

VÄRIT JA MENNEISYYS

**SPEKTRIMITTAUS KULTTUURIHISTORIALLISEN
MATERIAALIN TUTKIMUKSESSA**

Pirjo Karinen

7.5.2003

Joensuun yliopisto

Tietojenkäsittelytiede

Pro gradu -tutkielma

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. DIGITAALISTEN MENETELMIEN HYÖTY	5
2.1. Digitointi museotyössä	6
2.2. Arkeologinen aineisto	7
2.3. Taideteokset	8
2.4. Arkkitehtuuri.....	10
3. SPEKTRIMITTAUS	12
3.1. Värijärjestelmät.....	12
3.2. Spektrikuva	15
3.2. Mittausvälineistö.....	16
4. MITTAUKSET JA AINEISTON KÄSITTELY	18
4.1. Tekstiilit	19
4.1.1 Silkkileninki.....	20
4.1.2 Silkkikengät	30
4.1.3. Punainen hame	33
4.1.4. Miesten liivi	36
4.2 Maalaukset	43
4.2.1. Lukeva Madonna	44
4.2.2. Kirkon kattomaalaus, alue 2	51
4.2.3. Kirkon kattomaalaus, alue 3	54
4.3. Tapettinäytteet	56
4.2.1. Tapettinäyte 1:1, jugend-aiheinen tapetti.....	57
4.2.2. Tapettinäyte 1:2, jugend-aiheinen tapetti.....	63
4.2.3. Tapettinäyte 2, jugend-aiheinen tapetti.....	65
4.2.4. Tapettinäyte 3, jugend-aiheinen tapetti.....	71
4.2.5. Tapettinäyte 4, jugend-aiheinen tapetti.....	74
4.2.6. Jugend-aiheisten tapettien värierot	79
4.2.7. Tapettinäyte5 , Kuviotapetti	85
4.2.8. Tapettinäyte 6, Kuviotapetti	87
4.2.9. Tapettinäyte 8, Kuviotapetti	90
4.2.10. Tapettinäyte 11, Maalattu tapetti	92
5. POHDINTA	97
LÄHTEET	102
LIITTEET	
1. Spektrien L*a*b* -arvot	
2. Värierot.m –ohjelma	

1. JOHDANTO

Värit ovat oleellinen osa ympäristöämme. Näemme ja koemme värit eri tavalla eri olosuhteissa. Valaistuksen muuttuessa värit näyttävät erilaisilta. Materiaalien värit muuttuvat ajan myötä. Valon ja lian aiheuttamat muutokset voivat olla huomattavia. Värien tutkimiseksi on kehitetty tarkkoja menetelmiä, joiden avulla väri voidaan määrittää matemaattisina arvoina.

Digitaalinen arkistointi on yleistynyt kulttuuriperinnön tallennuksessa. Tähän ovat vaikuttaneet tietoyhteiskuntaan liittyneet hankkeet, joissa on selvitetty digitaalitekniikan vaikutuksia kulttuurin kehitykseen, multimedian kehitysnäkymiä sekä käyttömahdollisuuksia taiteissa, kulttuuriperinnön säilyttämisessä ja elävoittämässä [37, 39].

Digitaalitekniikka on vaikuttanut mullistavasti kaikkeen tiedonsiirtoon. Tämä on näkynyt selvimmin viestintä- ja kulttuuriteollisuudessa. Se on yhdentänyt eri sektoreiden toimintatapoja ja tuotannonaloja. Digitaalitekniikalla voidaan yhdistää tietojen käsittely yhteismitalliseksi ja yhteensopivaksi kokonaisuudeksi. Tietokoneen muistiin sopii tekstiä, kuvaa ja ääntä samassa teknisessä muodossa. Digitoinnissa on kyse tiedon muuttamisesta numeeriseen muotoon, jota tietokone pystyy käsittelemään.

Museot edustavat suhdetta historiaan ja nykyisyyteen. Museot ovat menneisyyden ja nykyisyyden valikoivia tallentajia, tulkitsijoita ja välittäjiä. Ne toimivat aktiivisina tieto-organisaatioina. Museot keräävät, tallettavat, tutkivat ja jalostavat tietoa tietotuotteiksi. Museotyö on kulttuuriperintöä koskevan tiedonvälitysvälineiden täyttämistä.

Opetusministeriön 3.11.1994 asettama asiantuntijatyöryhmän jätti tammikuussa 1996 ehdotuksensa "Kulttuurinen tietoyhteiskunta" opetusministeriön toimintaoh-

jelmaksi vuosille 1997-2000 [27]. Siinä kirjattiin museoiden ja kulttuuriperinnön osalle

- museoille tulee taata riittävät valmiudet ylläpitää ja kartuttaa sähköisiä tietovarastoja sekä tarjota tietoa yleisölle tarkoituksenmukaisessa ja helposti saatavassa muodossa
- museolaitoksen liittämistä tietoverkkoihin tulee edistää
- tuetaan museolaitoksen tietojärjestelmien standardien kehittämistä, museoiden tiedonhallintaa ja tiedonhakua palvelevia järjestelmiä tuetaan
- museoiden aineistokokoelmien valikoitua saattamista digitaaliseen muotoon tuetaan
- tuetaan museoiden aineistoihin pohjautuvaa kotimaista digitaalista sisältötuotantoa
- museoiden tietoteknologisen arkkitehtuurin kehittäminen tulee yhdistää kirjastojen ja arkistojen kehittämiseen, kulttuurin tietoverkkostrategiaan ja koko koulutusjärjestelmän verkkostrategiaan.

Tietotekniikan ja -verkkojen kehittyminen on muuttanut museoiden toimintatapoja. Perinteisten julkaisumuotojen - painettu aineisto, näyttelyt - rinnalle ovat tulleet tiedonvälityksen uudet muodot. Museot muodostavat yhdessä arkistojen ja kirjastojen kanssa merkittävän osan yhteiskunnan tietohuollon kokonaisuudesta.

Museoissa oleva tietovaranto muodostuu monipuolisesta elämän eri alueiden materiaalista. Aineisto on monimuotoista - esineitä, taideteoksia, valokuvia, arkistoaineistoa, tallenteita, tutkimustietoa. Kulttuurin tietoyhteiskunnan tavoitteeksi asetettiin museon valmiuksien parantaminen toimia aktiivisina tiedontuottajina ja palvelulla kulttuuriperinnön tietovarantojen käyttäjiä.

Museoala on kehittänyt toimintaansa määrätietoisesti osaksi verkottuvaa yhteiskuntaa. Useimmissa Suomen museoissa kokoelmatiedot tallennetaan digitaalisessa muodossa relaatiotietokantoihin.

Opetusministeriön Myytti-rahoituksen [21] turvin on museoiden kokoelmien digitointiin myönnetty vuodesta 1997 alkaen vuositasolla n. 250 000 euroa. Rahoituksella oli vuoden 2001 loppuun mennessä tallennettu 489 189 museo-objektin tiedot. Digitaalista materiaali on hyödynnetty verkkosivuilla, multimedia-ohjelmissa, näyttelytiedotteissa ja julisteissa. Digitaalinen tallennus mahdollistaa kulttuuriperinnön monipuolisen esittämisen ja samalla se turvaa alkuperäisen aineiston säilymisen.

Digitoinnin myötä kuvamateriaalin merkitys museoiden tallennustyössä korostuu. Suomen valokuvataiteen museon digimentti -luonnos ohjeistaa museoita valokuvamateriaalin digitointiin [7]. Digitaalisen tallennuksen myötä perinteinen museoaineiston mustavalko-dokumenttikuvaus tulee väistymään digitaalikameran tieltä. Tämä merkitsee väriin perustuvan materiaalin lisääntymisen museoiden tallennus-, tutkimus- ja dokumentointitoiminnassa.

Kulttuuriperinnön tutkimuksessa ja tallennuksessa ei ole kiinnitetty erityistä huomiota esineiden värien tarkkaan tallennukseen. Väri on käsitelty esineen ominaisuutena ja se on kuvailtu sanallisesti. Tarvittaessa esineestä on otettu väridia tai värivalokuva, nykyisin digitaalikuva. *Spektrikuvantamisen* mahdollisuuksia kulttuuriperinnön tutkimuksessa ei ole vielä paljoakaan tutkittu.

Tutkielmani aiheena on kulttuurihistoriallisen materiaalin värimittaukset. Tutkielmani keskeinen aineisto muodostuu kesällä 2001 Joensuun yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitoksen väriryhmässä tehdyistä spektrometrisistä värimittauksista. Työryhmään kuuluivat lisäksi Dr. Yoshitsugu Manabe, Dr. Kanae Miyazawa ja Oili Kohonen. Tarkoitukseni on pohtia miten spektriin perustuvaa väritutkimusta voidaan hyödyntää kulttuurihistoriallisen materiaalin tutkimuksessa, tallentamisessa ja esittämisessä.

Luvussa 2 esittelen miten digitointia on hyödynnetty kulttuurihistoriallisen aineiston tutkimuksessa ja museotoiminnassa. Luvussa 3 käsittelen värijärjestelmiä,

spektrimittauksen periaatteita ja välineitä. Luvussa 4 käsittelen materiaaliryhmittäin mittausaineistoja, aineiston käsittelyä ja värieroja. Luvussa 5 pohdin spektrivärimittauksen ongelmia ja mahdollisuuksia museomateriaalin ja museotyön kannalta.

