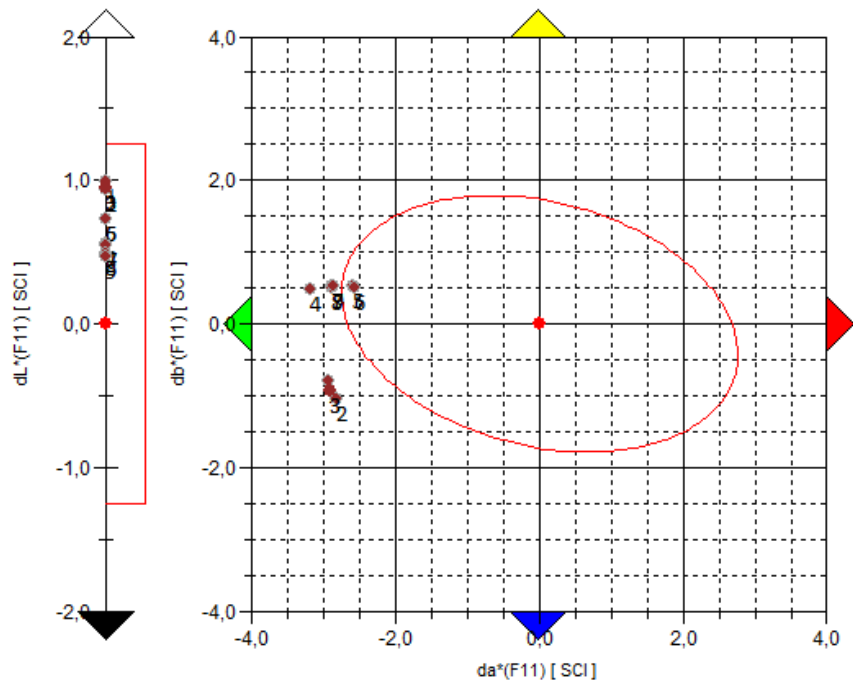
Kuva 27. Jauhemaalierien mittaustulokset koordinaatistossa. Valonlähteenä F11.



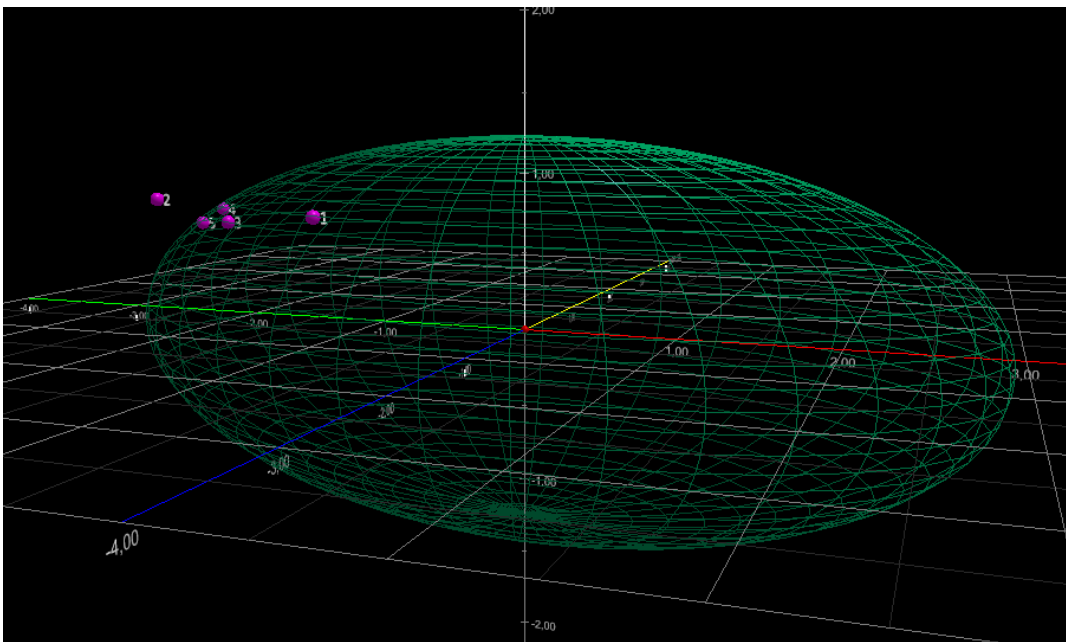
Kuva 28. Tuotantokappaleiden mitatut arvot koordinaatistossa. Valonlähteenä D65.



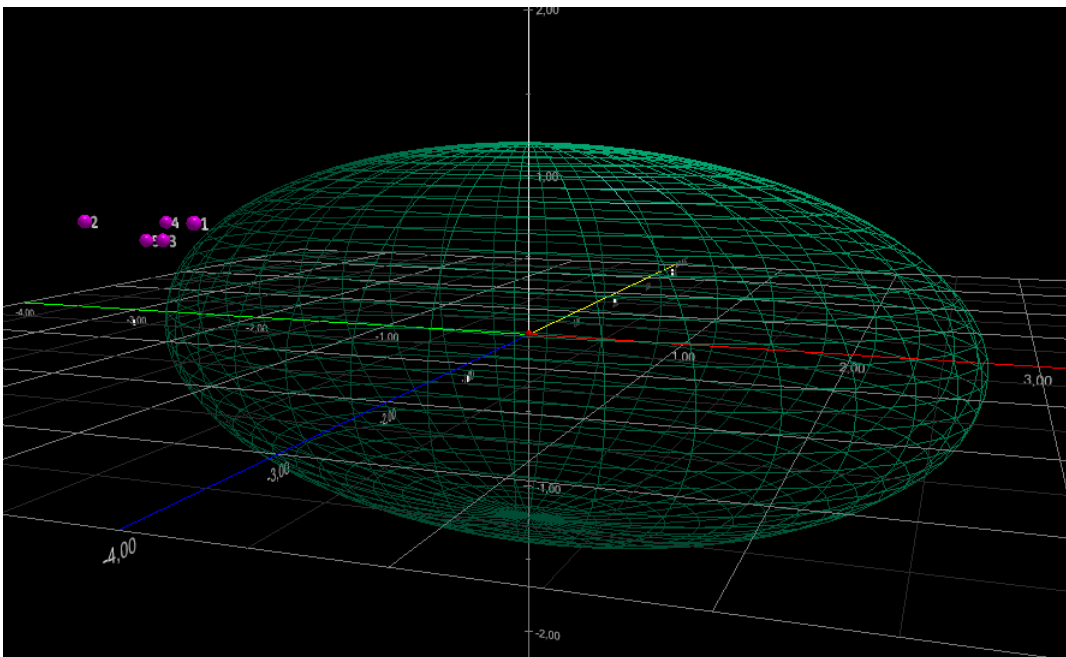
Kuva 29. Tuotantokappaleiden mitatut arvot koordinaatistossa. Valonlähteenä F11.



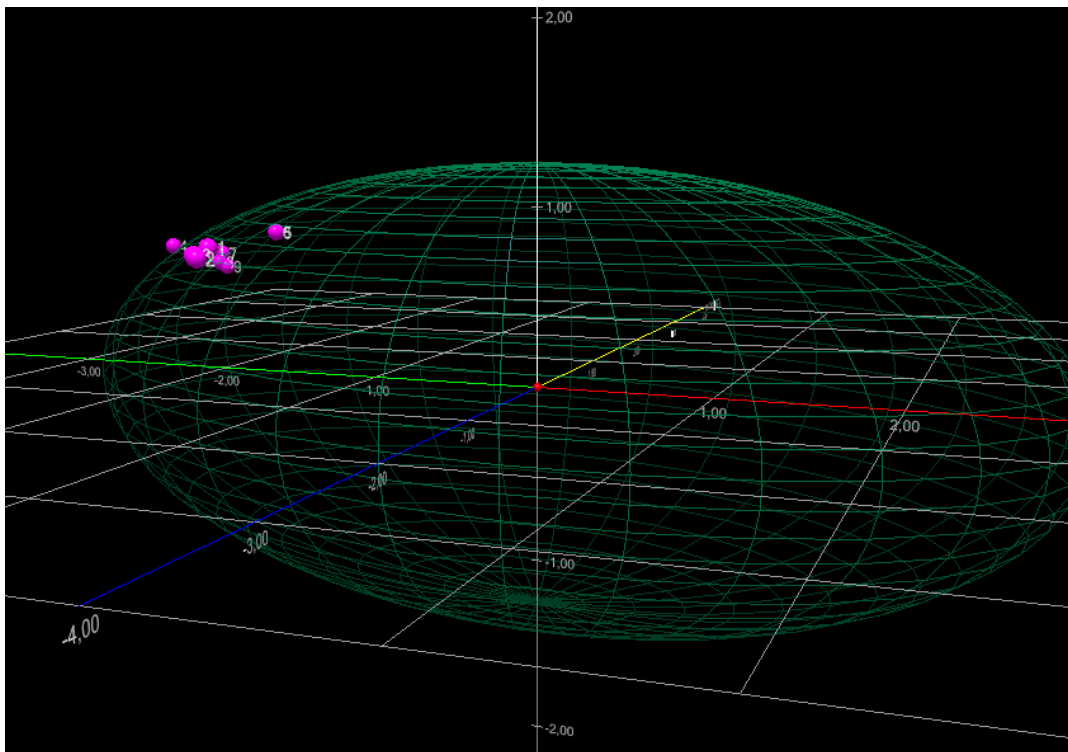
Kuva 30. Jauhemaalierien mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähteenä D65.



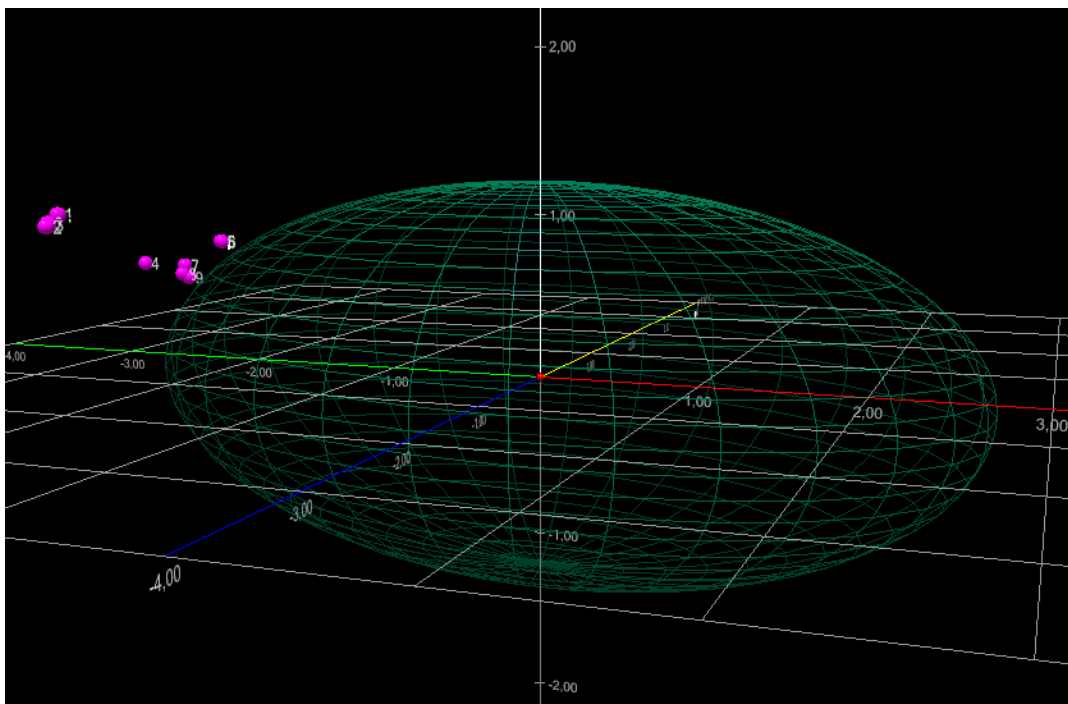
Kuva 31. Jauhemaalierien mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähteenä F11.



Kuva 32. Tuotantokappaleiden mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähteenä D65.



Kuva 33. Tuotantokappaleiden mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähteenä F11.



4.3.2 Keltainen 1

Keltaisen 1 mittauksissa näytteet ovat targetia vaaleampia, sinisempiä ja vihreämpiä, mutta näytteet ovat toleranssirajojen sisällä. Taulukossa 7 on viiden jauhemaalierän mitatut arvot verrattuna määriteltyihin toleransseihin, kun valonlähteenä on D65. Taulukossa 8 on samat mittaukset, mutta valonlähteeksi on asetettu F11. Jauhemaalierien näytteet ovat targetia vihreämpiä ja sinisempiä.

Taulukko 7. Jauhemaalierien mitatut arvot. Valonlähteenä D65.

	Judgement	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dL*(D65)	da*(D65)	db*(D65)	dE00(D65)
Target	---	61,61	13,47	41,35	---	---	---	---
1	PASS	62,40	12,87	39,90	0,80	-0,59	-1,45	0,87
2	PASS	62,48	12,71	39,81	0,87	-0,75	-1,54	0,96
3	PASS	62,26	12,71	39,86	0,66	-0,75	-1,49	0,82
4	PASS	62,32	12,62	39,65	0,72	-0,85	-1,70	0,91
5	PASS	62,11	12,62	40,00	0,51	-0,85	-1,35	0,74

Taulukko 8. Jauhemaalierien mitatut arvot. Valonlähteenä F11.

	Judgement	L*(F11)	a*(F11)	b*(F11)	dL*(F11)	da*(F11)	db*(F11)	dE00(F11)
Target	---	64,17	9,77	46,18	---	---	---	---
1	PASS	64,98	9,04	44,80	0,82	-0,72	-1,38	0,89
2	PASS	65,05	8,90	44,70	0,89	-0,87	-1,49	0,98
3	PASS	64,83	8,92	44,75	0,66	-0,85	-1,44	0,84
4	PASS	64,88	8,79	44,52	0,72	-0,98	-1,66	0,95
5	PASS	64,69	8,74	44,90	0,52	-1,03	-1,28	0,84

Taulukoissa 9 ja 10 on esitetty mittaustulokset, joista kolme näytettä on maalattu märkämaalilla omassa tuotannossa sekä kolme jauhemaalinäytettä kahdelta eri toimittajalta.

Keltaisen 1 mittauksissa ei ilmene määriteltyjen toleranssien ylittymisiä toimittajien jauhemaaleissa, eikä oman tuotannon maalaamissa märkämaali näytteissä. Keltainen väri sallii yli 2 yksikön muutoksen origosta b* -akselin suunnassa, mikäli L* -akselin suunnassa ei ole muutoksia targettiin nähden. Metameriaa ei keltaisessa 1 esiinny merkittävästi, kaikki näytteet ovat määriteltyjen toleranssirajojen sisällä molemmilla valonlähteillä mitattuna.