2. DIGITAALISTEN MENETELMIEN HYÖTY

Digitoinnissa on kyse tiedon muuttamisesta numeeriseen muotoon, jota tietokone pystyy käsittelemään. Digitointia käytetään hyväksi kulttuurihistoriallisen aineiston käsittelyssä, tutkimuksessa ja esittämisessä.

Museokokoelmat kostuvat erilaisista esineistä, valokuvista, koneista, arkeologista löydöistä, valokuvista jne. [36]. Kokoelmiin liittyvien tietojen tallentaminen on vaativaa työtä. Museoesineisiin liittyvä tieto eroaa yleisesti tietokantoihin tallennettavista tiedoista. Esineisiin liittyvien ominaispiirteiden – materiaali, tyyli, erityispiirteet, värit, valmistusmenetelmä - lisäksi niihin liittyy tietoa, joka on syntynyt dokumentoinnin ja luetteloinnin yhteydessä. Tällaisia tietoja ovat sanallisesti kuvailevat tiedot ja esineiden kontekstiin liittyvät tiedot – kuka esineen on valmistanut, missä ja milloin, mitä tarkoitusta varten, kuka esinettä on käyttänyt, onko esine konservoitu, onko esine ollut näyttelyssä jne. Museoesineiden kohdalla meta-tiedon hallinta on oleellisen tärkeää.

Euroopan museoissa ja gallerioissa vierailee vuosittain yli 500 miljoonaa kävijää [53]. Samanaikaisesti mielenkiinto menneisyyttä kohtaan on kasvanut [35]. Ihmiset ovat kiinnostuneita historiasta ja haluavat tutustua kulttuuriperintöön. Historioitsijat käyttävät kirjallisia lähteitä kuvatessaan menneisyyttä, kun taas museoalalla tulkitaan menneisyyttä kokoelmaesineiden ja niihin liittyvien dokumenttien pohjalta. Kokoelmista suurin osa jää kävijöiltä näkemättä näyttelytilojen ja resursien puutteen takia. Digitointimenetelmät ja digitaalinen arkistointi antavat uudenlaisen mahdollisuuden hauraiden, huonokuntoisten ja helposti vaurioituvien aineistojen esittelyyn.

2.1. Digitointi museotyössä

Kokoelmätietojen digitointi on osa museoiden tallennustoimintaa, joka pohjautuu erilaisten tietokantojen ylläpitoon. Tietokantojen avulla tarvittavien tietojen etsiminen ja siirtäminen on nopeuttanut tutkimuksessa tarvittavien tietojen saantia.

Suomessa tietojen digitointiin on suunnattu valtion varoja opetusministeriön ohjauksessa. Näin työ on saatu käyntiin, mutta tehtävää työtä on edelleen valtavasti. Digitointityössä tietojen priorisointi on suuri haaste museotoiminnalle. Museoiden tehtävä on tallentaa tietoa menneestä tulevaisuuteen. Digitoinnissa on tietojen tallentamisen yhteydessä kyse myös siitä, mitä tulevaisuuteen tallennetaan nykyisyydestä.

Kuvamateriaalin kohdalla digitointikysymys on erittäin ajankohtainen. Kuvatietoja on paljon ja kaiken digitaalinen tallentaminen ei ole perusteltua eikä mahdollista. Suomen valokuvataiteen museossa asiaa on mietitty ja se on laatimassa ohjeistusta museoiden kuvatallennukselle [7].

Digitaalisessa arkistoinnissa tietojen tallennus ja säilyvyyden turvaaminen ovat haasteita. Laitteistojen ja tallennusmuotojen kehittyminen tuo käyttöön uusia, tehokkaampia menetelmiä. Aikaisempien, nykyisten ja tulevaisuuden tietojen tallennusmuotojen yhteensovittamiseen liittyy ongelmia. Tästä syystä alkuperäisen kulttuurihistoriallisen materiaalin ja siihen liittyvän tiedon säilyminen on tärkeää.

Oleellinen osa museotoimintaa on tiedon julkistaminen. Perinteisiä julkistamistapoja ovat näyttelyt ja julkaisut. Viime vuosina museoiden verkkosivut ovat yleistyneet. Suomen ammatillisesti hoidetuilla museoilla on kotisivut ja ne ovat nykyai-kaista museotoimintaa. Digitaalitekniikan myötä ovat virtuaalinäyttelyt ja 3D-mallit yleistymässä myös museoiden toiminnassa. Museoiden tutkimustoiminnassa digitaalisessa muodossa olevaa materiaalia ei ole käytetty lähdeaineistona. Tutkimukset ovat pohjautuneet alkuperäisen aineiston muodostamaan materiaaliin.

Muualta maailmasta, mm. Iso-Britanniasta ja USA:sta, saadut kokemukset ovat edistäneet digitaalitekniikan käyttöönottoa museoiden tutkimustoiminnassa. Helpon tuhoutuvaa aineistoa on turvallista käsitellä digitaalisesti, aineistoa voidaan tarkastella erilaisista näkökulmista ja erilaisissa valaistuksissa. Samoin digitaalisen aineiston erilaiset hyödyntämistavat antavat uusia mahdollisuuksia aineiston tunnistamiseen, tutkimukseen ja muutosten havaitsemiseen sekä kulttuuriperinnön esittämiseen.

2.2. Arkeologinen aineisto

Arkeologinen aineisto on luonteeltaan arkaa materiaalia ja useimmiten herkästi särkyvää. Arkeologisessa tutkimuksessa on digitaalitekniikasta apua. Uusilla digitaalisilla työvälineillä on mahdollista koota tietoja tarkasti ja laajoilta aloilta. Tiedot muodostavat arkeologisen arkiston ja tietoja voidaan hyödyntää virtuaaliesityksissä ja 3D-mallinnuksessa [1, 56]. Digitaalisen laitteiston hyödyntäminen tutkimuksissa tuottaa nopeasti luotettavaa ja helposti muokattavaa tietoa [50].

Keramiikka muodostaa laajimmalle levinneen arkeologisen materiaalin [24]. Keramiikassa ovat tyylit, muodot ja koostumus vaihtuneet usein hyvin lyhyiden ajanjaksojen sisällä. Siksi tutkijat pystyvät dokumentoimaan tyylien ja ornamenttien muutoksia. Erityisesti keramiikka-astiat muodostavat arkeologisen aineiston ajoituksen perustan.

Digitointimenetelmiä on hyödynnetty Kiinan terrakotta-armeijan hautalöytöjen tutkimuksessa [56]. Digitoituja tietoja on hyödynnetty löytöjen esittämisessä sekä tutkimustoiminnassa. Samoin Kiinan Gansun maakunnassa sijaitsevan Dunhuang Magaon luolaston tutkimuksessa on hyödynnetty digitaalisia menetelmiä [30]. Tämä kulttuuriperintökohde sisältää yli 555 luolaa, 2000 maalattua patsasta ja 5000 neliometriä seinämaalauksia, freskoja. Tutkijat ovat työskennelleet löytöäseen menetelmiä mm. seinämaalausten värien säilyttämiseksi ja entistämiseksi. Tähän on tietotekniikka tuonut uuden mahdollisuuden. Digitaalisesti voidaan tal-

lentaa tietoja kohteista sekä virtuaalisesti mallintaa niiden kunnostamista ja esittämistä.

2.3. Taideteokset

Digitaalikuvaus on osoittautunut hyödylliseksi välineeksi maalausten dokumentoinnissa ja tutkimuksessa [43].

National Gallery (Lontoo) ja Doener-Instituutti (München) kehittivät yli 10 vuotta kestäneen yhteistyön tuloksena kaksi korkearesoluutioista digitaalikuvausjärjestelmää, VASARIn ja MARCin, maalausten konservointitarpeita varten.

Kuvausjärjestelmät nimettiin Euroopan yhteisön tukemien projektien mukaan.

VASARI -projekti kehitti kolorimetrisen skannusmenetelmän maalausten suoraan digitaalikuvaamiseen [51, 52, 53, 54]. Se on korkearesoluutioinen ja väritarkkuudeltaan tarkempi kuin tavallinen filmi ja siten sillä voi korvata filmikuvauksen. Skanneri liikuttaa CCD-kameraa tallentaen kuvausalueet korkearesoluutioisiksi kuviksi. Kuvausalue on rajattu ja osakuvista saadaan koottua suurempi kuva.

VASARI (Visual Arts: System for Archiving and Retrieval of Images) suunniteltiin vuosina 1989-1992 Lontoossa ja Münchenissä [43, 44, 45]. Kuvausmenetelmä tuottaa kuvia maalauksista siten, että niiden resoluutio voi olla 20 pikseliä/millimetri [4]. Kuvattava maalaus asetetaan telineeseen ja kohde kuvataan liikuttaen kameraa maalauksen pinnan suuntaisesti kuvausasennon pysyessä vakiona. Näin saadut kuvat ovat suuria (jopa 800MB) ja vaativat optisen säilytysaseman ja tehokkaan kuvankäsittelyohjelman. Kuvia käytetään julkaisuissa, tieteellisissä analysoinneissa ja konservoinnissa.

VASARI -järjestelmän huono puoli oli se, että se soveltui vain pienempien maalausten mittaamiseen. Lontoon VASARI -järjestelmässä väritieto tallennettiin CIE L*a*b* värikoordinaatteina.

VASARI –projektissa kehitetyt digitaaliset kuvausmenetelmät mahdollistavat kahden kuvan välisten erojen tutkimisen. National Galleryssa taidemaalauksia kuvattaessa havaittiin, että kun samaa maalausta kuvataan tietyin väliajoin voidaan havaita mahdolliset värimuutokset. Värimuutokset ovat voineet aiheutua ajan myötä esim. näyttelyssä olosta, varastointiolosuhteista tai myös lyhyemmällä aikavälillä esim. näyttelylainoja kuljettaessa.

MARC (Methodology for Art Reproduction in Colour) -kamera yhdisti tehokkaasti VASARI -skannerin ja kameran yhdeksi kokonaisuudeksi. Se kehitettiin vuosina 1993-1996. Marc-kamera on siirrettävä ja sillä voidaan kuvata maalauksia koosta riippumatta [6].

MARC/WISEUM –projekti koskee National Galleryn kokoelmissa olevien maalausten korkearesoluutioista, tarkkaa värikuvausta levitettäväksi painettuna tai verkon kautta [31, 32, 33]. Projektin tavoitteena on kehittää menetelmä korkearesoluutioisten kuvien tuottamiseksi, kuvien väritarkkuuden säilyttämiseksi, tallennusjärjestelmän ja tiedostomuodon kehittämiseksi, tulostuslaitteiden – monitorien ja tulostimien – kalibroimiseksi sekä asiakas/palvelinohjelman kehittämiseksi siten, että korkearesoluutioisten kuvien toimittaminen verkon kautta on mahdollista.

Tarkoituksena on edistää menetelmiä, jolla voidaan vastata kasvavan käytön tarpeisiin ja samalla suojata alkuperäisiä maalauksia. Kuvat ovat keskimäärin kooltaan 400Mb.

Digitoitavat maalaukset valitaan sitä mukaan, kun ne menevät konservoitaviksi. Maalaukset tuodaan kuvastudioon. Kuvat otetaan suoraan maalauksista käyttämällä MARC-kameraa tai VASARI-skanneria. Kuva kalibroidaan CIELAB -värijärjestelmään ja varastoidaan asiakaskuva-muotoon. Pakkaamista tai tarkennusta ei tehdä ennen tallennusta. Kuvat ovat käytettävissä National Gallerin Intranetissä.

VASARI ja MARC -projektien ansiosta nykyään on olemassa lukuisia muita digitaalisia arkistointiprojekteja [13]. Monet niistä ovat web-perustaisia kuten Eremitage-museon onlinekokoelmat [34]. Kun digitaalisen arkistoinnin välineet on kehitetty, niin yksittäiset ryhmät käyttävät niitä digitaalisten kuvakirjastojen muodostamiseen kaikkialla maailmassa.

National Gallery of Art Washington DC:ssä on tutkittu van Goghin maalaamaa omakuvaa spektrikuvantamalla maalauksen pigmenttejä [16]. Tutkimuksen tavoitteena oli löytää maalauksen mahdollisimman tarkat, alkuperäiset värit ja siten välttää metamerismi tulevista tallennettavissa kuvissa. Maalausten analysoinnissa digitaalikuvauksella ja spektrikuvantamisella on monia mahdollisuuksia [3, 4, 40, 42, 44, 46, 47, 48].

2.4. Arkkitehtuuri

Rakennusperinnön esittäminen vaatii kahdenlaista tietoa kolmiulotteisen tiedon muodostamiseksi. Tietoa tarvitaan nykyisistä, todellisista olosuhteista sekä aiempien historiallisesta vaiheiden olosuhteista. [2]. Näiden kahden tiedon yhdistämistä kutsutaan virtualisoinniksi. Arkkitehtuurikohteiden 3D-tiedon kokoamiseksi on erilaisia välineitä ja tekniikoita. Useimmat niistä ovat hitaita ja epätarkkoja. Nykyinen tekniikka, joka ei vaadi kosketusta esineeseen, tarjoaa selviä etuja silloin, kun työskennellään maisemassa tai monumentaalisisessa mittakaavassa.

Suurin osa arkkitehtuuriperinnön mittaustyöstä tehdään käsin suhteellisen rajoitetulla alalla. Ei-koskettavat digitointivälineet ovat saamassa merkitystä arkkitehtuurin ja kulttuuriperinnön sovelluksissa.

Arkkitehtuuridigitoinnin kohteena on ollut mm. historiallinen Pomposan Abbeyn basilika, jossa käytettiin erilaisia 3D-mittausmenetelmiä olemassa olevien olosuh-

teiden dokumentointiin. Nämä tiedot muodostivat pohjan nykyolojen ja 900-luvun olosuhteiden analysoinnille ja virtualisoinnille.

Digitaalisessa Michelangelo –projektissa Stanfordin yliopistosta ja Washingtonin yliopistosta muodostettu ryhmä digitoi vuosina 1998-1999 Michelangelon arkkitehtuuria ja veistoksia [29]. Ryhmä skannasi 10 patsasta ja kahden rakennuksen interiöörit. Tiedon pohjalta luodaan kohteista digitaaliset 3D-mallit. Mallien avulla voidaan tutkia patsaiden geometriaa ja yksityiskohtia, vaihtaa valaistusta ja tarkastelukulmaa, mikä ei muuten ole mahdollista.

3. SPEKTRIMITTAUS

Värikuvien tarkkuus riippuu käytetystä mittaus- ja värikoordinaattijärjestelmästä [8, 24]. Väri esitetään tavallisesti kolmiulotteisina värikoordinaattimalleina, jotka perustuvat malliin ihmisen värinäöstä. Kolmiulotteisia värijärjestelmiä ovat CIE xyY, CIELAB, CIELUV ja RGB. Nykyiset värikuvausjärjestelmät perustuvat kolmea värifiltteriä käyttäviin värisuodattimiin, ja tähän liittyy rajoitteita.

Ihmisen havaitsema kohteen väri on aivojen tuottama aistimus [24]. Siksi värin määrittäminen on vaikeaa. Fysiikan näkemyksen mukaan väritieto on valon silmään välittämä tieto havaitusta kohteesta. Väri on sähkömagneettisen säteilyn aallonpituuden jatkuva funktio näkyvän valon alueella eli 380 – 760 nm. Tämän säteilyn spektri voidaan mitata ja esittää vektorina. Fysiikan näkökulman mukaan suurin tarkkuus värikuvulle saadaan esittämällä väri spektrinä [9].

3.1. Värijärjestelmät

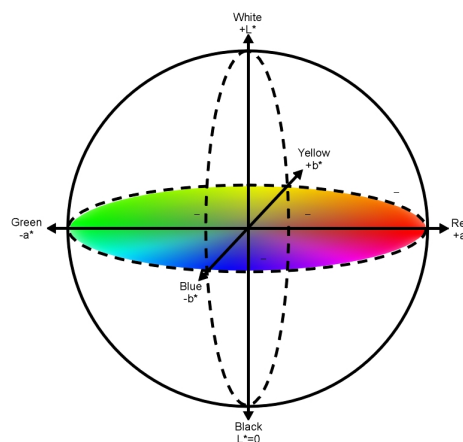
Väri esitetään tavallisesti kolmiulotteisina värinäön malleina, jotka perustuvat ihmisen värinäköjärjestelmään. CIE-menetelmä kehitettiin vuonna 1931 [41]. Sen ensimmäisen version tavoitteena oli saada aikaan ihmisen värinäköä vastaava värin koodausjärjestelmä. CIE-järjestelmän avulla voidaan määritellä, mistä väristä on kysymys [48]. Värit voidaan ilmaista kahden koordinaatin ja valon heijatusprosentin avulla.

Kolmiulotteisiin värijärjestelmiin pohjautuvat värianalyysit ovat laskennallisesti tehokkaita ja värien tarkkuus riittää moniin sovelluksiin [8, 14, 55]. Värijärjestelmillä on kuitenkin myös rajoitteita. Kolmiulotteisilla värijärjestelmillä voi olla ongelmia metamerismin suhteen, jolloin yksi kolmiulotteisen värijärjestelmän vektoreista vastaa useita eri spektrejä [10, 14, 49]. Metamerismistä on kyse silloin,

kun ihmissilmä ei erota tietyssä valossa kahta väriä toisistaan. Valaistuksen muuttuessa väriero tulee havaittavaksi.

CIE $L^*a^*b^*$ eli CIELAB järjestelmä käyttää kolmea koordinaattia, L^* , a^* ja b^* määrittämään jokaista väriä [5]. CIELAB on käytössä teollisuudessa. Värijärjestelmän koordinaatit korreloivat värin kolmeen ominaisuuteen [11]. L^* esittää värin valoisuutta asteikolla 0 (musta) – 100 (puhdas valkoinen). Koordinaatti a^* kuvaa puna-vihreä asteikkoa ja koordinaatti b^* kuvaa kelta-sininen asteikkoa. CIELAB -järjestelmää käyttämällä väriero voidaan esittää kolmiulotteisessa koordinaatistossa (kuva 1) [38].