Mittaustuloksista voidaan päätellä, ettei toimittajien välillä ole suuria eroja maalausprosesseissaan. Tulokset ovat saman suuntaisia jauhemaalierien kanssa eikä

merkittävää vaihtelua näiden välillä esiinny. Oman tuotannon maalausprosessissa ei esiinny sävyvaihtelua, mutta mitattu väri on tummempi ja sinisempi verrattuna master sampleen. Kuvissa 34, 35, 36 ja 37 mittaustulokset ovat piirrettynä koordinaatistoihin. Kuvien 38, 39, 40 ja 41 3d-kuvaajissa visualisoidaan kappaleessa 4 asetetut toleranssirajat sekä mittaustuloksien sijoittuminen.

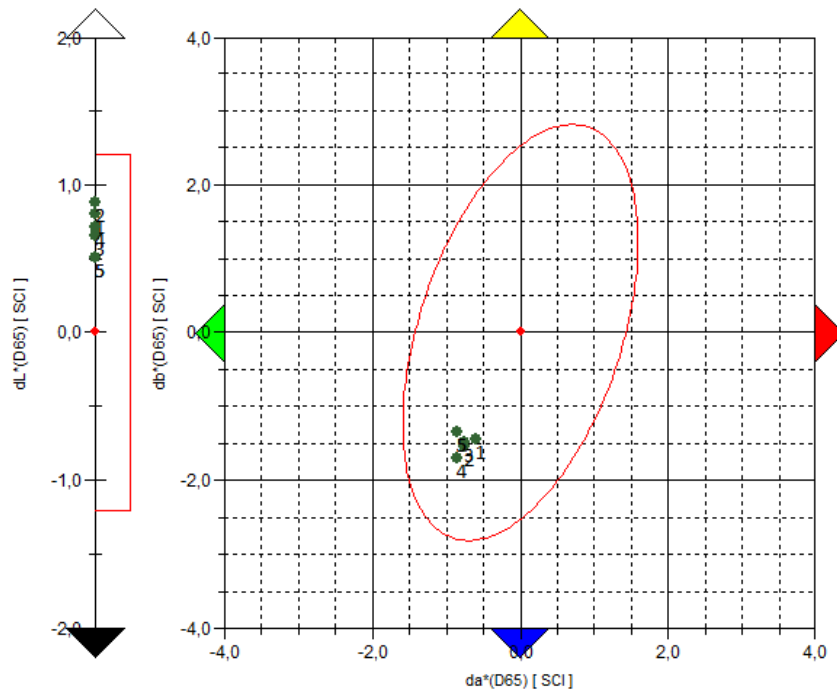
Taulukko 9. Tuotantokappaleiden mitatut arvot. Valonlähteellä D65.

	Data Name	Judgement	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dL*(D65)	da*(D65)	db*(D65)	dE00(D65)
Target	[Retrieved Data]Target2 (9.5.2023 14:37:54)	----	61,61	13,47	41,35	----	----	----	----
1	Oma tuotanto, keltainen 1, näyte 1	PASS	61,37	13,05	39,90	-0,24	-0,42	-1,45	0,56
2	Oma tuotanto, keltainen 1, näyte 2	PASS	61,57	12,96	40,03	-0,04	-0,50	-1,32	0,49
3	Oma tuotanto, keltainen 1, näyte 3	PASS	61,23	13,06	40,04	-0,38	-0,41	-1,31	0,57
4	Toimittaja 1, keltainen 1, näyte 1	PASS	62,21	12,51	39,77	0,60	-0,96	-1,58	0,86
5	Toimittaja 1, keltainen 1, näyte 2	PASS	62,17	12,48	39,66	0,57	-0,98	-1,69	0,87
6	Toimittaja 1, keltainen 1, näyte 3	PASS	62,19	12,49	39,74	0,58	-0,97	-1,61	0,87
7	Toimittaja 2, keltainen 1, näyte 1	PASS	61,96	12,29	40,07	0,35	-1,17	-1,28	0,82
8	Toimittaja 2, keltainen 1, näyte 2	PASS	61,95	12,43	39,81	0,34	-1,04	-1,54	0,78
9	Toimittaja 2, keltainen 1, näyte 3	PASS	61,95	12,35	39,83	0,35	-1,12	-1,52	0,81

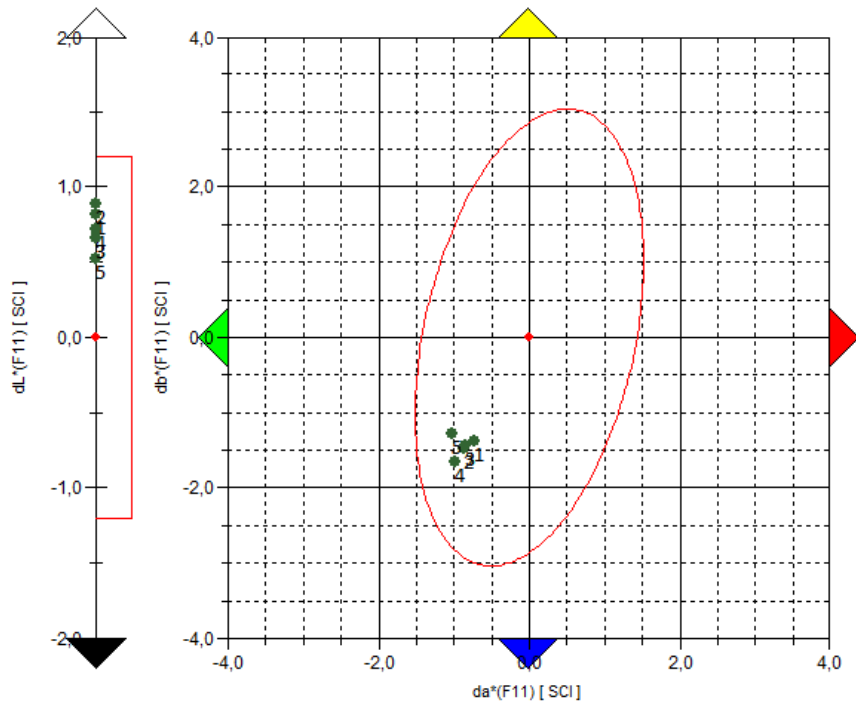
Taulukko 10. Tuotantokappaleiden mitatut arvot. Valonlähteellä F11.

	Data Name	Judgement	L*(F11)	a*(F11)	b*(F11)	dL*(F11)	da*(F11)	db*(F11)	dE00(F11)
Target	[Retrieved Data]Target2 (9.5.2023 14:37:54)	----	64,17	9,77	46,18	----	----	----	----
1	Oma tuotanto, keltainen 1, näyte 1	PASS	63,96	9,43	44,85	-0,21	-0,34	-1,33	0,48
2	Oma tuotanto, keltainen 1, näyte 2	PASS	64,16	9,34	44,98	-0,00	-0,43	-1,20	0,43
3	Oma tuotanto, keltainen 1, näyte 3	PASS	63,82	9,43	45,00	-0,35	-0,34	-1,18	0,49
4	Toimittaja 1, keltainen 1, näyte 1	PASS	64,78	8,65	44,65	0,61	-1,12	-1,53	0,95
5	Toimittaja 1, keltainen 1, näyte 2	PASS	64,74	8,62	44,52	0,57	-1,15	-1,66	0,95
6	Toimittaja 1, keltainen 1, näyte 3	PASS	64,76	8,63	44,61	0,59	-1,14	-1,57	0,95
7	Toimittaja 2, keltainen 1, näyte 1	PASS	64,54	8,41	44,97	0,37	-1,36	-1,21	0,97
8	Toimittaja 2, keltainen 1, näyte 2	PASS	64,52	8,60	44,69	0,35	-1,17	-1,49	0,87
9	Toimittaja 2, keltainen 1, näyte 3	PASS	64,52	8,51	44,71	0,36	-1,25	-1,47	0,92

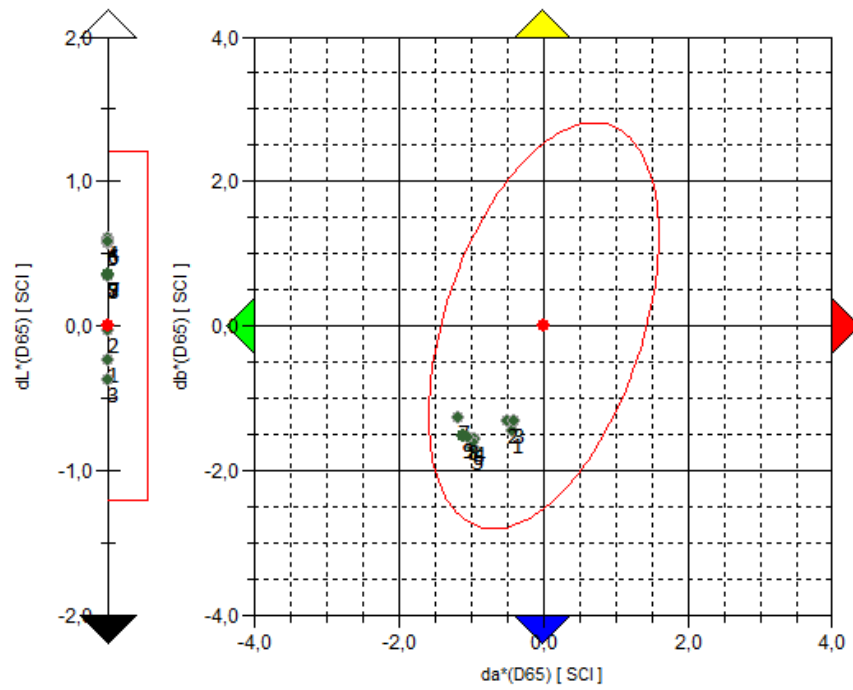
Kuva 34. Jauhemaalierien mitatut arvot koordinaatistossa. Valonlähteellä D65.



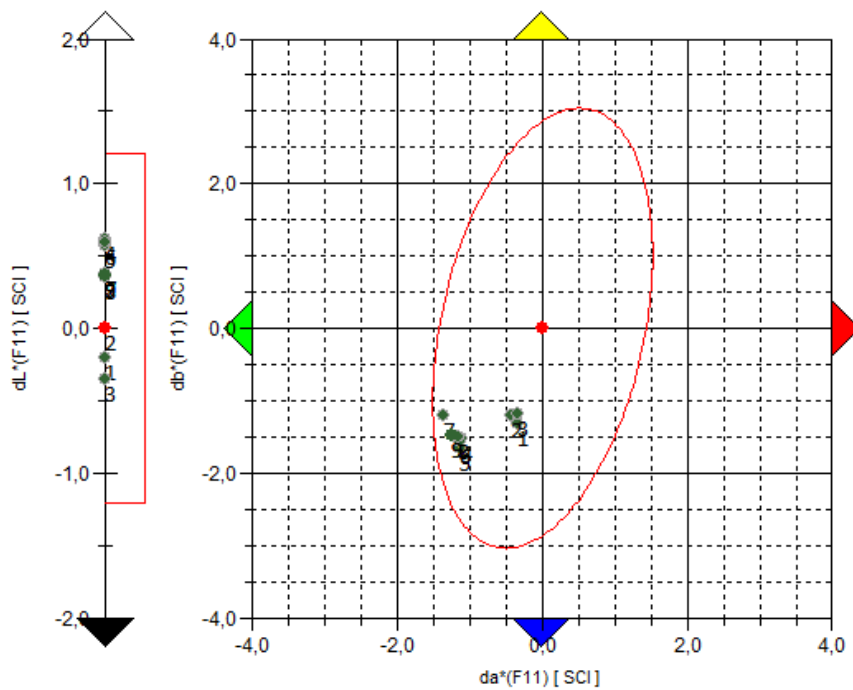
Kuva 35. Jauhemaalierien mitatut arvot koordinaatistossa. Valonlähteellä F11.



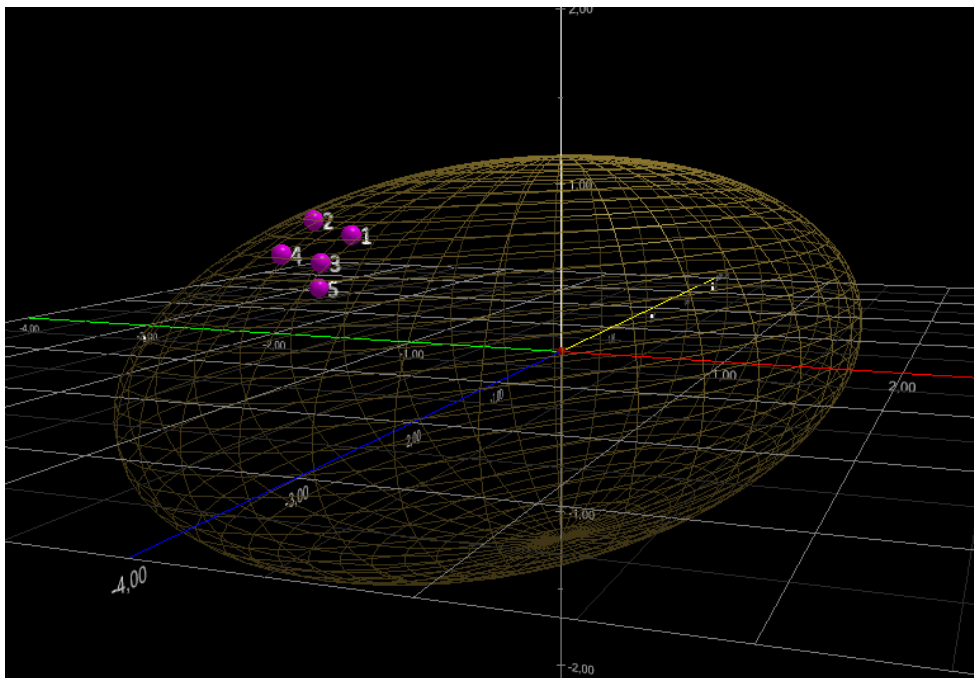
Kuva 36. Tuotantokappaleiden mitatut arvot koordinaatistossa. Valonlähteenä D65.