CIE $L^*a^*b^*$ chromaticity diagram



Kuva1: $L^*a^*b^*$ -värikoordinaatisto [38]

$L^*a^*b^*$ -arvot ja väriero saadaan laskemalla seuraavilla kaavoilla [22]. Näissä kaavoissa X , Y ja Z ovat näytteen tristimulusarvot ja X_n , Y_n ja Z_n valitun valkoisen (esim. D65) tristimulusarvot.:

$$\begin{aligned}
 L^* &= 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \\
 a^* &= 500 \left(\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right) \\
 b^* &= 200 \left(\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right)
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

jos $X/X_n, Y/Y_n, Z/Z_n > 0,008856$. Muussa tapauksessa

$$\begin{aligned}
 L^* &= 903,3 \frac{Y}{Y_n} \\
 a^* &= 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right], \\
 b^* &= 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right]
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

missä

$$\begin{aligned}
 f\left(\frac{X}{X_n}\right) &= \left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}}; \frac{X}{X_n} > 0,008856 \\
 f\left(\frac{X}{X_n}\right) &= 7,787 \left(\frac{X}{X_n}\right) + \frac{16}{116}; \frac{X}{X_n} \leq 0,00856
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}}; \frac{Y}{Y_n} > 0,008856$$

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = 7,787\left(\frac{Y}{Y_n}\right) + \frac{16}{116}; \frac{Y}{Y_n} \leq 0,008856$$

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{\frac{1}{3}}; \frac{Z}{Z_n} > 0,008856$$

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = 7,787\left(\frac{Z}{Z_n}\right) + \frac{16}{116}; \frac{Z}{Z_n} \leq 0,008856$$

Edelleen CIEL*a*b* -avaruudessa on määritelty:

Väriero (euklidinen etäisyys)

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}, \quad (3.4)$$

jossa a ja b ovat vertailtavia pisteitä.

3.2. Spektrikuva

Multispektri- tai spektrikuviksi kutsutaan korkealaatuisia, kaksiulotteisia värikuvia, joissa kuvan jokainen pikseli sisältää värispektrin [8]. Spektrivärikuvat välttävät metamerismin ja spektrit voidaan tarvittaessa mitata näkyvän valon ulkopuolisilla, UV- tai IR-alueilta.

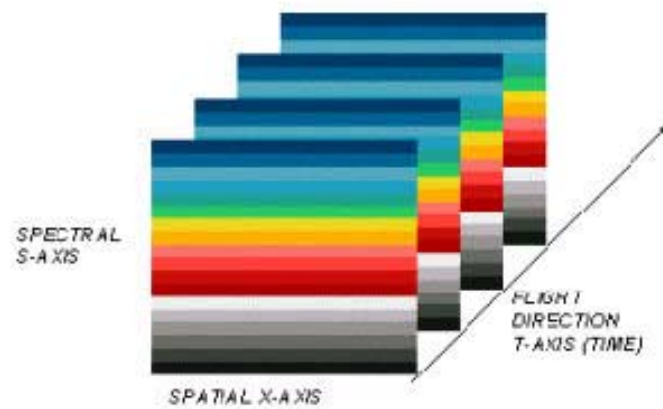
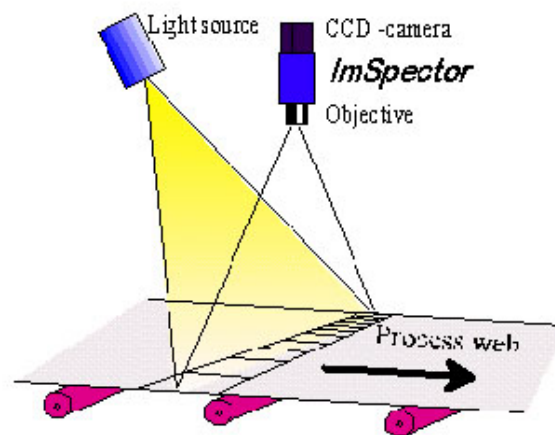
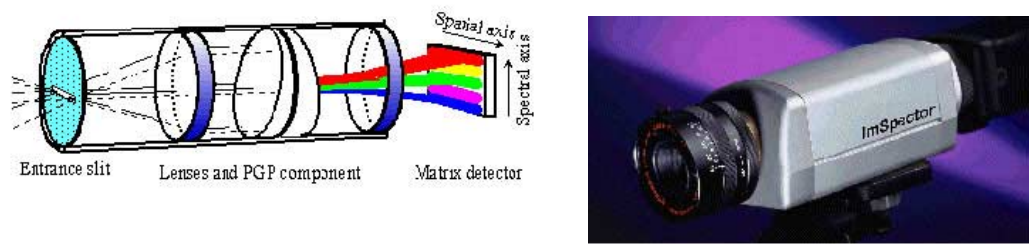
Spektrikuvantaminen on tullut kasvavan mielenkiinnon kohteeksi ja spektrikuvat ovat yleistyneet [8]. Ne ovat tarkkoja ja sisältävät spektreihin perustuvaa informaatiota. Spektrikuvausta käytetään hyväksi mm. teollisten tuotteiden laaduntarkastuksessa ja konenäössä [15, 28].

Värispektri voidaan mitata erilaisilla laitteilla [8]. Näitä ovat mm. monokromaattori, radiometri [20], spektrofotometri tai CCD-kamera, jossa on kapeakaistasuotimet [26] tai laajakaistasuotimet [9]. Spektrit mitataan tavallisesti 1-10 nm:n välein ja siten spektrikuva, joka on mitattu 400-700 nm:n alueella, sisältää keskimäärin 301:sta 31:een kuvaa (kuva 2) [9, 12]. Tämä merkitsee sitä, että prosessoitavan ja tallennettavan tiedon määrä on suuri.

3.2. Mittausvälineistö

Värispektri voidaan mitata mm. spektrofotometrilla, radiometrillä tai CCD-kameralla, johon yhdistetty joko kapeakaista- tai laajakaistasuotimet [9]. Spektrien mittaamiseksi on kehitetty menetelmiä. Spektrimittaus sopii värimittauksiin ja analyyseihin. Kuitenkin käytettäessä perinteistä spektrometriä kuluu valitun pisteen spektrin tallentamiseen useita sekunteja. Tämä johtaa siihen, että korkealaatuisen spektrikuvan tuottamiseen tarvitaan paljon aikaa.

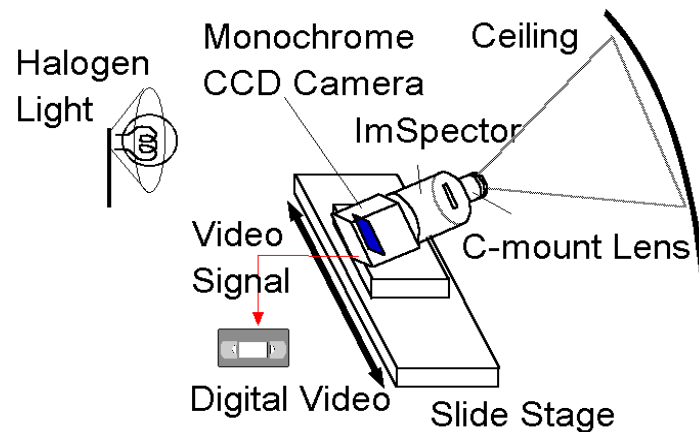
Tutkimuksessani käsiteltävä aineisto mitattiin ImSpectorilla, joka oli yhdistettynä CCD-videokameraan. ImSpector on laite, joka pystyy samanaikaisesti mittaamaan optiset spektrien komponentit ja kohdepinnan avaruudellisen sijainnin [17, 18, 19]. Se tallentaa kuvasarjan ja hajottaa sen spektreihin kuvasarjaan nähden päinvastaisessa suunnassa. Mustavalkoiseen matriisikameraan yhdistettynä ImSpector muuntaa sen spektraaliseksi kuvasarjajärjestelmäksi. Jokainen ruutu sisältää pikseleiden sarjan yhdessä ulottuvuudessa (tila-akseli) ja spektripikselit toisessa suunnassa (spektri-akseli) esittäen jokaisella pikselillä täyden spektrisen tiedon (kuva 2) [12].



Kuva 2. Spektrimittaus ImSpectorilla [12].

4. MITTAUKSET JA AINEISTON KÄSITTELY

Kulttuurihistoriallisen materiaalin spektrimittaukset toteutettiin niiden omissa ympäristöissä lukuun ottamatta tapettiaineistoa. Tapettinäytteet mitattiin Joensuun yliopiston värlaboratoriossa. Mittausympäristöt pyrittiin järjestämään niin, että ne pysyivät samanlaisina samassa paikassa suoritettavien mittausten aikana. Mittauslaitteena oli CCD-videokamera, johon oli yhdistetty ImSpector. Kamera oli mittaushetkellä nähdessä joko kohtisuoraan tai 45° kulmassa. Kameran asemasta riippuen valolähde oli kohteeseen nähden joko 45° kulmassa tai kohtisuorassa (kuva 3).



Kuva 3. Mittauslaitteisto kirkon kattomaalaukseen kohdennettuna [25]

Tri Manabe vastasi mittausten teknisestä toteutuksesta ja käsitteli ImSpectorilla mitatun aineiston spektrikuviksi. Kuvista valitsin pisteet, joista tuotin spektrien kuvaajat Dr. Manabelta saamalla saveSpec.exe -ohjelmalla. Dr. Manabe toimitti kunkin materiaalityhmän yhteydessä siihen sopivan saveSpec.exe -version. Annoin ohjelmalle parametreina kuvasta valitun pisteen sijaintia osoittavat x- ja y -koordinaatit, joista ohjelma laski pisteen spektrin arvot viiden nanometrin välein 450-760 nanometrin välillä tulostaen sen tekstitiedostoksi. Niiden avulla piirsin spektrien kuvaajat. Pisteiden L*a*b* -arvot (liite 1) laskin colors.m -ohjelman avulla.