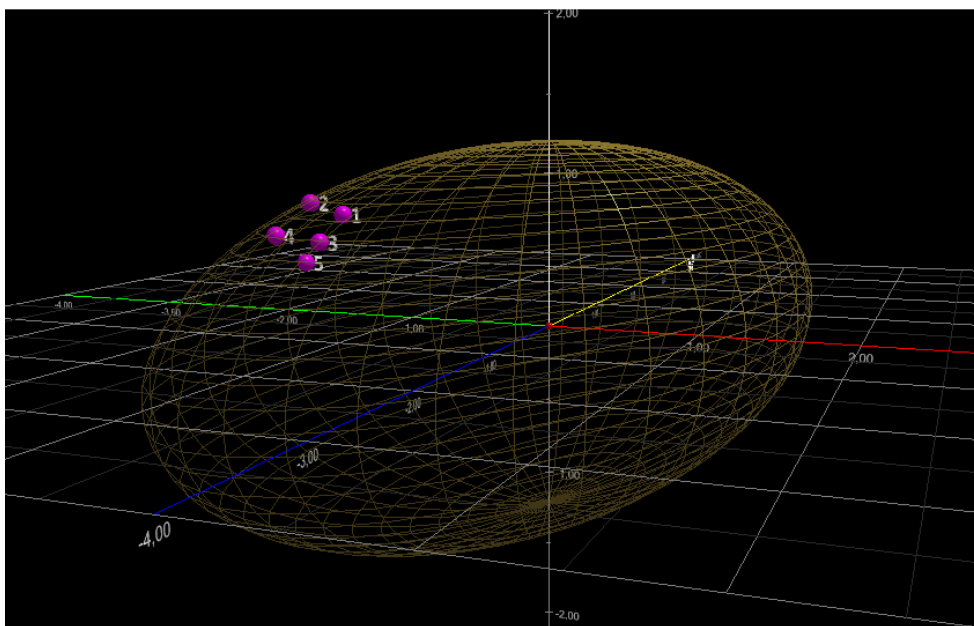
Kuva 37. Tuotantokappaleiden mitatut arvot koordinaatistossa. Valonlähteenä F11.



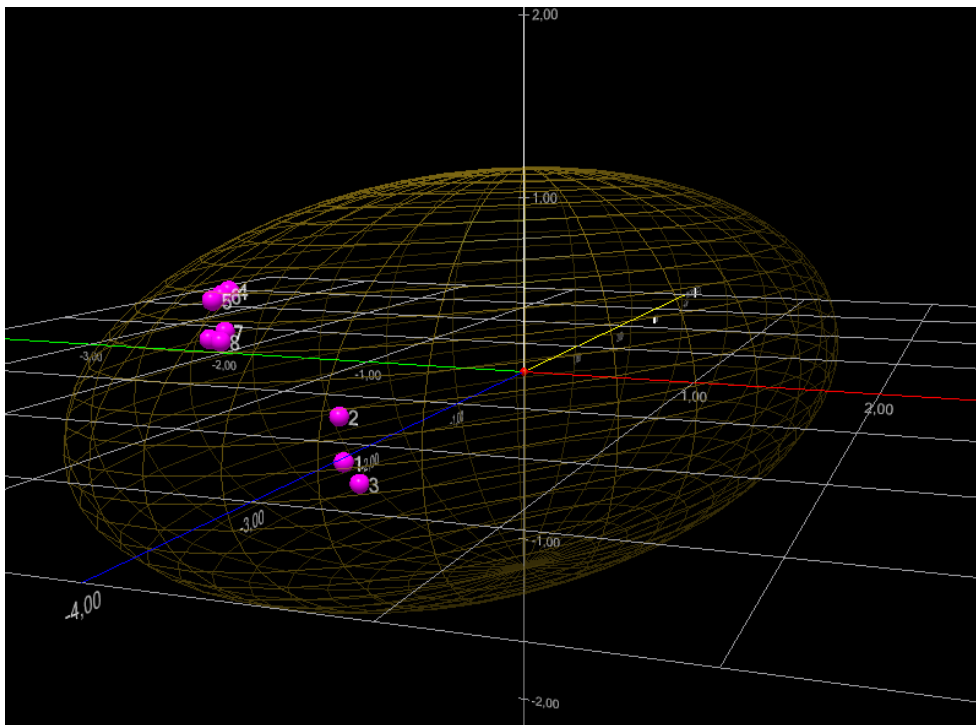
Kuva 38. Jauhemaalierien mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähtenä D65.



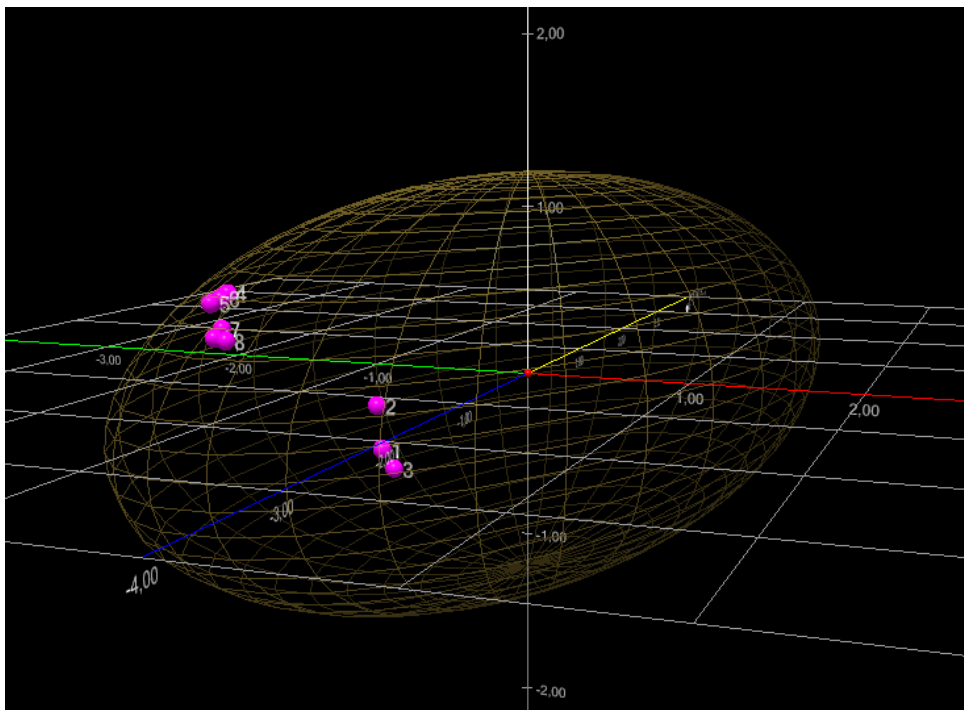
Kuva 39. Jauhemaalierien mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähtenä F11.



Kuva 40. Tuotantokappaleiden mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähteenä D65.



Kuva 41. Tuotantokappaleiden mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähteenä F11.



4.3.3 Vaalean harmaa

Vaalean harmaan mittauksissa ilmenee, että kaikki maalieräkohtaiset näytteet ovat toleranssirajojen sisällä. Taulukossa 11 on viiden jauhemaalierän mitatut arvot verrattuna määriteltyihin toleransseihin, kun valonlähteenä on D65. Taulukossa 12 on samat mittaukset, mutta valonlähteeksi on asetettu F11. Jauhemaalierien näytteet ovat targettia vihreämpiä.

Taulukko 11. Jauhemaalierien mitatut arvot. Valonlähteenä D65.

	Judgement	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dL*(D65)	da*(D65)	db*(D65)	dE00(D65)
Target	-----	83,30	-0,63	2,04	-----	-----	-----	-----
1	PASS	83,92	-0,76	2,17	0,62	-0,13	0,13	0,47
2	PASS	83,56	-0,73	2,26	0,26	-0,10	0,22	0,30
3	PASS	83,40	-0,71	2,47	0,10	-0,08	0,43	0,41
4	PASS	83,59	-0,89	1,33	0,29	-0,26	-0,71	0,80
5	PASS	84,07	-0,85	1,41	0,77	-0,22	-0,63	0,85

Taulukko 12. Jauhemaalierien mitatut arvot. Valonlähteenä F11.

	Judgement	L*(F11)	a*(F11)	b*(F11)	dL*(F11)	da*(F11)	db*(F11)	dE00(F11)
Target	-----	83,40	-0,47	2,18	-----	-----	-----	-----
1	PASS	84,01	-0,52	2,28	0,60	-0,05	0,10	0,42
2	PASS	83,65	-0,48	2,39	0,25	-0,01	0,20	0,25
3	PASS	83,50	-0,46	2,62	0,10	0,02	0,44	0,41
4	PASS	83,62	-0,68	1,34	0,22	-0,21	-0,84	0,86
5	PASS	84,12	-0,65	1,44	0,71	-0,17	-0,74	0,88

Vaalean harmaan mittauksissa ilmenevät määriteltyjen toleranssien ylittymiset toimittajan 1 jauhemaaleissa tapahtuvat näytteissä 1 ja 2. Värieroa esiintyy b* -akselilla sekä L* -akselilla, väri on targettia tummempi sekä keltaisempi. Toimittajan 1 näyte 3 poikkeaa myös L* -akselilla, jolloin sävy on targettia tummempi mutta näytteessä 3 ei ole a* tai b* -akseleiden suuntaan merkittäviä eroja. Metameriaa ei vaalean harmaassa esiinny merkittävällä tasolla. Toimittajan 2 kappaleiden näytteet korreloivat jauhemaalieriä, eikä näytteiden mittaustulokset ylitä määriteltyjä toleransseja. Oman tuotannon maalaamissa märkämaalinäytteissä ei esiinny poikkeavuuksia targettiin nähden. Vaalean harmaa väri ei salli horisontaalisessa suunnassa suuria muutoksia, mutta vertikaalisessa L* -akselin

suunnassa voi olla 1,5 yksikön muutoksen origosta, mikäli a^* ja b^* -akselien suunnissa ei ole muutoksia targettiin nähden. Taulukoissa 13 ja 14 on esitetty mittaustulokset, joista kolme näytettä on maalattu märkämaalilla omassa tuotannossa sekä kolme jauhemaalinäytettä kahdelta eri toimittajalta.

Mittaustuloksista voidaan päätellä, että toimittajien välillä on eroja maalausprosesseissa. Toimittajan 2 näytteiden tulokset korreloivat jauhemaalierien kanssa eikä merkittävää vaihtelua näiden välillä esiinny. Toimittajan 1 näytteet eivät korreloi jauhemaalierien väri vaihteluiden kanssa, joten sävyerojen juurisyy löytynee toimittajan 1 prosessissa tapahtuvasta vaihtelusta. Oman tuotannon maalausprosessissa ei esiinny väri vaihtelua, mutta mitattu sävy on näytteissä 2 ja 3 hieman vaaleampi verrattuna master sampleen. Kuvissa 42, 43, 44 ja 45 mittaustulokset piirrettynä koordinaatistoihin. Kuvien 46, 47, 48 ja 49 3d-kuvaajissa visualisoidaan kappaleessa 4 asetetut toleranssirajat sekä mittaustuloksien sijoittuminen.

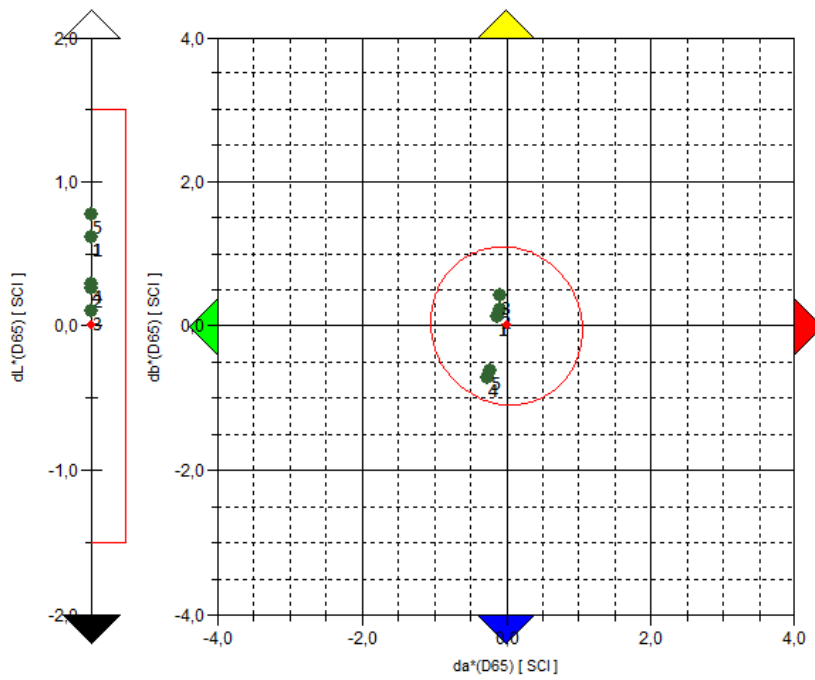
Taulukko 13. Tuotantokappaleiden mitatut arvot. Valonlähteenä D65.

	Data Name	Judgement	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dL*(D65)	da*(D65)	db*(D65)	dE00(D65)
Target	[Retrieved Data]Target1 (9.5.2023 14:37:54)	----	83,30	-0,63	2,04	----	----	----	----
1	Oma tuotanto, vaalean hamaa, näyte 1	PASS	83,45	-0,66	2,23	0,15	-0,03	0,19	0,20
2	Oma tuotanto, vaalean hamaa, näyte 2	PASS	83,76	-0,65	2,22	0,46	-0,02	0,18	0,34
3	Oma tuotanto, vaalean hamaa, näyte 3	PASS	83,77	-0,64	2,15	0,47	-0,01	0,11	0,33
4	Toimittaja 1, vaalean hamaa, näyte 1	FAIL	82,29	-0,34	3,41	-1,01	0,29	1,37	1,48
5	Toimittaja 1, vaalean hamaa, näyte 2	FAIL	82,36	-0,32	3,23	-0,95	0,31	1,18	1,33
6	Toimittaja 1, vaalean hamaa, näyte 3	PASS	82,82	-0,86	2,28	-0,48	-0,23	0,24	0,50
7	Toimittaja 2, vaalean hamaa, näyte 1	PASS	83,54	-0,88	1,51	0,23	-0,25	-0,53	0,65
8	Toimittaja 2, vaalean hamaa, näyte 2	PASS	83,57	-0,89	1,43	0,27	-0,26	-0,62	0,72
9	Toimittaja 2, vaalean hamaa, näyte 3	PASS	83,65	-0,88	1,50	0,35	-0,25	-0,54	0,67

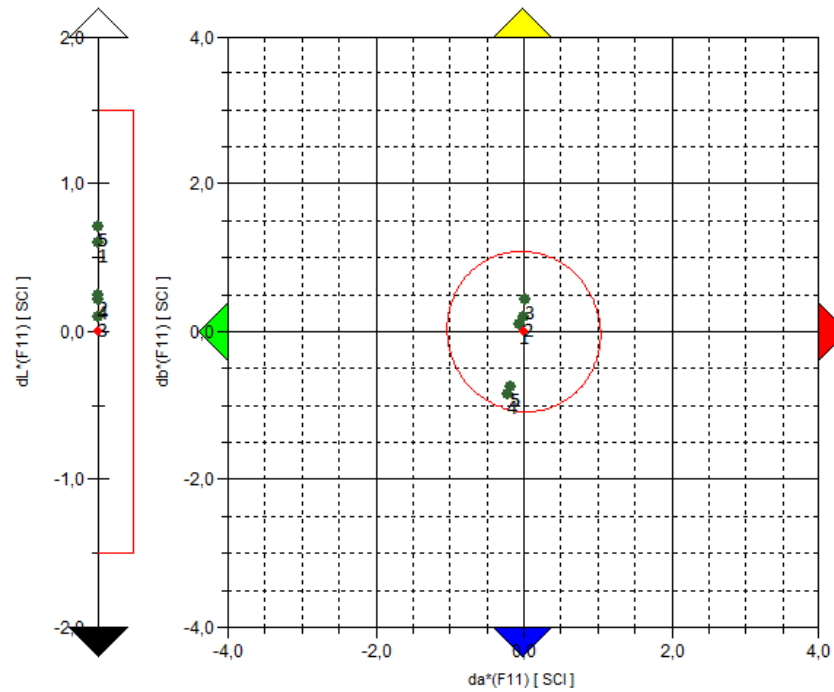
Taulukko 14. Tuotantokappaleiden mitatut arvot. Valonlähteenä F11.

	Data Name	Judgement	L*(F11)	a*(F11)	b*(F11)	dL*(F11)	da*(F11)	db*(F11)	dE00(F11)
Target	[Retrieved Data]Target1 (9.5.2023 14:37:54)	----	83,40	-0,47	2,18	----	----	----	----
1	Oma tuotanto, vaalean hamaa, näyte 1	PASS	83,57	-0,57	2,42	0,17	-0,09	0,23	0,27
2	Oma tuotanto, vaalean hamaa, näyte 2	PASS	83,87	-0,55	2,40	0,47	-0,08	0,22	0,39
3	Oma tuotanto, vaalean hamaa, näyte 3	PASS	83,88	-0,55	2,33	0,48	-0,08	0,15	0,36
4	Toimittaja 1, vaalean hamaa, näyte 1	FAIL	82,50	-0,41	3,63	-0,91	0,06	1,44	1,42
5	Toimittaja 1, vaalean hamaa, näyte 2	FAIL	82,55	-0,40	3,40	-0,85	0,08	1,22	1,24
6	Toimittaja 1, vaalean hamaa, näyte 3	PASS	82,90	-0,60	2,42	-0,50	-0,13	0,24	0,44
7	Toimittaja 2, vaalean hamaa, näyte 1	PASS	83,58	-0,66	1,54	0,18	-0,19	-0,64	0,67
8	Toimittaja 2, vaalean hamaa, näyte 2	PASS	83,61	-0,67	1,45	0,21	-0,20	-0,73	0,76
9	Toimittaja 2, vaalean hamaa, näyte 3	PASS	83,70	-0,66	1,53	0,30	-0,19	-0,65	0,70

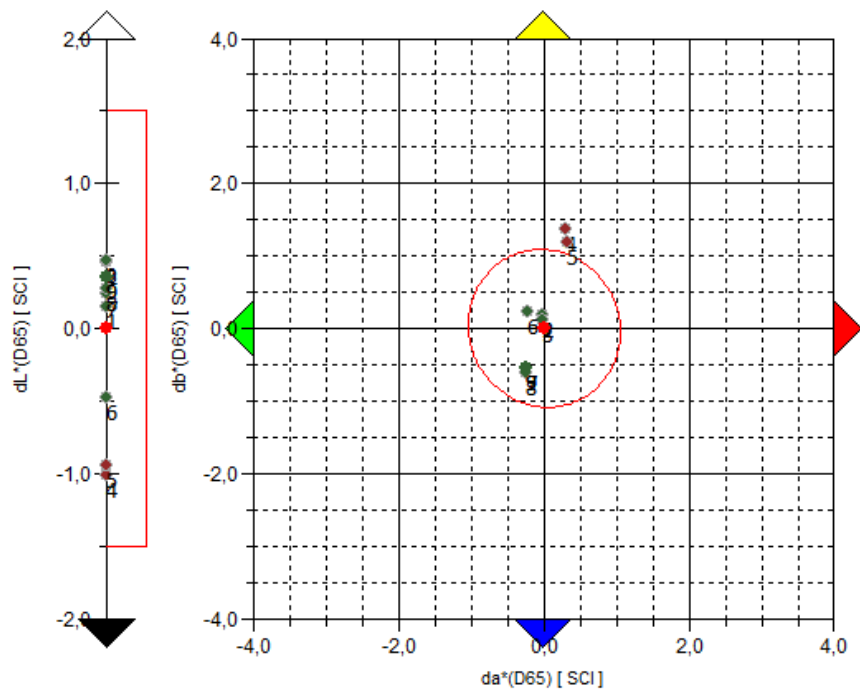
Kuva 42. Jauhemaalierien mitatut arvot koordinaatistossa. Valonlähteenä D65.



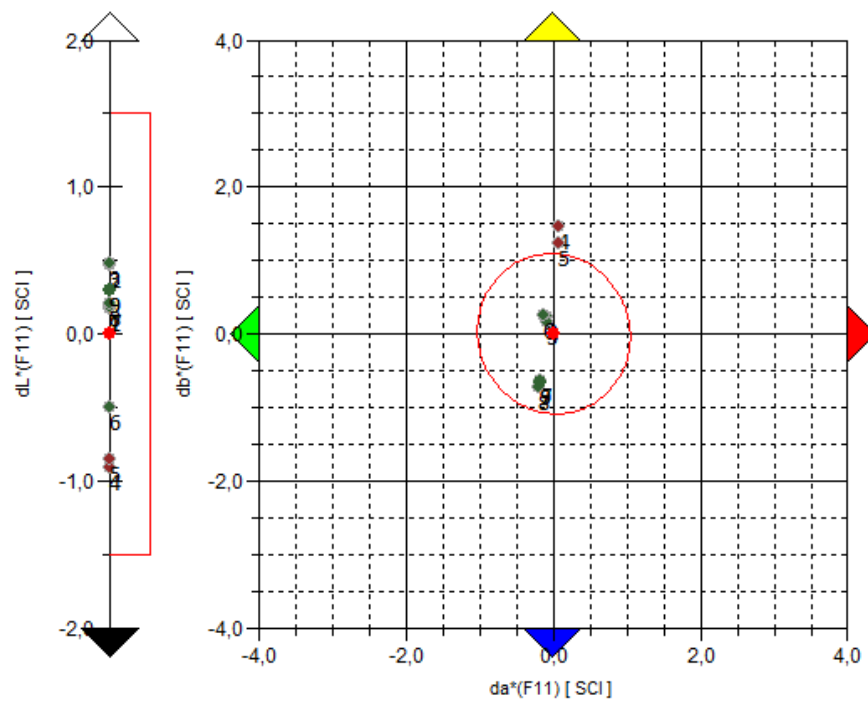
Kuva 43. Jauhemaalierien mitatut arvot koordinaatistossa. Valonlähteenä F11.



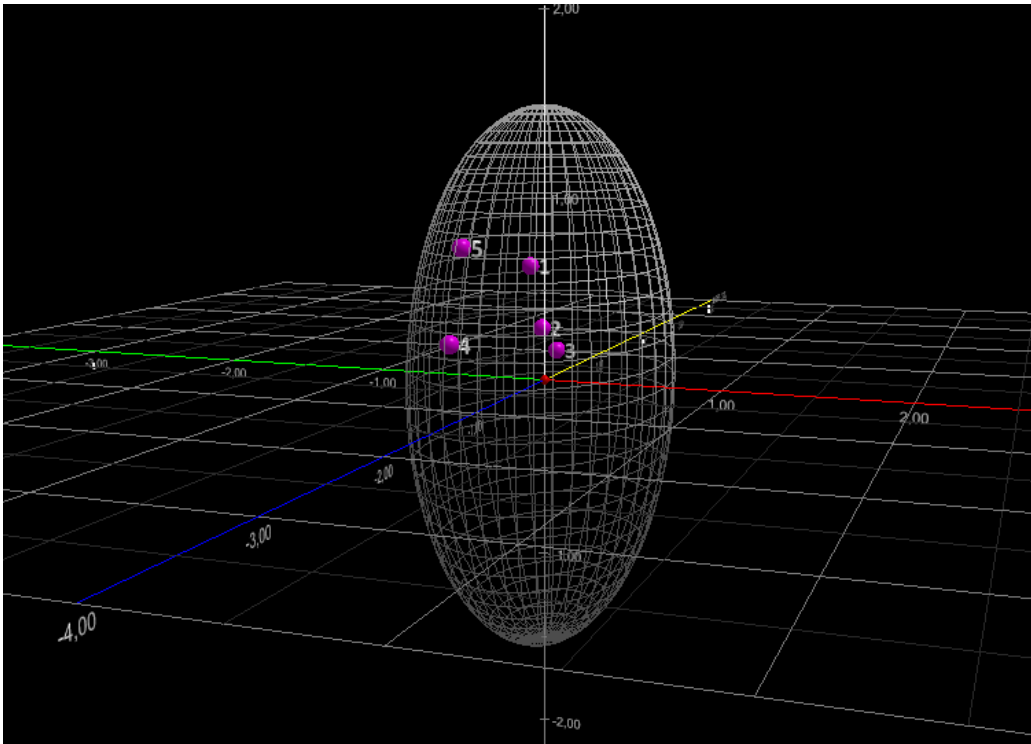
Kuva 44. Tuotantokappaleiden mitatut arvot koordinaatistossa. Valonlähteenä D65.



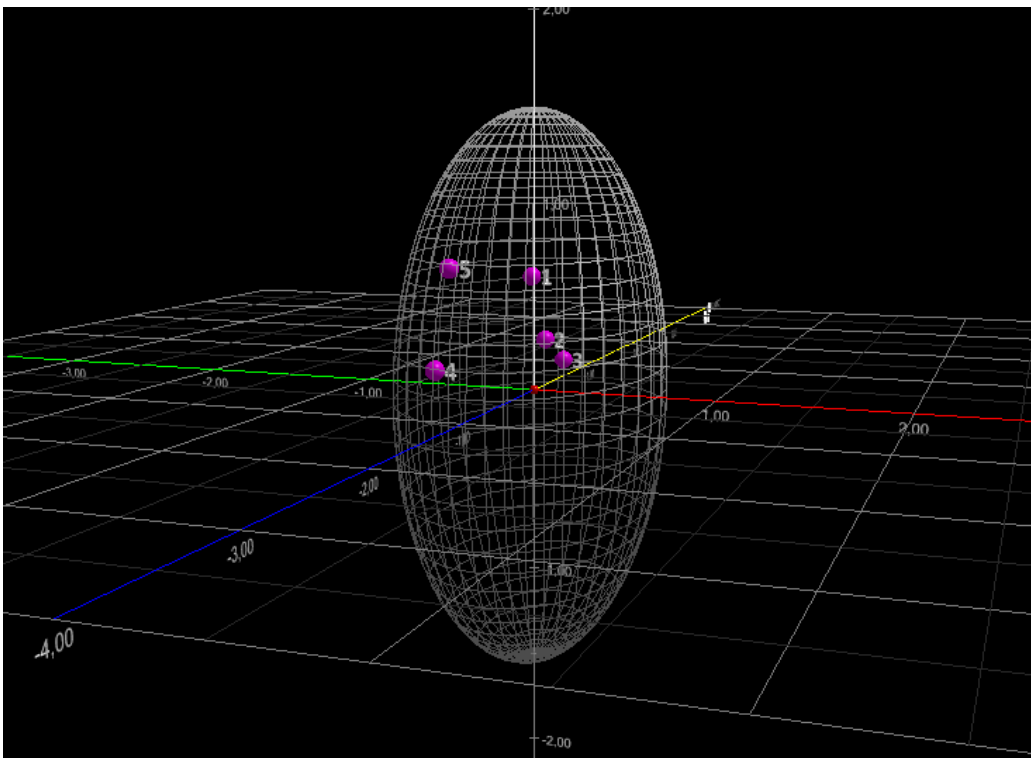
Kuva 45. Tuotantokappaleiden mitatut arvot koordinaatistossa. Valonlähteenä F11.



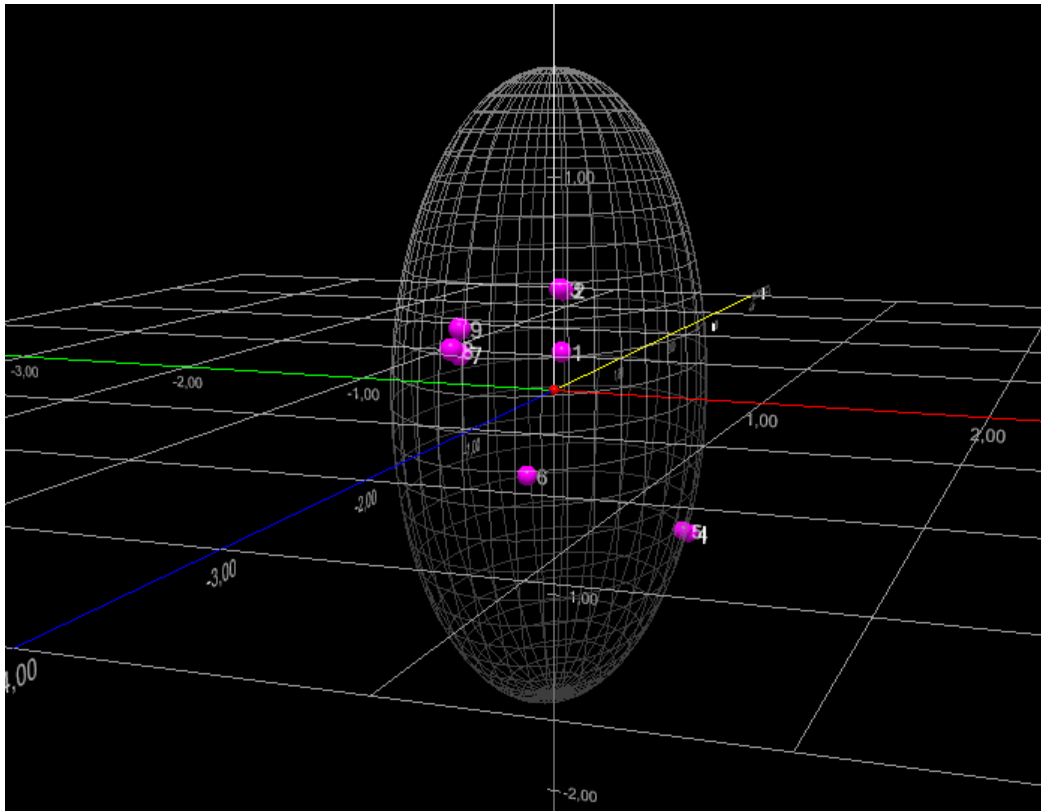
Kuva 46. Jauhemaalierien mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähteenä D65.