Värivertailuja varten laskin pisteiden väliset värierot variero.m –ohjelmalla (liite 2).

Tässä luvussa esittelen tehdyt mittaukset esineryhmien mukaan jaoteltuna, mittauspisteiden spektrit ja valittujen mittauspisteiden spektrien väliset värierot.

4.1. Tekstiilit

Pohjois-Karjalan museon konservointikeskuksessa mittaustila järjestettiin tekstiilikonservaattorin pesutilaan. Tilassa ei ole ikkunoita ja tilan molemmissa päissä olevat kaksoisovet saatiin suljettua. Kynnysten kautta tuleva valo poistettiin tilkitsemällä alareunassa oleva rako mustalla kankaalla. Näin saatiin luotua kuvaustila, jossa ulkopuolisten tekijöiden vaikutukset mittauksiin saatiin poistettua.

Pohjois-Karjalan museon tekstiilikonservaattori Helena Kylmänen valitsi mittauskohteiksi eri materiaaleista valmistettuja 1800-luvun tekstiilejä. Valintakriteereinä olivat ikä, materiaali ja väri. Materiaaleina olivat silkki, villa ja puuvilla. Värjäämättömät luonnonmateriaalit jätettiin tässä mittauksessa ulkopuolelle. Valinnan yhteydessä kiinnitettiin huomiota siihen, että tekstiileistä löytyisi kohtia, jotka olisivat väritään mahdollisimman lähellä oletettua alkuperäistä väriä.

Mitattavat tekstiilit laitettiin pystysuoraan asentoon. Taustana oli vaalealla kankaalla päällystetty levy. Taustalevyä ei saatu tuettua tarkasti pystysuoraan, vaan se jäi hieman taaksepäin kallistuvaksi.

Valolähteenä käytettiin Pohjois-Karjalan museon kuvauslamppua, jossa oli 1000 W halogeeni lamppu. Apuna oli kuvausvarjo, jonka avulla valon jakaantuminen saatiin tasaisemmaksi kuvauskohteessa. Tekstiilit mitattiin noin metrin päästä. Valaistus tuli 45 asteen kulmassa tekstiiliin. Kamera oli kohtisuorassa tekstiiliin.

ImSpectorilla aineistoista mitattiin kerrallaan noin A4-kokoiset alueet. Tästä syystä samaa kohdetta jouduttiin mittaamaan useammassa osassa. Tämä toteutettiin niin,

että mittauskohdetta siirrettiin taustan suuntaisesti. Näin pyrittiin pitämään mitta-
usetäisyys samana. Mittausalueet valittiin siten, että niissä oli silmämääräisesti
erotettavissa väri vaihteluja mitattavassa kohteessa.

4.1.1 Silkkileninki

Leninki, Annandagsklänning (P-K 3382), on vaalean lilan värinen ja ajan myötä
haalistunut (kuva 4). Mittausten välillä leninkiä siirrettiin pakkauslaatikossaan ka-
merasta katsottuna vasemmalle. Koko leningin mittaaminen ei tässä vaiheessa ollut
mahdollista, koska se olisi vaatinut toisenlaisia mittaolosuhteita suuren kokonsa
ja hauraan materiaalinsa vuoksi. Mittausalueet valittiin siten, että niissä olisi ero-
tettavissa tummempia värejä, joiden oletettiin olevan lähempänä alkuperäistä vä-
riä. Ongelmana mittauksessa oli silkin sähköisyys, jota yritettiin vähentää kuvaus-
varjoa avulla. Leningistä mitattiin kaksi eri aluetta, joista valitsin pisteet värieron
vertailua varten (kuvat 5 ja 10).



Kuva 4. Silkkileninki ja kuvatut alueet.



Kuva 5. Vasemman puoleisesta mittauskohteesta valitut pisteet

Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

Vihreät pisteet vasemmalta:

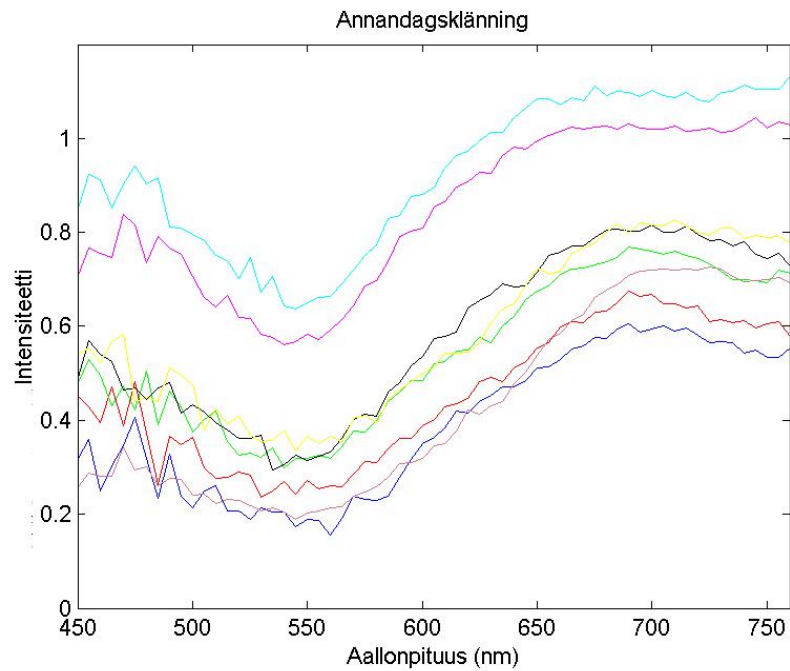
ensimmäinen	- sininen kuvaaja, Oh
toinen	- punainen kuvaaja, Oi
kolmas	- vihreä kuvaaja, Oj
neljäs	- magenta kuvaaja, Ok
viides	- musta kuvaaja, Ol
kuudes	- syaani kuvaaja, Om
seitsemäs	- keltainen kuvaaja, On
kahdeksas	- vaaleanpunainen kuvaaja Oo

Punaiset pisteet vasemmalta:

ensimmäinen	- sininen kuvaaja, Oa
toinen	- punainen kuvaaja, Ob
kolmas	- vihreä kuvaaja, Oc
neljäs	- magenta kuvaaja, Od

Syaani pisteet vasemmalta:

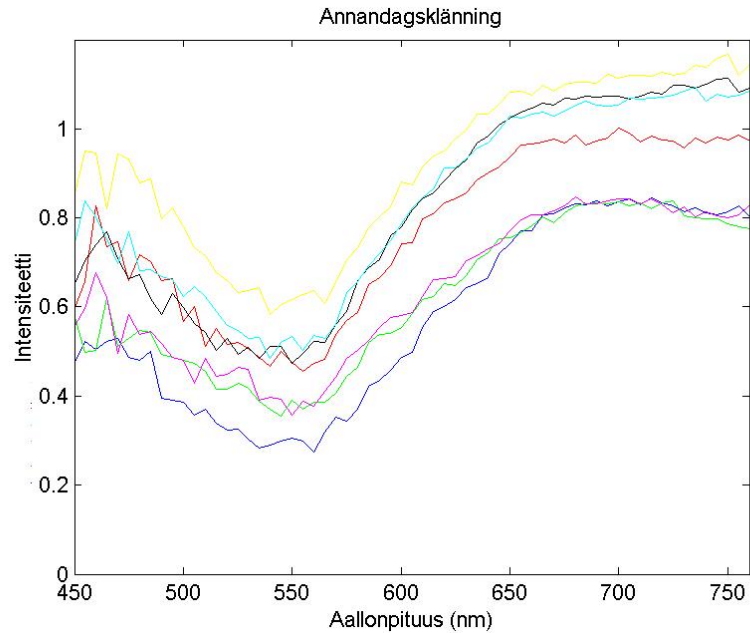
ensimmäinen	- musta kuvaaja, Oe
toinen	- syaani kuvaaja, Of
kolmas	- keltainen kuvaaja, Og



Kuva 6: Vihreiden pisteiden spektrit

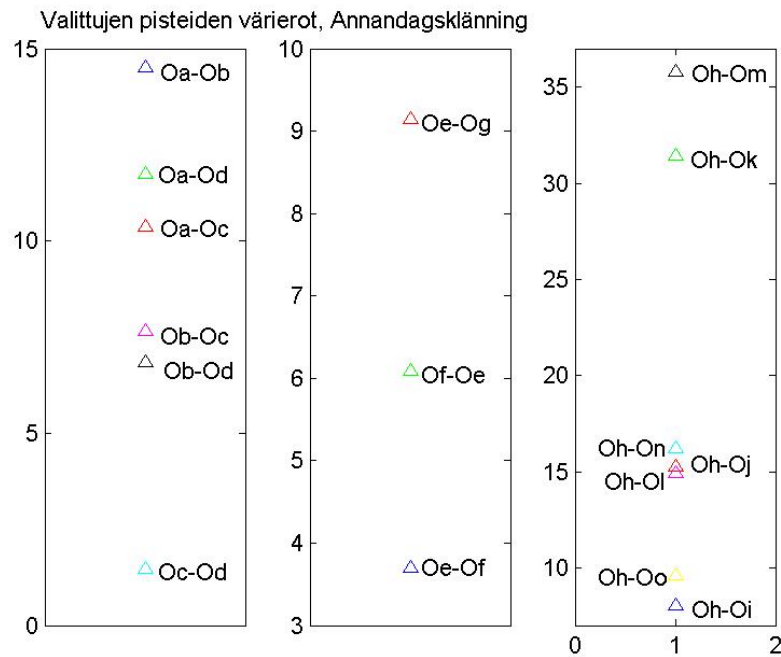
Kaikkien vihreiden pisteiden (kuva 5) spektrien kuvaajat (kuva 6) noudattavat suurin piirtein samaa muotoa. Kaksi ylintä kuvaajaa ovat muita kuvaajia selvästi kirkkaampia ja kirkkaus on nähtävissä mittauskohteesta otetussa kuvassa (kuva 5).