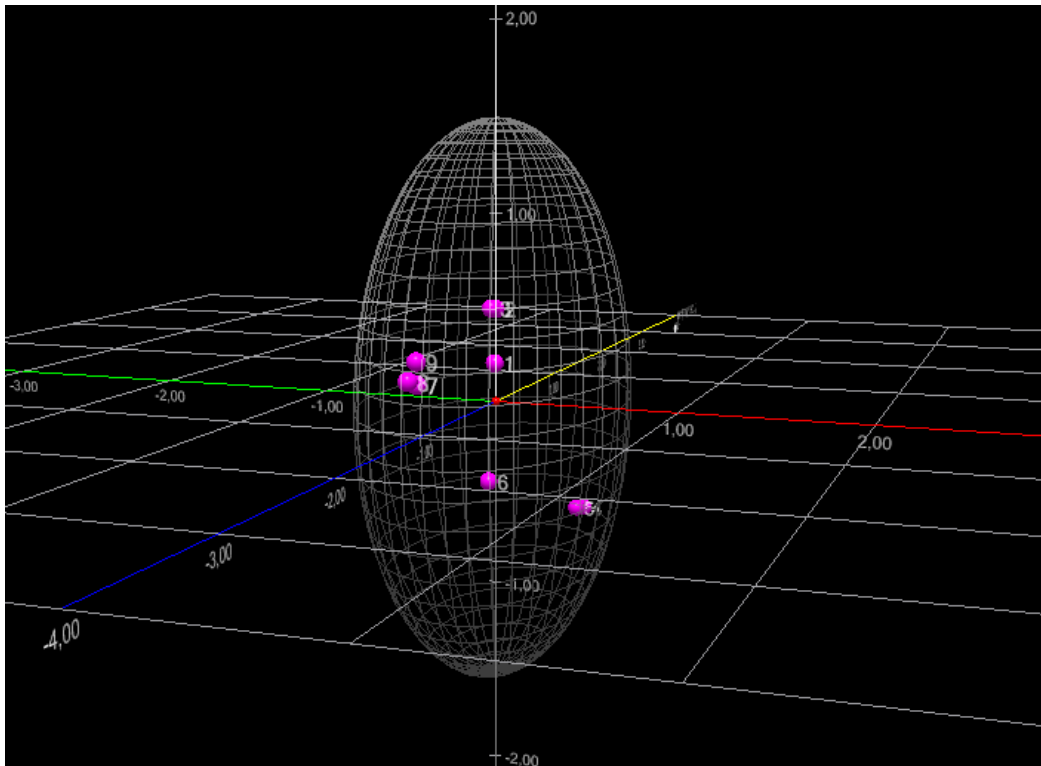
Kuva 47. Jauhemaalierien mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähteenä F11.



Kuva 48. Tuotantokappaleiden mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähteenä D65.



Kuva 49. Tuotantokappaleiden mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähteenä F11.



4.3.4 Keltainen 2

Keltaisen 2 mittauksissa ilmenee määriteltyjen toleranssien ylittymisiä jauhemaalierissä. Taulukossa 15 on viiden jauhemaalieran mitatut arvot verrattuna määriteltyihin toleransseihin, kun valonlähteenä on D65. Taulukossa 16 on samat mittaukset, mutta valonlähteeksi on asetettu F11. Jauhemaalierien näytteet ovat targetia vaaleampia ja vihreämpiä. Jauhemaalierien näyte 4 poikkeaa targetista eniten, ollessaan huomattavasti muita näytteitä keltaisempi. Jauhemaalierien näytteet 2 ja 5 ovat toleranssirajojen sisäpuolella, näistä näyte 5 on lähimpänä origoa.

Taulukko 15. Jauhemaalierien mitatut arvot. Valonlähteenä D65.

	Judgement	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dL*(D65)	da*(D65)	db*(D65)	dE00(D65)
Target	----	66,10	15,46	55,03	----	----	----	----
1	FAIL	67,08	15,08	56,82	0,97	-0,37	1,79	1,06
2	PASS	66,95	15,14	55,88	0,84	-0,31	0,85	0,79
3	FAIL	67,17	14,85	56,03	1,07	-0,61	1,00	1,06
4	FAIL	66,89	14,97	58,58	0,79	-0,49	3,55	1,44
5	PASS	66,54	14,84	55,70	0,44	-0,61	0,66	0,64

Taulukko 16. Jauhemaalierien mitatut arvot. Valonlähteenä F11.

	Judgement	L*(F11)	a*(F11)	b*(F11)	dL*(F11)	da*(F11)	db*(F11)	dE00(F11)
Target	----	68,99	12,42	60,60	----	----	----	----
1	FAIL	69,98	11,82	62,57	0,99	-0,60	1,97	1,10
2	PASS	69,82	11,88	61,57	0,83	-0,53	0,97	0,82
3	FAIL	70,06	11,53	61,76	1,07	-0,89	1,15	1,12
4	FAIL	69,82	11,63	64,48	0,83	-0,79	3,88	1,50
5	PASS	69,41	11,55	61,37	0,41	-0,87	0,77	0,74

Mittauksissa selviää, että yhtiön tuotannon maalaamissa märkämaalinäytteissä ei ilmene määriteltyjen toleranssien ylittymisiä. Yhtiön omassa tuotannossa maalatut kappaleet ovat tummempia kuin target ja kahdella toimittajalla jauhemaalatuista kappaleista poikkeava matalamman L* arvon vuoksi ja näin ollen toleranssirajojen sisäpuolella, vastaava sävyero on nähtävissä jauhemaalierien näytteessä 5. Tässä värissä, toimittajien jauhemaalien värierot targetiin korreloivat jauhemaalien eräkohtaisia eroja.

Taulukoissa 17 ja 18 on esitetty mittaustulokset, joista kolme näytettä on maalattu märkämaalilla omassa tuotannossa sekä kolme jauhemaali näytettä kahdelta eri toimittajalta.

Mittaustuloksista voidaan päätellä, ettei toimittajien välillä ole suuria eroja maalausprosesseissaan. Tulokset ovat saman suuntaisia jauhemaali-erien kanssa eikä merkittävää vaihtelua näiden välillä esiinny. Värvaihtelua esiintyy jauhemaalien erissä, tämä heijastuu toimittajien tuotteisiin. Oman tuotannon maalausprosessissa ei esiinny värvaihtelua, mutta mitattu sävy on tummempi ja sinisempi verrattuna master sampleen. Metameriaa ei esiinny keltaisessa 2 merkittävällä tasolla.

Kuvissa 50, 51, 52 ja 53 mittaustulokset piirrettynä koordinaatistoihin. Kuvien 54, 55, 56 ja 57 3d kuvaajissa visualisoidaan kappaleessa 4 asetetut toleranssirajat sekä mittaustuloksien sijoittuminen.

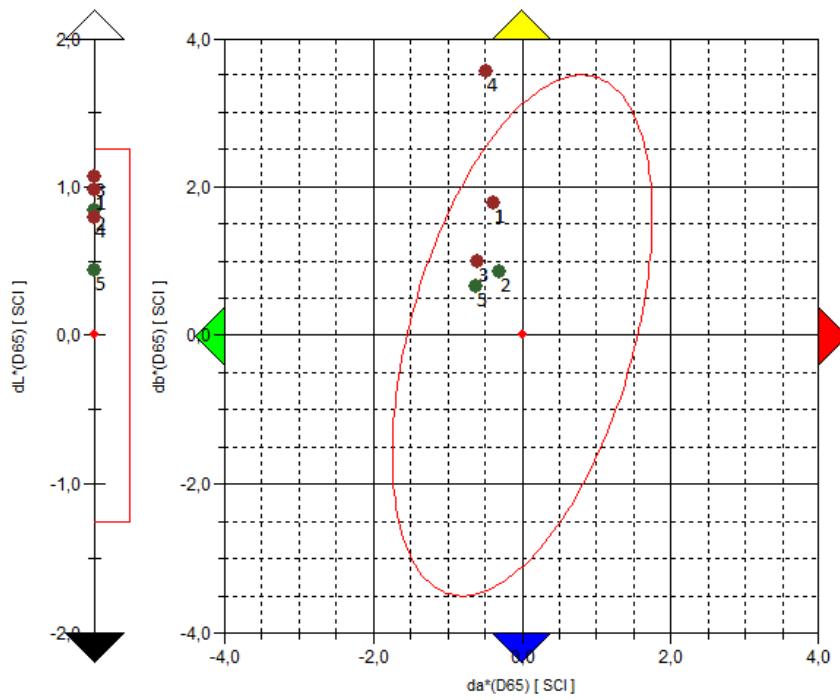
Taulukko 17. Tuotantokappaleiden mitatut arvot. Valonlähteenä D65.

	Data Name	Judgement	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dL*(D65)	da*(D65)	db*(D65)	dE00(D65)
Target	[Retrieved Data]Target4 (9.5.2023 14:37:54)	-----	66,10	15,46	55,03	-----	-----	-----	-----
1	Oma tuotanto, keltainen 2, näyte 1	PASS	65,64	15,08	54,44	-0,46	-0,37	-0,60	0,44
2	Oma tuotanto, keltainen 2, näyte 2	PASS	65,55	15,32	54,76	-0,55	-0,13	-0,27	0,46
3	Oma tuotanto, keltainen 2, näyte 3	PASS	65,34	15,35	54,22	-0,77	-0,10	-0,82	0,67
4	Toimittaja 1, keltainen 2, näyte 1	PASS	66,34	14,73	55,61	0,23	-0,73	0,58	0,61
5	Toimittaja 1, keltainen 2, näyte 2	FAIL	67,04	14,63	55,70	0,94	-0,82	0,67	1,00
6	Toimittaja 1, keltainen 2, näyte 3	FAIL	67,30	14,52	57,16	1,20	-0,94	2,13	1,46
7	Toimittaja 2, keltainen 2, näyte 1	FAIL	66,98	14,57	55,96	0,88	-0,89	0,93	1,04
8	Toimittaja 2, keltainen 2, näyte 2	FAIL	67,05	14,69	56,09	0,95	-0,77	1,06	1,05
9	Toimittaja 2, keltainen 2, näyte 3	FAIL	67,19	14,34	56,27	1,09	-1,12	1,23	1,30

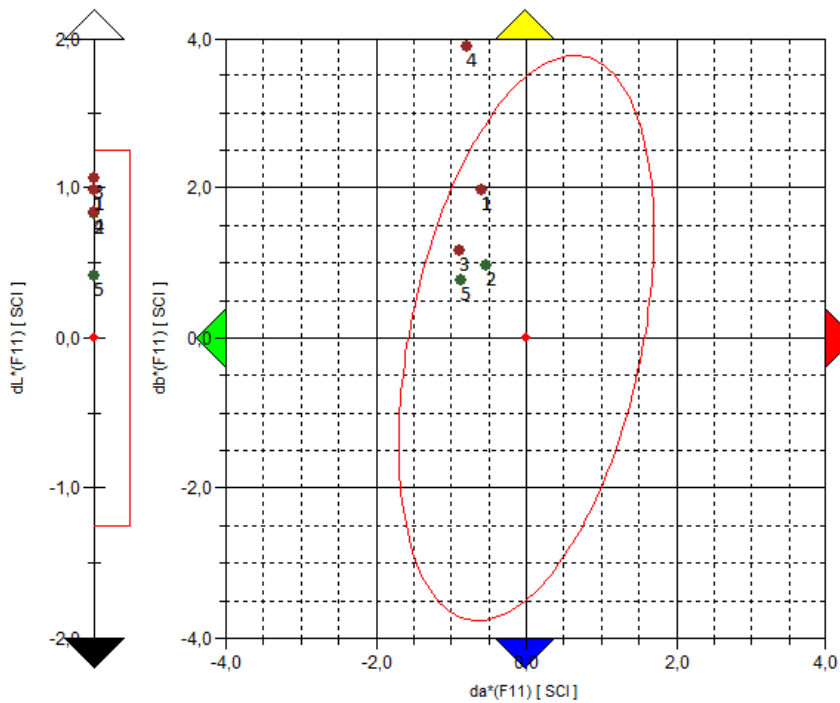
Taulukko 18. Tuotantokappaleiden mitatut arvot. Valonlähteenä F11.

	Data Name	Judgement	L*(F11)	a*(F11)	b*(F11)	dL*(F11)	da*(F11)	db*(F11)	dE00(F11)
Target	[Retrieved Data]Target4 (9.5.2023 14:37:54)	-----	68,99	12,42	60,60	-----	-----	-----	-----
1	Oma tuotanto, keltainen 2, näyte 1	PASS	68,55	11,85	60,15	-0,45	-0,57	-0,45	0,49
2	Oma tuotanto, keltainen 2, näyte 2	PASS	68,47	12,05	60,50	-0,52	-0,37	-0,11	0,47
3	Oma tuotanto, keltainen 2, näyte 3	PASS	68,24	12,07	59,91	-0,75	-0,35	-0,69	0,63
4	Toimittaja 1, keltainen 2, näyte 1	PASS	69,20	11,47	61,30	0,21	-0,95	0,70	0,73
5	Toimittaja 1, keltainen 2, näyte 2	FAIL	69,92	11,45	61,44	0,93	-0,97	0,83	1,03
6	Toimittaja 1, keltainen 2, näyte 3	FAIL	70,21	11,17	62,93	1,22	-1,25	2,33	1,53
7	Toimittaja 2, keltainen 2, näyte 1	FAIL	69,86	11,24	61,66	0,87	-1,18	1,06	1,13
8	Toimittaja 2, keltainen 2, näyte 2	FAIL	69,93	11,37	61,81	0,94	-1,05	1,20	1,13
9	Toimittaja 2, keltainen 2, näyte 3	FAIL	70,08	10,99	61,97	1,08	-1,43	1,36	1,40

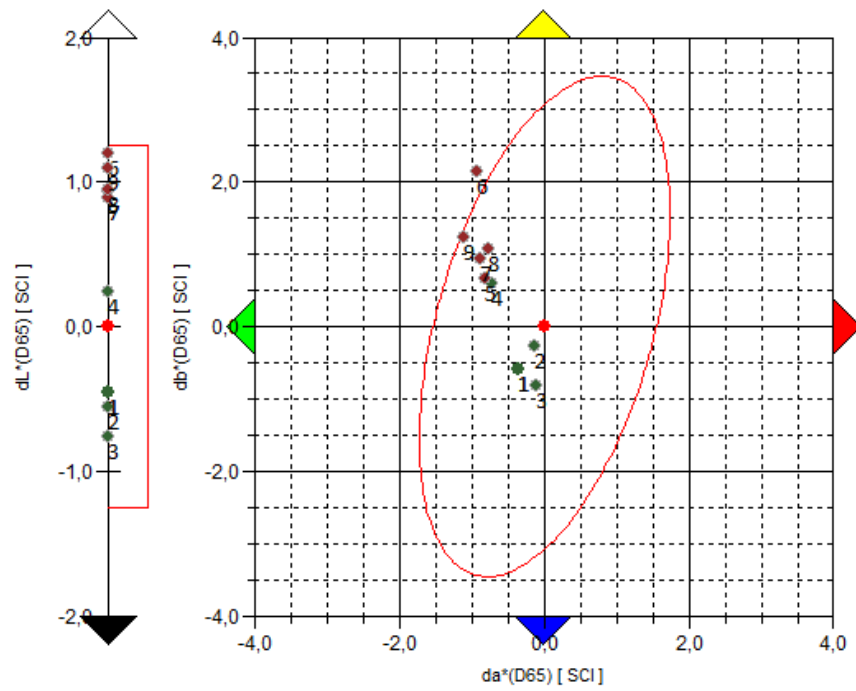
Kuva 50. Jauhemaalierien mitatut arvot koordinaatistossa. Valonlähteenä D65.



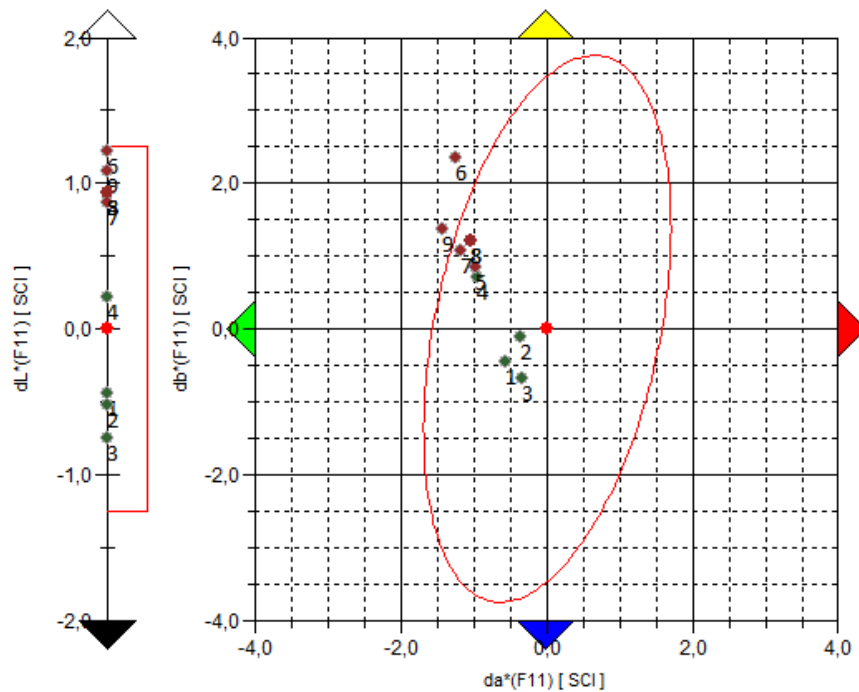
Kuva 51. Jauhemaalierien mitatut arvot koordinaatistossa. Valonlähteenä F11.



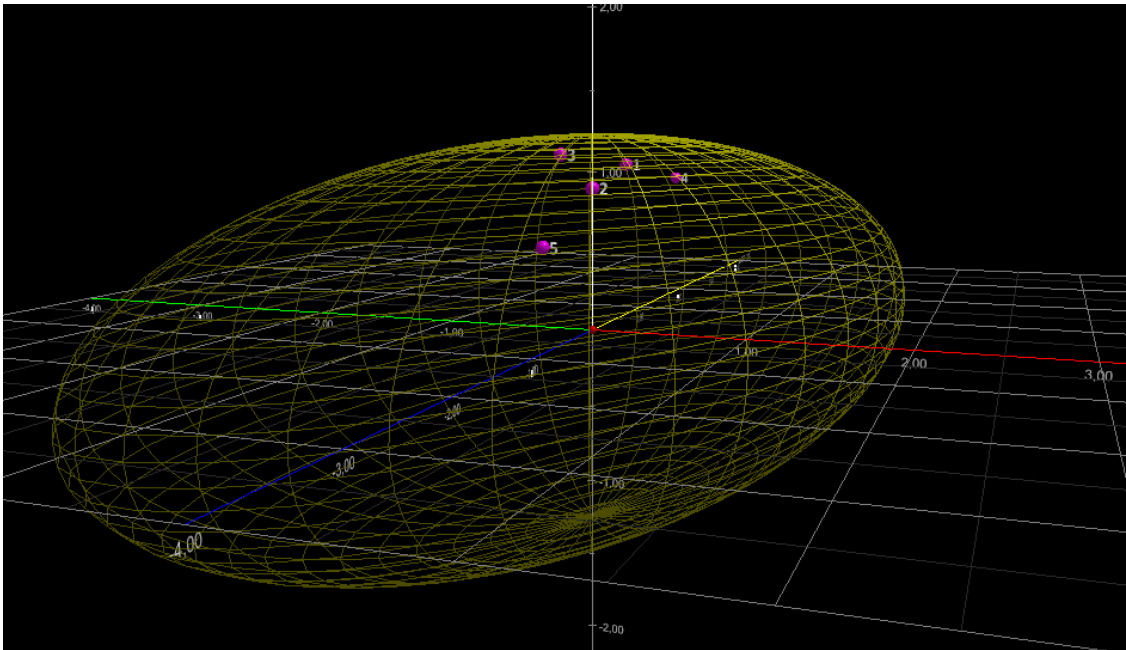
Kuva 52. Tuotantokappaleiden mitatut arvot koordinaatistossa. Valonlähteenä D65.



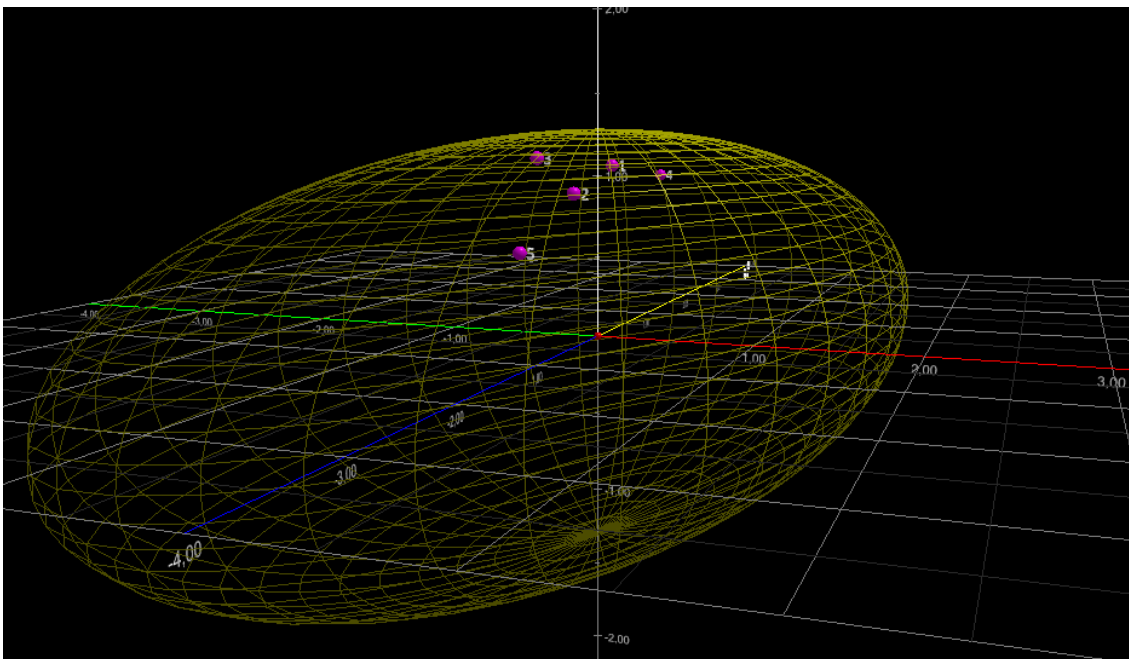
Kuva 53. Tuotantokappaleiden mitatut arvot koordinaatistossa. Valonlähteenä F11.



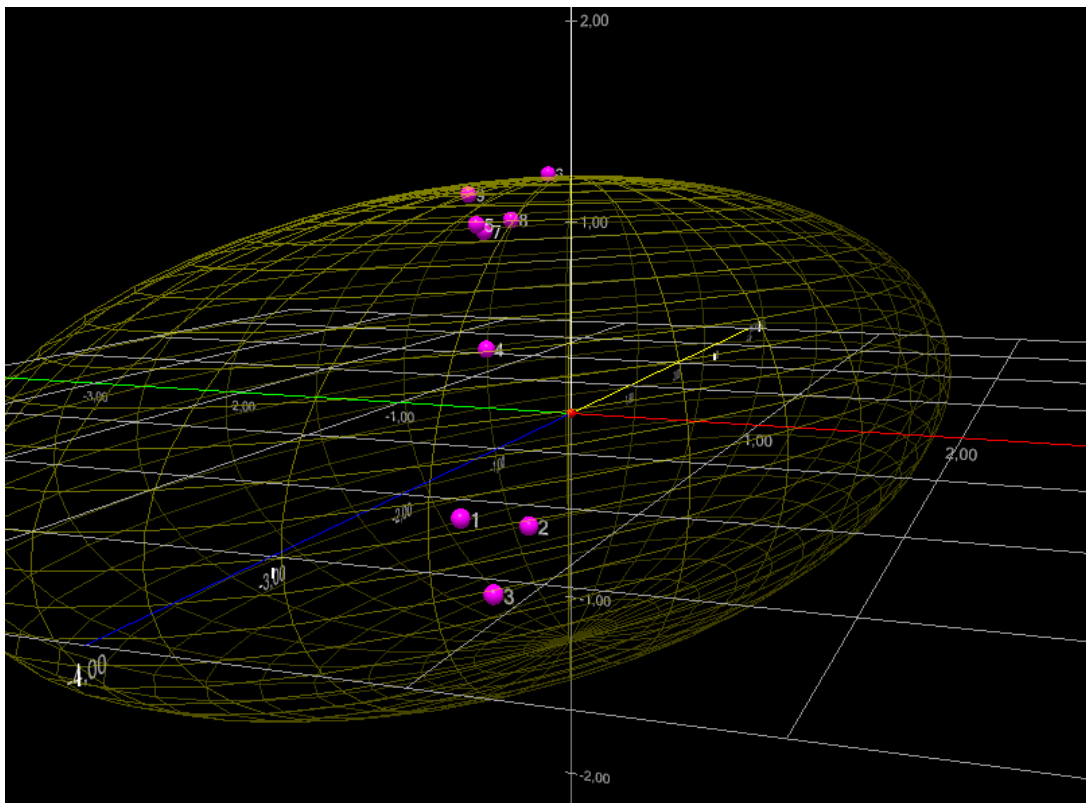
Kuva 54. Jauhemaalierien mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähteenä D65.



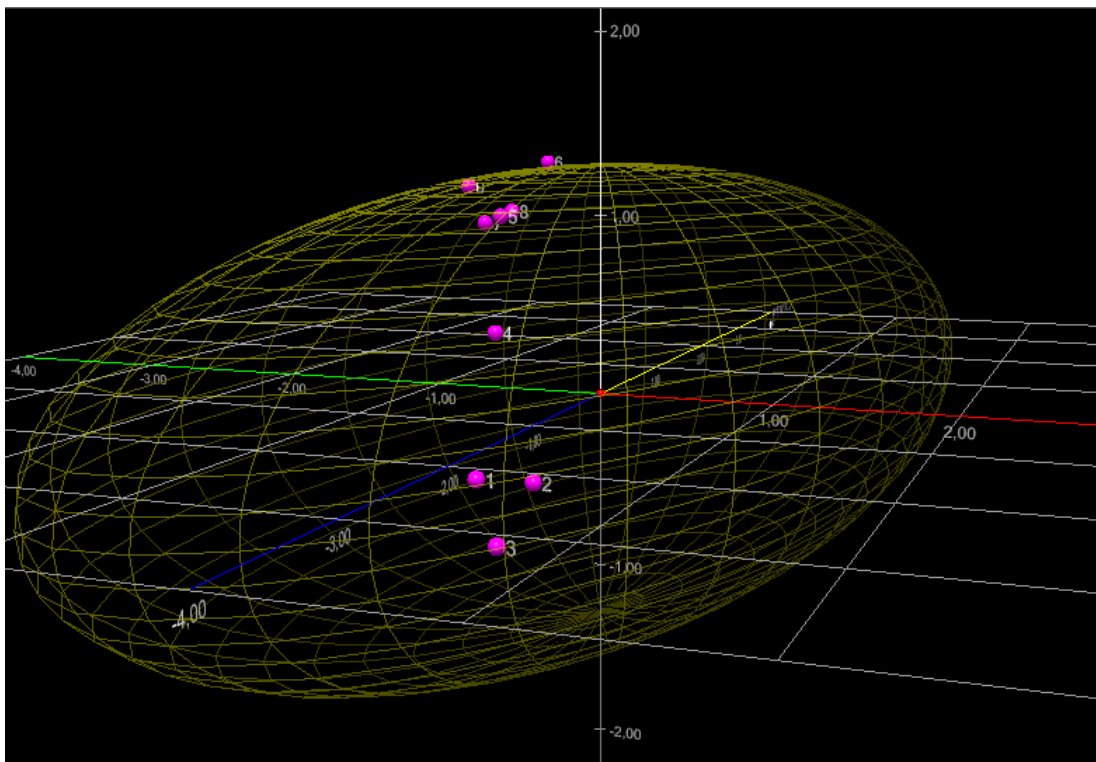
Kuva 55. Jauhemaalierien mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähteenä F11.



Kuva 56. Tuotantokappaleiden mitatut arvot 3d-kuvaajassa valonlähteenä D65.



Kuva 57. Tuotantokappaleiden mitatut arvot 3d-kuvaajassa. Valonlähteenä F11.



5 Johtopäätökset värinmittauksesta tuotantoympäristössä

Visuaalisesti havaitun poikkeaman analysointi helpottuu numeraalisessa arviossa. Kun värejä tarkastellaan laskettuina värierona, voidaan päätös hyväksymisestä tai hylkäämisestä tehdä toleranssiin verraten. Tällöin nähdään suoraan, onko poikkeama toleranssin ulkopuolella eikä päätöstä tehdä mielipiteisiin nojaten. Valaistus tuotantoympäristössä ei ole stabiili tarkasteltavaa pintaa kohden, joten värierot eivät aina ole helposti havaittavissa. Ihmissilmä kykenee näkemään värieroja varsin tarkasti, siitä huolimatta toiset tarkempia erottamaan visuaalisia poikkeavuuksia kuin toiset, joten tämän vuoksi pelkkä visuaalinen tarkastelu ei ole yksinään luotettava.

Visuaalisella laadulla voidaan määritellä materiaalin taso visuaalisesti, laatu joka halutaan visuaalisesti saavuttaa. Visuaalisuuteen liittyy paljon erilaisia piirteitä, kuten esimerkiksi asennuksien kohtisuoruudet ja puhtaus, mutta yksi huomattava tekijä on väri.