Kolme alinta kuvaajaa esittävät tummimpien pisteiden kuvaajia ja keskimmäiset kolme kuvaajaa keskiväristen violettien kuvaajia. Lyhyillä aallonpituuksilla spektreissä on havaittavissa kohinaa.



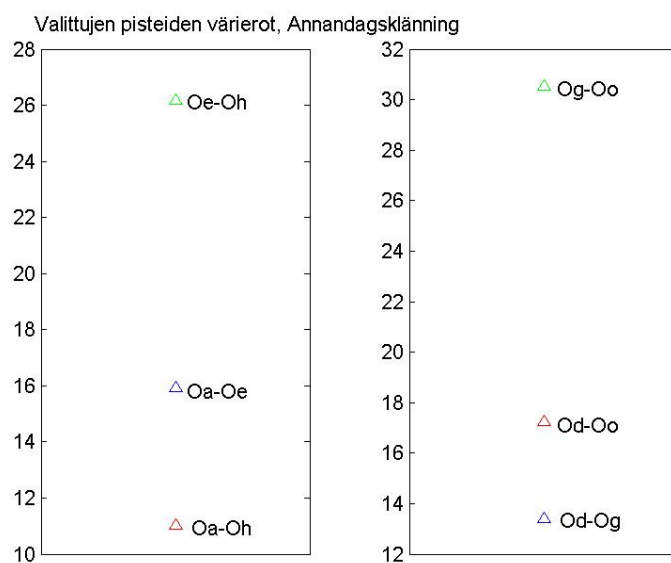
Kuva 7: Punaisten ja syaanien pisteiden spektrit

Kaikkien punaisten ja syaanien pisteiden (kuva 5) spektrien kuvaajat (kuva 7) noudattavat suurin piirtein samaa muotoa. Vasemmalta toisen punaisen pisteen kuvaaja (punainen) on lähempänä turkoosien pisteiden kuvaajia, joiden intensiteetti on selvästi suurempi kuin muiden punaisten pisteiden osoittamien kuvaajien intensiteetit. Kirkkausero on silmin havaittavissa (kuva 5). Lyhyillä aallonpituuksilla spektreissä on havaittavissa kohinaa.



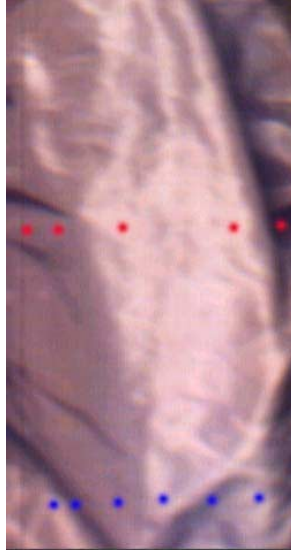
Kuva 8: Valittujen pisteiden värierot ΔE

Valittujen pisteiden värieroja (kuva 8) vertailemalla havaitaan, että kaikkien vertailupisteiden väliset erot ovat silmin havaittavia. Pienin värierot, 1.4602, on pisteiden Oc ja Od välillä. Suurin värierot, 35.7839, on pisteiden Oh ja Om välillä. Turkoosien pisteiden osoittamien mittauspisteiden spektrien väliset erot ovat keskimäärin pienimmät, kaikki värierot ovat alle 10.



Kuva 9: Valittujen pisteiden värierot ΔE

Vertailemalla ensimmäisten ja viimeisten vihreiden, punaisten ja turkoosien pisteiden spektrejä toisiinsa havaitaan, että niiden väliset värierot (kuva 9) ovat huomattavat ja selvästi nähtävissä. Ensimmäisten pisteiden spektrien pienin värierot, 11.0335, on pisteiden Oa ja Oh välillä ja suurin värierot, 26.1734, pisteiden Oe ja Oh välillä. Viimeisten pisteiden spektrien välinen pienin värierot, 13.3939, on pisteiden Od ja Og välillä ja suurin värierot, 30.5395, pisteiden Og ja Oo välillä.



Kuva 10: Oikean puoleisesta mittauskohteesta valitut pisteet

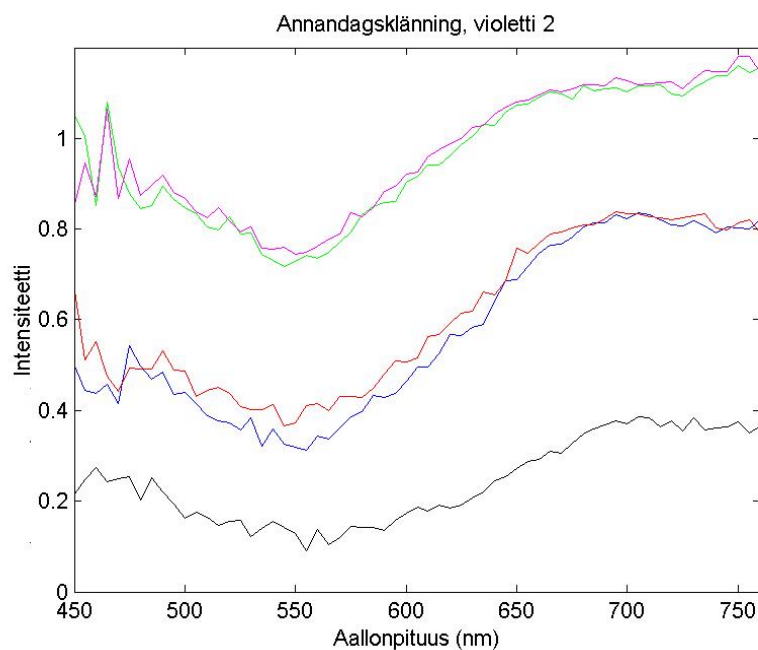
Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

Punaiset pisteet vasemmalta:

ensimmäinen	- sininen kuvaaja, Pg
toinen	- punainen kuvaaja, Ph
kolmas	- vihreä kuvaaja, Pi
neljäs	- magenta kuvaaja, Pj
viides	- musta kuvaaja, Pk

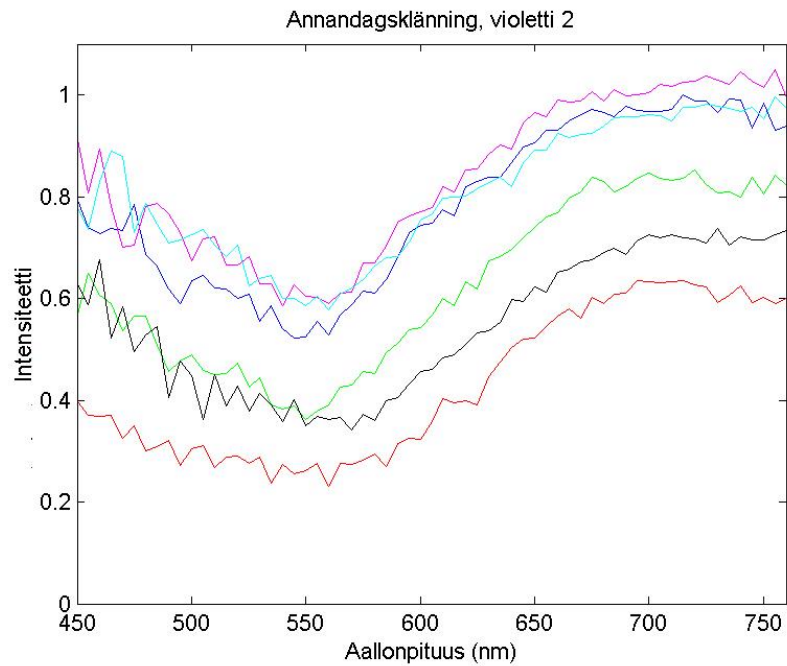
Siniset pisteet vasemmalta:

ensimmäinen	- sininen kuvaaja, Pa
toinen	- punainen kuvaaja, Pb
kolmas	- vihreä kuvaaja, Pc
neljäs	- magenta kuvaaja, Pd
viides	- musta kuvaaja, Pe
kuudes	- syaani kuvaaja, Pf



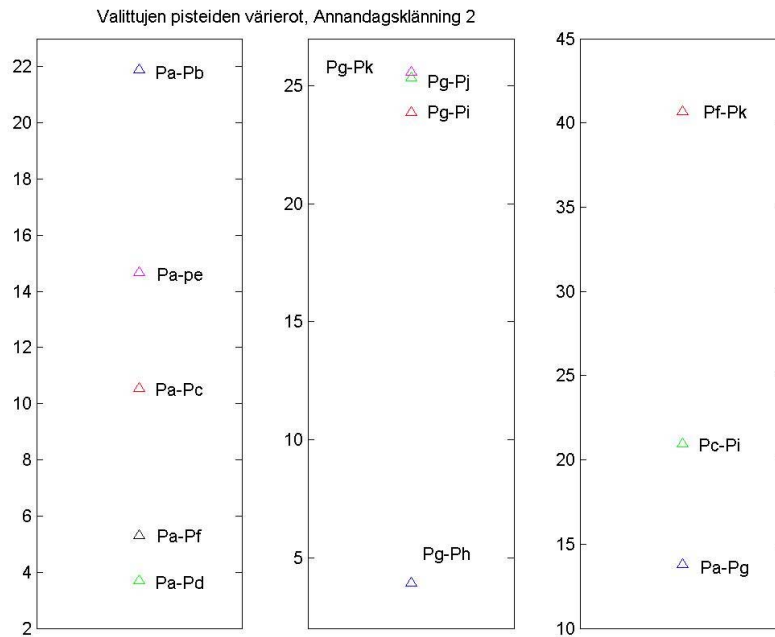
Kuva 11: Punaisten pisteiden spektrit

Kaikkien punaisten pisteiden (kuva 10) spektrien kuvaajat (kuva 11) noudattavat suurin piirtein samaa muotoa. Oikean puoleisimman pisteen kuvaajan (musta) intensiteetti on pienin ja kuvassa pisteen kohta näyttää tummalta. Kahden vasemmanpuoleisimman pisteen kuvaajat ovat lähes identtiset. Vihreä ja magenta kuvaaja ovat intensiteetiltään suurimmat ja tämä näkyy selvästi myös kuvassa. Lyhyillä aallonpituuksilla on spektreissä havaittavissa kohinaa.



Kuva 12: Sinisten pisteiden spektrit

Kaikkien sinisten pisteiden (kuva 10) spektrien kuvaajat (kuva 12) noudattavat suurin piirtein samaa muotoa. Vasemmalta toisen sinisen pisteen kuvaajan (punainen) intensiteetti on pienin ja kuvassa pisteen kohta näyttää tummalta. Vasemmalta neljännen sinisen pisteen kuvaajalla (magenta) on suurin intensiteetti, joka erottuu myös kuvassa. Lyhyillä aallonpituuksilla spektreissä on havaittavissa kohinaa.



Kuva 13: Valittujen pisteiden värierot ΔE

Vertailemalla sinisten pisteiden kuvaajien välisiä värieroja (kuva 13) havaitaan, että ne ovat silmin nähtäviä. Suurin väriero, 21.9080, on pisteiden Pa ja Pb välillä, jotka ovat vierekkäiset mittauspisteet. Pienin väriero, 3.7164, on pisteiden Pa ja Pd välillä. Punaisten pisteiden osoittamien kuvaajien suurin väriero, 25.5750, on pisteiden Pg ja Pk välillä ja pienin väriero, 3.9296, pisteiden Pg ja Ph välillä. Vertailemalla ensimmäisiä, viimeisiä ja keskimäisiä sinisten ja punaisten pisteiden kuvaajia voidaan todeta, että värierot ovat selvät. Suurin väriero, 40.6620, on pisteiden Pf ja Pk välillä ja pienin, 13.8033, pisteiden Pa ja Pg välillä.

4.1.2 Silkkikengät

Silkkikengät (P-K Ah 125) kuuluvat samaan kokonaisuuteen edellä käsitellyn silk-
kileningin kanssa (kuva 14). Kengät ja leninki ovat olleet samanväriset. Kengissä
olevissa ruseteissa väri oli säilynyt tummempana ja antoivat mahdollisuuden ver-
tailla värejä useista eri kohdista (kuva 15).



Kuva 14. Silkkikengät



Kuva 15: Valitut pisteet

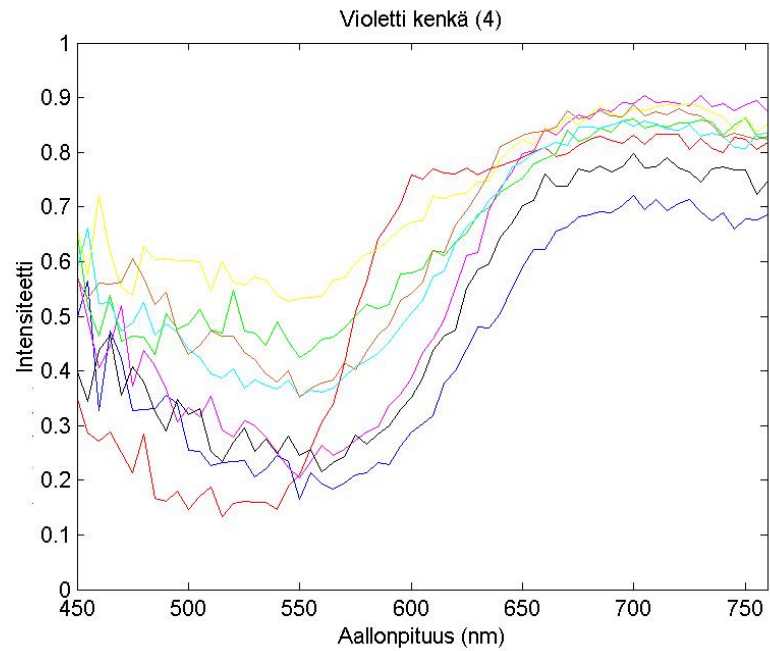
Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

Vasemmanpuoleinen kenkä

- Punainen piste: - musta kuvaaja, Xe
- Keltainen piste: - syaani kuvaaja, Xf
- Magenta piste: - oranssi kuvaaja, Xh
- Valkoinen piste: - keltainen kuvaaja, Xg

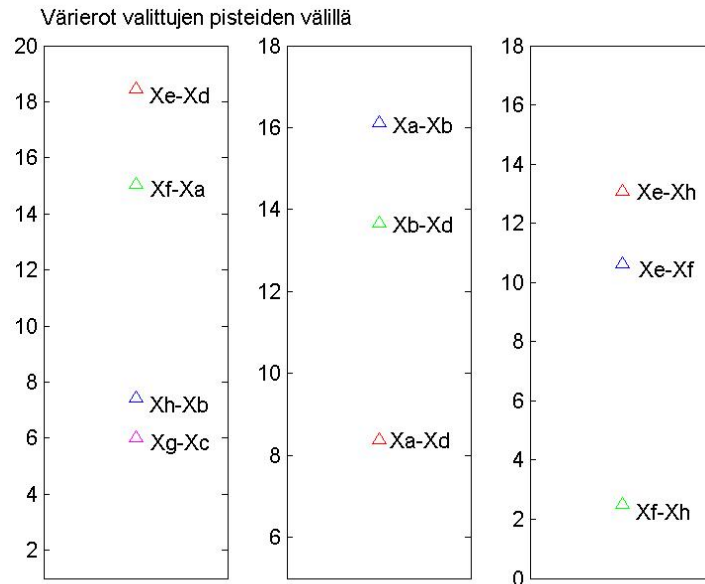
Oikeanpuoleinen kenkä

- Syaani piste: - magenta kuvaaja, Xd
- Sininen piste: - sininen kuvaaja, Xa
- Vihreä piste: - punainen kuvaaja, Xb
- Musta piste: - vihreä kuvaaja, Xc



Kuva 16: Valittujen pisteiden spektrit

Kuvaajien muodot (kuva 16) ovat toistensa kaltaiset lukuun ottamatta punaista kuvaaja, joka nousee jyrkimmin punaista väriä kohti. Kenkien kärkiosista valittujen mittauspisteiden Xc ja Xg kuvaajat (vihreä ja keltainen) eroavat toisistaan sinisen osalla, mutta lähestyvät toisiaan punaisen alueella. Rusettien mittauspisteistä vasemman kengän pisteiden Xf ja Xh kuvaajat ovat lähinnä toisiaan (syaani ja oranssi kuvaaja).



Kuva 17: Valittujen pisteiden värierot ΔE

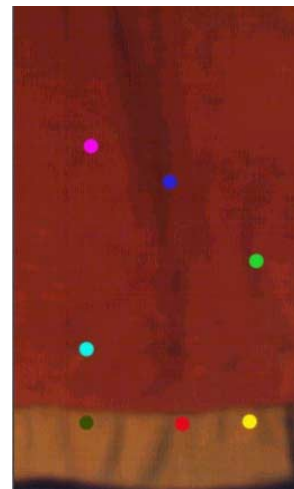
Mittauspisteiden välisiä värieroja (kuva 17) vertailin kummankin kengän kohdalla erikseen rusetin alueella sekä lisäksi pareittain vertaamalla värieroja rusettien sekä kengän kärkien kohdalta. Vasemmanpuoleisen kengän rusetin alueella pienin värierio, 2.5151, on pisteiden Xf ja Xh välillä ja suurin värierio, 13.0642, pisteiden Xe ja Xh välillä. Oikeanpuoleisen kengän rusetin alueella pienin värierio, 8.3852, on pisteiden Xa ja Xd välillä ja suurin värierio, 16.1161, pisteiden Xa ja Xb välillä. Kengän kärkien välinen värierio on 6.0313. Yhteenvetona voidaan todeta, että värierot kaikkien mittauspisteiden kesken olivat selvästi havaittavat.