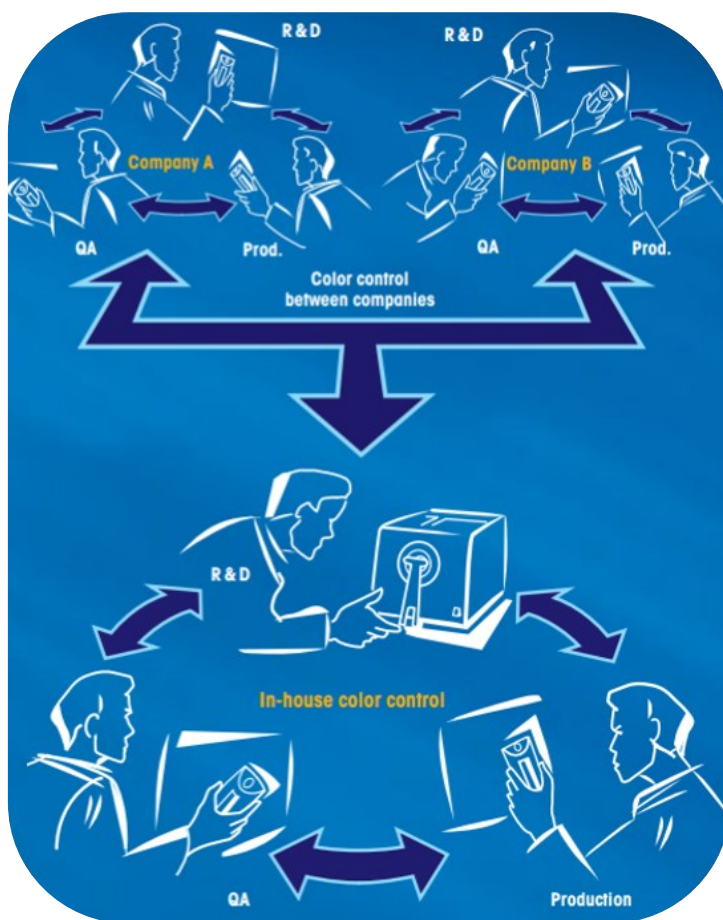
Spektrofotometrillä mittaamalla voidaan määrittää target, johon voidaan verrata mittauksia eri näytteistä. Pelkästään targetin määrittäminen ja siihen verrattavat mittaukset eivät riitä määrittelemään onko sävytarkkuus riittävä ja tätä varten jokaiselle targetille tulee määrittää väritoleranssi sekä mittauksessa käytettävät parametrit. Parametreilla takoitetaan tässä yhteydessä standardivalonlähteiden määrittäystä metamerialan takia ja mittaustapaa (SCI/SCE.)

Brändivärien säätö on järkevintä suorittaa ketjun alkupäässä maalitehtaalla, että värierot eivät siirry yhtiön ja toimittajien maalausprosessiin. Jauhemaalien ja märkämaalien sävytys tapahtuu eri tavalla. Jauhemaalien valmistuksessa pystytään asettamaan tarkat toleranssit tuotantoon, kun taas märkämaaleille on vaikeampi määrittää tuotantotoleranssit. Kun näytteitä verrataan toleransseihin ja mahdollisia poikkeavuuksia eli värieroja esiintyy, voi mittaustietoa visualisoida taulukoiden, koordinaatistojen ja 3d-kuvaajien kanssa analysointiin tarkoitettulla ohjelmistolla. Datasta on saatavilla tietoa mihin suuntaan sävyjä tulisi säätää, että värieroja ei olisi enää visuaalisesti havaittavissa.

Värin mittauksiin liittyy myös ongelma, joka on väritietoliikenne. Väritietoliikenteellä tarkoitetaan värinmittaustietojen siirtoa ja analysointia yhtiön sisällä tai eri yhtiöiden välillä. Eri spektrofotometrit eivät välttämättä tuota toisiinsa suoraan verrattavissa olevia

mittauksia. Eli yhtiön, yhtiön sisartehtaiden ja toimittajien mittaustuloksien välillä saattaa ilmetä eroavaisuuksia. Samantyyppisten spektrofotometrimallien mittaustietojen yhteensopivuuden taso tulee varmistaa ennen mittauksien keskenäisiä vertailuja. Ihanteellisessa tilanteessa kaikkien osapuolien mittausmenetelmät ovat keskenään yhteensopivia ja mahdollistavat luotettavan tiedonvaihdon osapuolien välillä, mutta tämä toteutuu kuitenkin vain harvoin. (Konica Minolta, 2001, s. 4) Kuvassa 58 esitetään ihanteellinen väritietoliikenne yhtiön sisällä sekä yhtiöiden välillä.

Kuva 58. Ihanteellinen väritietoliikenne. (Konica Minolta, 2001, s. 4)



6 Yhteenveto

Opinnäytetyön yhtenä tarkoituksena oli syventää ymmärrystä mittaustuloksien analysoinnissa, joten työssä käytiin läpi oleellisia käsitteitä värinmittaukseen liittyen, kuten värin havainnointiin liittyviä tekijöitä. Värin havainnointiin liittyy monia tekijöitä, jotka vaikuttavat siihen miten ihminen kykenee värit näkemään. Valaistuksella on suuri rooli, ilman valoa ei ole värejä, ihminen kuitenkin kykenee hahmottamaan muodot hämärässä valaistuksessa. Tämä tarkoittaa sitä, että kun värejä vertaillaan keskenään visuaalisesti, on valaistus ja sen tehokkuus otettava huomioon – metameriaa unohtamatta. Valaistus ei kuitenkaan ole ainoa vaikuttava tekijä värien vertailussa. Myös pinnan tekstuuri ja sen kyky heijastaa valoa vaikuttaa vahvasti siihen, miten värit nähdään. Himmeän ja kiiltävän saman värisen kappaleen asettaminen rinnakkain osoittaa tämän ilmiön varsin selkeästi. Ihminen luontaisesti väistää peiliheijastumisen vertaillessa värisävyjä keskenään ja mittaustapa on hyödyllistä valita tämän mukaan, mikäli halutaan mittauksilla jäljitellä mahdollisimman hyvin ihmisen luontaista värienerottelukykä. Ihminen ei kuitenkaan pysty määrittelemään tarkasti mihin suuntaan väri poikkeaa vertailuparista. Ihminen voi nähdä värieron, mutta värieron määrää tai suuntaa ihminen ei kykene ilmaisemaan luotettavasti. Siksi värin mittaaminen analyttisellä mittauslaitteella, kuten spektrofotometrillä on helpompaa ja luotettavampaa.

Opinnäytetyössä oli tarkoituksena luoda laadunvarmistusta varten väritoleranssi ehdotukset neljälle brändivärille, joita yhtiön tuotannossa esiintyy. Yhtiössä on ennen mittalaitteen hankintaa käytetty visuaalista tarkastelua värien vertailussa ja oikean sävyn todentamisessa. Visuaalinen tarkastelu on tärkeää ja sillä voidaan saavuttaa myös hyviä tuloksia, mutta analyttisesti tämä ei ole luotettavaa. Analyttisellä mittalaitteella suoritettu mittaus on luotettavaa dataa. Mittausdatan analysoinnissa on otettava huomioon mittalaitteen ominaisuudet ja mittauksessa käytettävät parametrit. Yhtiön spektrofotometrillä saadaan mitattua tulokset kahdella eri mittaustavalla, SCI:llä sekä SCE:llä. Laitteesta on valittavissa mittaukseen useampia standardivalonlähteitä ja laitteella voidaan tarkastaa tuloksia myös kolmella eri kaavalla mitattuna. Nämä kolme kaavaa esiteltiin työssä ja parhaiten visuaalista tarkastelua tukee laskukaava, joka tulee lähemmäksi ihmisen värienerottelukynnystä: CIEDE2000. Tätä kaavaa hyödyntäen määriteltiin toleranssirajat ja niitä vertailtiin värierotteluellipseihin. Toleranssirajojen, jotka ovat myöskin ellipsin muotoisia, sekä

värinerotteluellipsien välillä havaittiin korrelaatio. CIEDE2000 mittaria käyttämällä saadaan yhtiön aiemmin käyttämään toleranssiin verrattuna enemmän liikkumavaraa. Koska vuoden 1976 kaavassa ei ole painotuksia ja koordinaatit ovat tasavälisiä, ovat mittaustulokset varsin poikkeavat verrattuina uudempiin kaavoihin. Kylläisyyden lisääntyessä sävyistä tulee anteeksiantavaisempia muutoksille, ihminen erottaa parhaiten sävy muutokset harmaan sävyissä, joten toleranssin asettaminen $\Delta E^*_{ab} = < 1,5$ sijaan $\Delta E^*_{00} = 1,0$ on värikylläisemmille sävyille lieventävä muutos. Esimerkiksi keltainen 2 b* suuntaisten koordinaattien muutokset voivat olla jopa yli kolme yksikköä origosta negatiiviseen tai positiiviseen suuntaan, kun L* suunnassa ei ole värieroa. $\Delta E^*_{ab} = < 1,5$ toleranssilla vastaava muutos on siitä puolet, 1,5 yksikköä mihin suuntaan tahansa. Vastaavasti vaalean harmaan kohdalla toleranssi kiristyy; muutoksia a* tai b* suuntaisille koordinaateille ei voida sallia yhtä paljoa mitä aiemmin käytetty toleranssi sallisi. Tutkimuksessa osoitetaan, että kaikilla väreillä ei voi olla identtiset väritoleranssit, sillä jokainen väri absorvoi valoa eri tavalla.

Opinnytetyötä voidaan käyttää yhtiössä tukena värinmittauksen mittaustuloksien analysointiin ja värin tarkistuksen työhöjään luomiseen sekä spektrofotometrin käyttöohjeen täydentämiseen. Opinnytetyössä suoritettiin mittaukset ja analysoinnit kahdesta eri värinmittaus tilanteesta neljälle eri brändisävyille. Mittauksissa käytettiin tässä opinnytetyössä määriteltyjä väritoleransseja sekä kahta eri standardivalonlähdettä (D65 ja F11) jotka mukailevat valaistuksia missä yhtiön lopputuotteita käytetään. Tutkimuksissa havaittiin vaihtelua jauhemaalierien välillä sekä toimittajien toimittamien kappaleiden välillä. Metameriaa ilmeni tutkimuksen aikana vihreässä brändivärisä märkämaalatuissa kappaleissa standardivalonlähteiden D65 ja F11 välillä.

Lähdeluettelo

Anter, K. & Klarén, U. (2017). *Colour and light, Spatial experience*. Routledge.

Arnkil, H. (2021). *Värit havaintojen maailmassa*. Aalto-yliopisto.

CIE, Commission Internationale de l'Éclairage. (2023). *ABOUT THE CIE*.

<https://cie.co.at/about-cie>

Dextra Group Plc. (n.d.). *Colour consistency and MacAdam ellipse*. [kuva]

<https://www.dextragroup.co.uk/wp-content/uploads/Colour-Consistency-and-MacAdam-Ellipse.pdf>

Fernandez-Maloigne, C. (2013). *Advanced Color Image Processing and Analysis*. Springer.

Image Engineering GmbH & Co. KG. (15.7.2011). *CIE standard illuminants*.

<https://www.image-engineering.de/library/technotes/753-cie-standard-illuminants>

Joronen, S. (n.d.). *Mitä on väri?* [kuva]

<https://peda.net/p/Sanna%20Joronen/kvjs/mit%C3%A4-on-v%C3%A4ri>

Konica Minolta. (2001). *Spectrophotometer CM-2600d, Simply expands the Boundaries in Color Control*.

https://www.konicaminolta.com/instruments/download/catalog/color/pdf/cm2600d_catalog_eng.pdf

Konica Minolta. (2007). *Precise color communication*. <https://www.konicaminolta.eu/eu-en/navigation/featured-business-areas/measuring-instruments/learning-centre/colour-measurement/precise-colour-communication>

Konica Minolta. (n.d.). *About the new color difference formula (CIE DE2000)*.

<https://www.konicaminolta.jp/instruments/knowledge/color/section2/06.html>

Konica Minolta. (n.d.). *The Way Colorimeters See*. <https://www.konicaminolta.eu/eu-en/navigation/featured-business-areas/measuring-instruments/learning-centre/colour-measurement/tutorials-white-papers/the-way-colorimeters-see>

Mitaten Oy. (n.d.). *Visuaalinen tarkastelu*. <http://mitaten.fi/visuaalinen-tarkastelu.html>

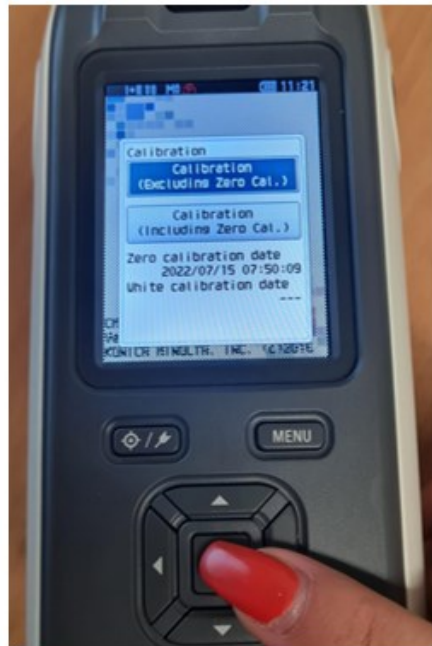
Mouw, T. (16.3.2018). *Tolerancing Parts 3: Color Space vs. Color Tolerance*. [kuva]

<https://www.xrite.com/blog/tolerancing-part-3>

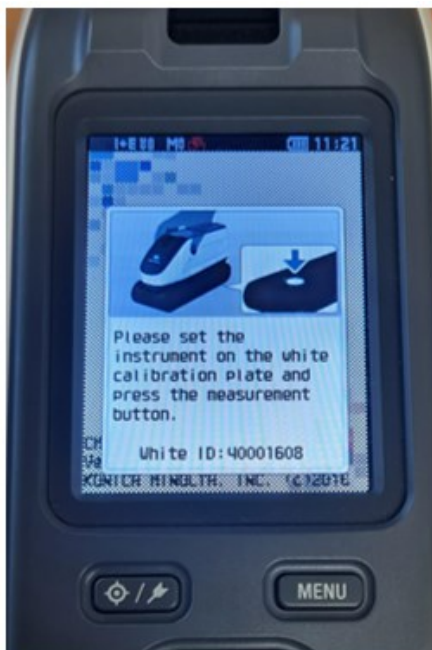
Männistö, A. (1.4.2011). *Valon värin ja värilämpötilan säätö ja niiden vaikutus ihmiseen*. [Opinnäytetyö, Tampereen Ammattikorkeakoulu]

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27990/Mannisto_Arto.pdf

- Painomaa, M. (4.6.2012). *Väriavaruuden rakenteen muokkaaminen yhtenäisyyden parantamiseksi*. [Kandidaattityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto] <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/78696/kandi.pdf?sequence=1>
- Schanda, J. (2007). *Colorimetry: understanding the CIE system*. Wiley.
- Tossavainen, N. (1.7.2002). *Valonlähteen vaikutus värinäytteiden spektreihin eri mittalaitteilla*. [Harjoitustyö, Joensuun yliopisto] <https://docplayer.fi/16612703-Valonlahteen-vaikutus-varinaytteiden-spektreihin-eri-mittalaitteilla.html>
- Urban, P., Berns, R. & Rosen, M. (2007). *Constructing Euclidean Color Spaces based on Color Difference Formulas*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Constructing-Euclidean-Color-Spaces-based-on-Color-Urban-Berns/31e2987e5d7def6b6aebf5091b2fb227e32e4e84>

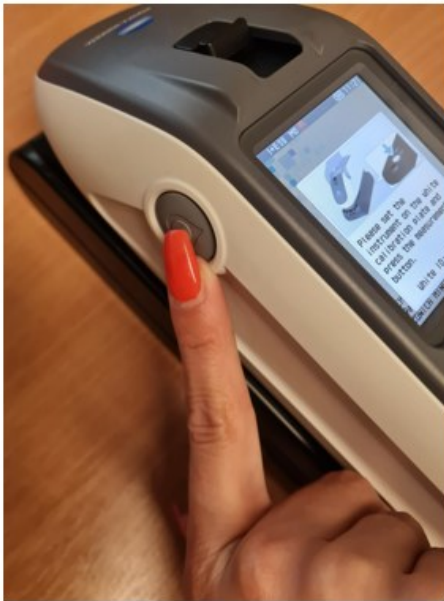
Liite 1: Liitteen otsikko

1. Käynnistä instrumentti painamalla nappia
2. Suorita päivittäis kalibrointi valitsemalla "calibration excluding zero cal."



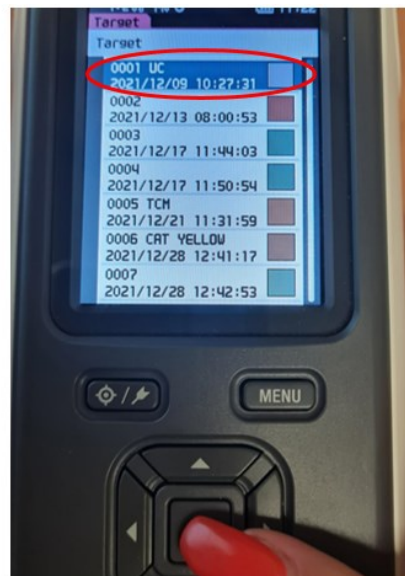
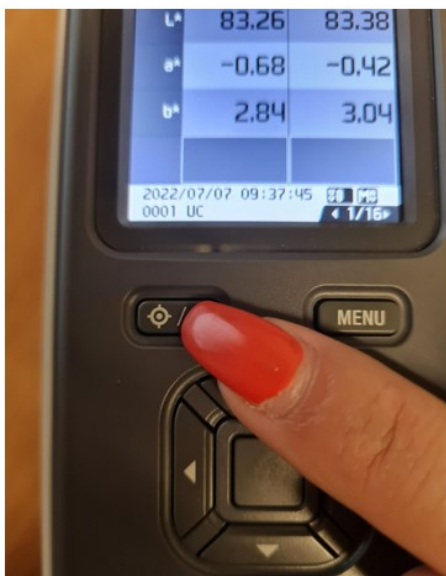
3. Noudata näytöllä näkyviä ohjeita

4. Spektrofotometrin telakka: valkoinen kalibrointi levy



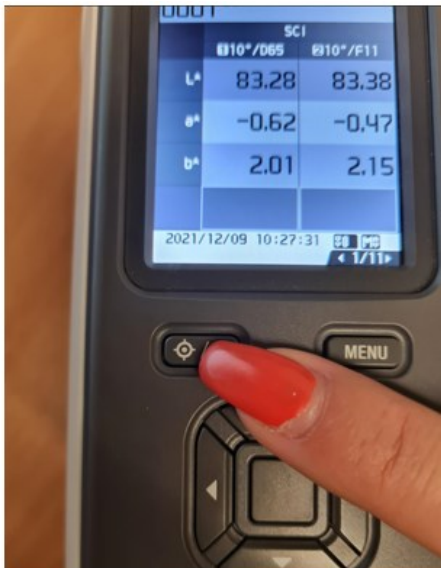
5. Paina mittauspainiketta, instrumentti kalibroituu ja on tämän jälkeen käytettävissä

6. Näytölle tulee näkyviin edellinen mittaus

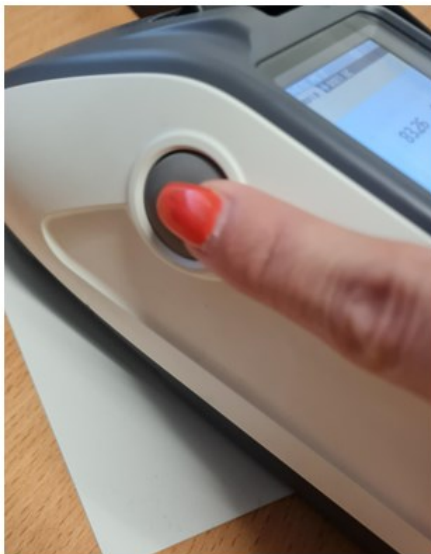


7. Mittauksen target valitaan valikosta, painamalla nappia pääsee target valikkoon

8. Navigoi halutun targetin kohdalle ja valitse tämä käytettäväksi painamalla nappia



9. Kun target on valittu, tulee näytölle näkyviin targetin tiedot. Jos mittauksen suorittaa tässä, targetin koordinaatit päivittyvät, paina nappia päästäksesi mittaamaan näyte.
10. Kun nappia on painettu, näytölle tulee näkyviin edellinen mittaus.



11. Aseta instrumentti mitattavan pinnan päälle ja paina mittauspainikkeesta
12. Tämän jälkeen mittaustulokset tulevat näkyviin näytölle



13. Välilehdessä 1/16 on näkyvissä näytteestä mitatun värin koordinaatit, välilehteä vaihtamalla saadaan näkyviin muita mittaustuloksia.

Liite 2: Spektrofotometri CM-23d


**NEW Spectrophotometer
CM-23d**

Entry-level model with series top-end operability



Easy to use for anyone

■ Measurement made easy

- Compact, lightweight and ergonomically designed to get at and measure hard-to-reach targets.
- Equipped with a viewfinder to facilitate positioning and alignment.

■ Simplified operation

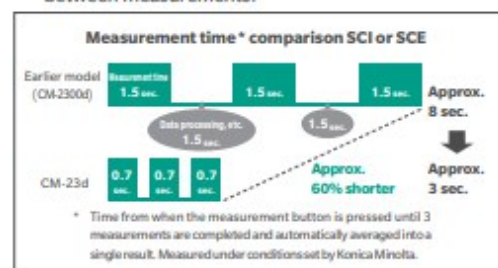
- Includes a Simple Mode that can measure color differences between samples and a target color by just switching on the power and operating 3 buttons.

■ Easy-to-read results

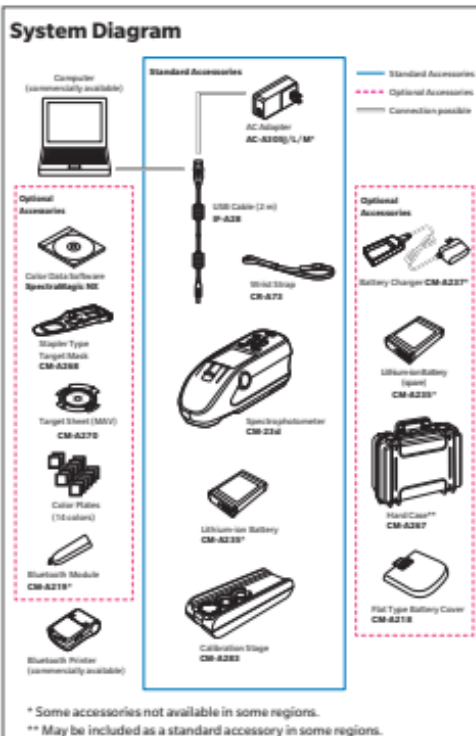
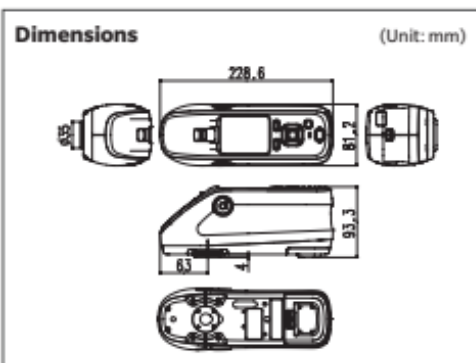
- A 2.7-inch display makes measurement results easy to read.

Faster measurement for improved productivity of measurement work

- Time per measurement: 0.7 sec; Shortest interval between measurements: 1.5 sec (Normal measurement mode)
- When taking averaged measurements, the automatic averaging function further reduces the interval between measurements.



Specifications	CM-23d
Illumination/viewing system	d _i : 8", d _e : 8" (diffuse illumination: 8" viewing) SCI (specular component included) / SCE (specular component excluded) switchable
Integrating sphere	Ø54 mm
Detector	Dual 32-element silicon photodiode arrays
Spectral separation device	Planar diffraction grating
Wavelength range	400 to 700 nm
Wavelength pitch	10 nm
Half bandwidth	Approx. 10 nm
Reflectance measurement range	0 to 175%; Display resolution: 0.01
Light source	Pulsed xenon lamp × 1 (with UV cut filter)
Illumination area	Ø12 mm
Measurement area	Ø8 mm
Repeatability	Standard deviation within ΔE*ab 0.08 (When a white calibration plate is measured 30 times at 5-second intervals after white calibration)
Inter-instrument agreement	Within ΔE*ab 0.4 (Based on average for 12 BCRA Series II color tiles; MAV SCI; compared to values measured with a master body under Konica Minolta standard measurement conditions)
UV setting	0% only; 400 nm UV cutoff filter
Observer	2° observer angle, 10° observer angle
Illuminant	A, C, D50, D65, F2, F6, F7, F8, F10, F11, F12, ID50, ID65 (Simultaneous evaluation with two light sources possible)
Display items	Colorimetric values/graph, color difference values/graph, spectral graph, pass/fail judgment, pseudocolor
Colorimetric values	L*a*b*, L*C*h, CMC(1:1), CMC(2:1), CIE94, CIE00, Yxy, XYZ, and color difference in these spaces; Munsell (C)
Indices	M _i , W (IASTM E313-73), Y _i (ASTM D1925), Opacity
Color difference equations	ΔE*ab (CIE1976) / ΔE94 (CIE1994) / ΔE00 (CIE2000) / CMC (1:c)
Applicable standards	ISO 7724/1, CIE No. 15, DIN 5033 Teil 7, JIS Z 8722 Condition "c"
Measurement time	Approx. 0.7 sec. (Measurement mode: SCI or SCE) (From pressing measuring button to measurement completion)
Minimum measurement interval	Approx. 1.5 sec (Measurement mode: SCI or SCE)
Data memory	1,000 target data + 1,700 sample data
Battery performance	Measurement mode: SCI or SCE Approx. 3,000 measurements (approx. 1,000 measurements when using Bluetooth) when measurements are taken at 10-second intervals at 23°C with the dedicated lithium battery
Viewfinder function	Available (with white LED illumination)
Display	2.7-inch TFT color LCD
Display language	English, Japanese, German, French, Italian, Spanish, Simplified Chinese, Portuguese, Russian, Turkish, Polish
Interface	USB 2.0; Bluetooth (SPP-compatible). Optional Bluetooth module required
Power	Dedicated lithium-ion battery (removable), USB bus power (with lithium-ion battery installed), Dedicated AC adapter (with lithium-ion battery installed)
Charging time	Approx. 6 h
Operating temperature/humidity range	Temperature: 5 to 40°C, Relative humidity: 80% or less (at 35°C) with no condensation
Storage temperature/humidity range	Temperature: 0 to 45°C, Relative humidity: 80% or less (at 35°C) with no condensation
Size	Approx. 81 (W) × 93 (H) × 229 (D) mm
Weight	Approx. 620 g



• The specifications and appearance shown herein are subject to change without notice.
• KONICA MINOLTA, the Konica Minolta logo and symbol mark, "Giving Shape to Ideas" and SpectraMagic are registered trademarks or trademarks of KONICA MINOLTA, INC.
• Other company names and product names used herein are trademarks or registered trademarks of their respective companies.

SAFETY PRECAUTIONS

For correct use and for your safety, be sure to read the instruction manual before using the instrument.

- Always connect the instrument to the specified power supply voltage. Improper connection may cause a fire or electric shock.

ISO Certifications of KONICA MINOLTA, Inc., Sakai Site

Design, development, manufacturing, manufacturing management, calibration, and service of measuring instruments

Design, development, manufacturing, service and sales of measuring instruments

KONICA MINOLTA, INC.
Konica Minolta Sensing Americas, Inc.
Konica Minolta Sensing Europe B.V.

Osaka, Japan
New Jersey, U.S.A.
European Headquarter /BENELUX
German Office
French Office
UK Office
Italian Office
Swiss Office
Nordic Office
Polish Office
Turkish Office
SE Sales Division
Beijing Office
Guangzhou Office
Chongqing Office
Qingdao Office
Wuhan Office

Konica Minolta (CHINA) Investment Ltd.
Konica Minolta Sensing Singapore Pte Ltd.
Konica Minolta Sensing Korea Co., Ltd.

Addresses and telephone/fax numbers are subject to change without notice. For the latest contact information, please refer to the KONICA MINOLTA Worldwide Offices web page :

Phone : 888-473-2656 (In USA), 201-236-4300 (outside USA)
Nieuwegein, Netherlands Phone : +31 (0) 30 248-1190
München, Germany Phone : +49(0)89 4357 156 0
Roissy CDG, France Phone : +33(0)1 80 11 10 70
Warrington, United Kingdom Phone : +44(0)1925 467300
Cinisello Balsamo, Italy Phone : +39 02849488.00
Dietikon, Switzerland Phone : +41 (0) 43 322-9900
Västra Frölunda, Sweden Phone : +46(0)31 7099464
Wrocław, Poland Phone : +48(0)71 73452-11
Istanbul, Turkey Phone : +90 (0) 216-528 56 56
Shanghai, China Phone : +86- (0)21-6489 0202
Beijing, China Phone : +86- (0)10-8522 1551
Guangdong, China Phone : +86- (0)20-3826 4220
Chongqing, China Phone : +86- (0)23-6773 4988
Shandong, China Phone : +86- (0)532-8079 1871
Hubei, China Phone : +86- (0)27-8544 9942
Singapore Phone : +65 6563-5533
Goyang-si, Korea Phone : +82(0)2-523-9726

Fax : 201-785-2482
Fax : +31 (0) 30 24 81 211
Fax : +49(0)89 4357 156 99
Fax : +33(0)1 80 11 10 82
Fax : +44(0) 1925 711143
Fax : +39 02849488.30
Fax : +41 (0) 43 322-9809
Fax : +48 (0)71 734 52 10
Fax : +90 (0) 212-253 49 69
Fax : +86- (0)21-5489 0005
Fax : +86- (0)10-8522 1241
Fax : +86- (0)20-3826 4223
Fax : +86- (0)23-6773 4799
Fax : +86- (0)532-8079 1873
Fax : +86- (0)27-8544 9991
Fax : +65 6560-9721
Fax : +82(0)31-995-8511

<https://konicaminolta.com/instruments/network>