4.1.3. Punainen hame

Punaisessa villahameessa (L-K 1326:3) ei ollut selvästi nähtävissä olevia värieroja (kuva 18). Hameen alareunaa koristaa keltainen kaista. Valitsin sekä reunan keltaisesta osasta että hameen punaisesta osasta vertailupisteet sattumanvaraisesti (kuva 19) ja piirsin niiden spektrien kuvaajat (kuva 20).



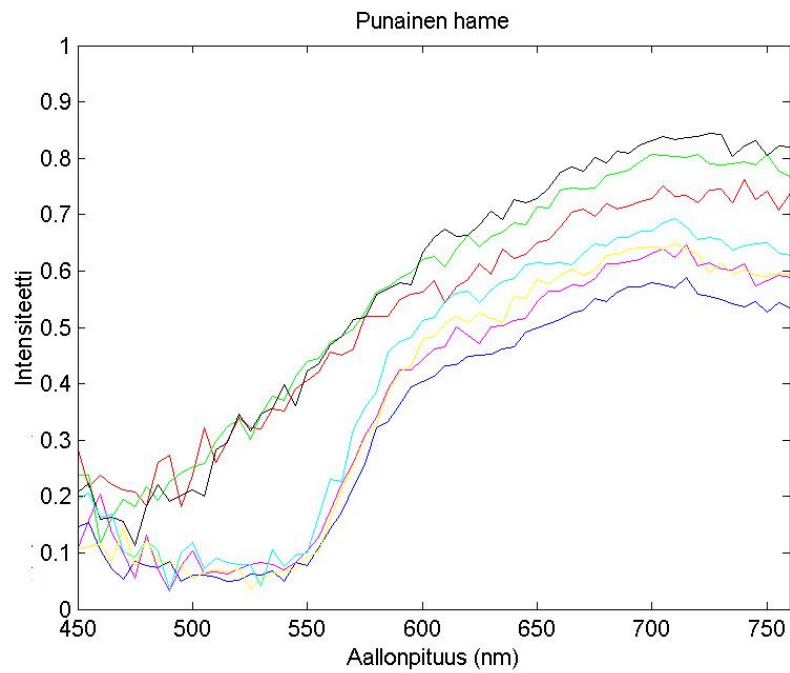
Kuva 18: Punainen villahame



Kuva 19: Valitut pisteet

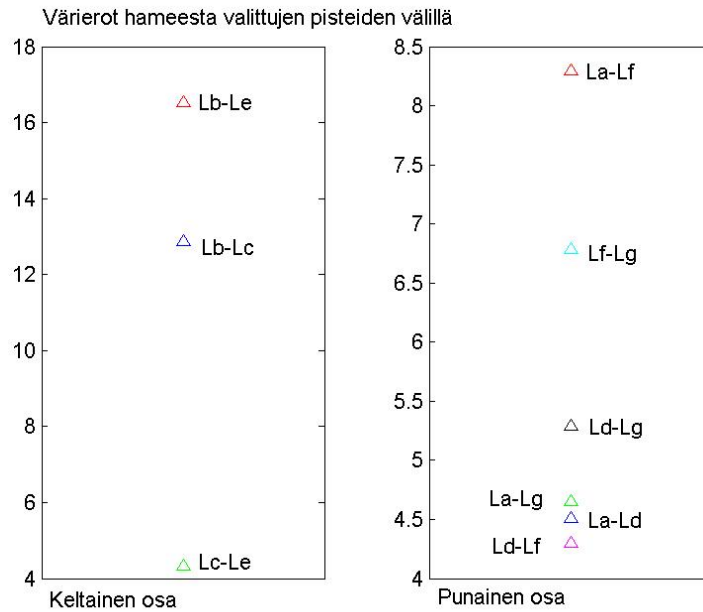
Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

Sininen piste	- sininen kuvaaja, La
Punainen piste	- punainen kuvaaja, Lb
Keltainen piste	- vihreä kuvaaja, Lc
Vihreä piste	- magenta kuvaaja, Ld
Tumman vihreä piste	- musta kuvaaja, Le
Syaani piste	- cyaani kuvaaja, Lf
Magenta piste	- syaani kuvaaja, Lg



Kuva 20: Valittujen pisteiden spektrit

Keltaisen reunan alueelta valittujen pisteiden spektrit noudattavat samaa muotoa. Samoin punaiselta alueelta valittujen pisteiden spektrit ovat muodoltaan samanlaisia. Molempien värien alueilla erot kuvaajien välillä kasvavat punaisessa päässä. Spektreissä on havaittavissa kohinaa.



Kuva 21: Valittujen pisteiden väliset värierot ΔE

Mittauspisteiden välisiä värieroja (kuva 21) vertailin erikseen keltaisella ja punaisella alueella. Keltaisen osan pienin väriero, 4.3370, on pisteiden Lc ja Le välillä ja suurin väriero, 16.5369, pisteiden Lb ja Le välillä. Punaisen osan pienin väriero, 4.2957, on pisteiden Ld ja Lf välillä ja suurin väriero, 8.2973, pisteiden La ja Lf välillä. Yhteenvedona voidaan todeta, että värierot kaikkien mittauspisteiden kesken olivat selvästi havaittavat.

4.1.4. Miesten liivi

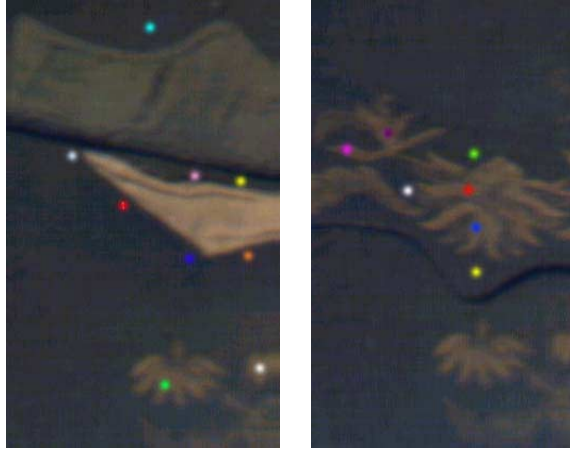
Miesten liivistä (P-K Ah 1)on säilynyt ainoastaan koristeelliset etuosat (kuva 22). Liivin pohjaväri on vihreä ja siinä on keltaisia koristeita. Liivissä on valetaskut, joissa on läpät. Lämpän alla oli alkuperäinen väri säilynyt tummempana. Vasemman puoleinen liivin etuosa kuvattiin siten, että läppä oli ylhäällä ja alhaalla (kuva 23). Oikean puoleinen liivin etuosa kuvattiin vain läpän ollessa ylhäällä (kuva 26).

Valitsin vertailupisteiksi sekä tummempia että vaaleampia kohtia. Piirsin valittujen pisteiden spektrit (kuvat 24, 25 ja 27) sekä laskin pisteiden välisiä värieroja (kuvat 28 ja 29).



Kuva 22: Miesten liivin etuosat

Vasemman puoleisen liivin valitut mittauspisteet:



Kuva 23: Liivin läppä ylhäällä ja alhaalla

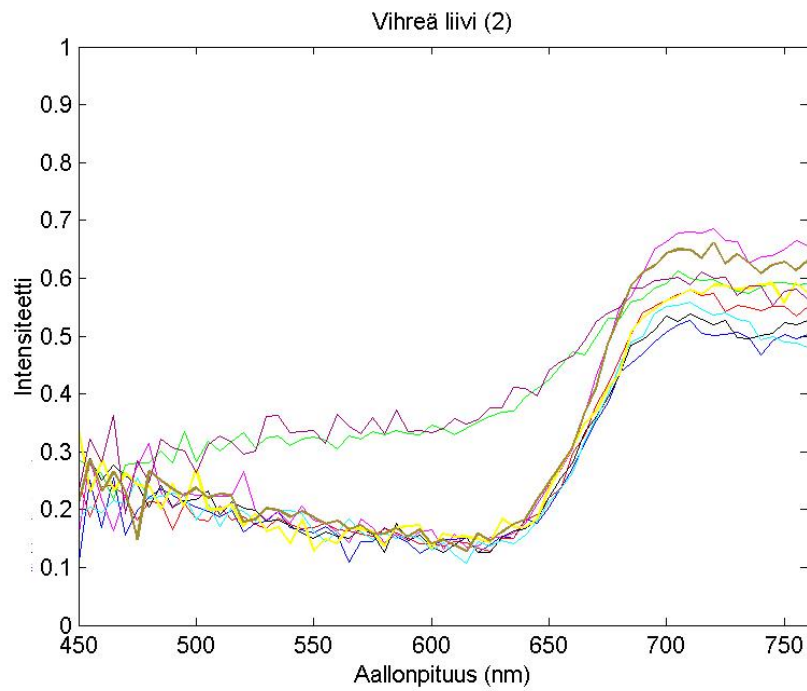
Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

Vasemmanpuoleinen kuva, läppä ylhäällä

Punainen piste:	- sininen kuvaaja, Ja
Syaani piste:	- punainen kuvaaja, Jb
Vihreä piste:	- vihreä kuvaaja, Jc
Lila piste:	- magenta kuvaaja, Jd
Sininen piste:	- musta kuvaaja, Je
Keltainen piste:	- syaani kuvaaja, Jf
Oranssi piste:	- keltainen kuvaaja, Jg
Valkoinen piste:	- vaalean ruskea kuvaaja, Jh
Vaalean sininen piste:	- harmaa kuvaaja, Ji

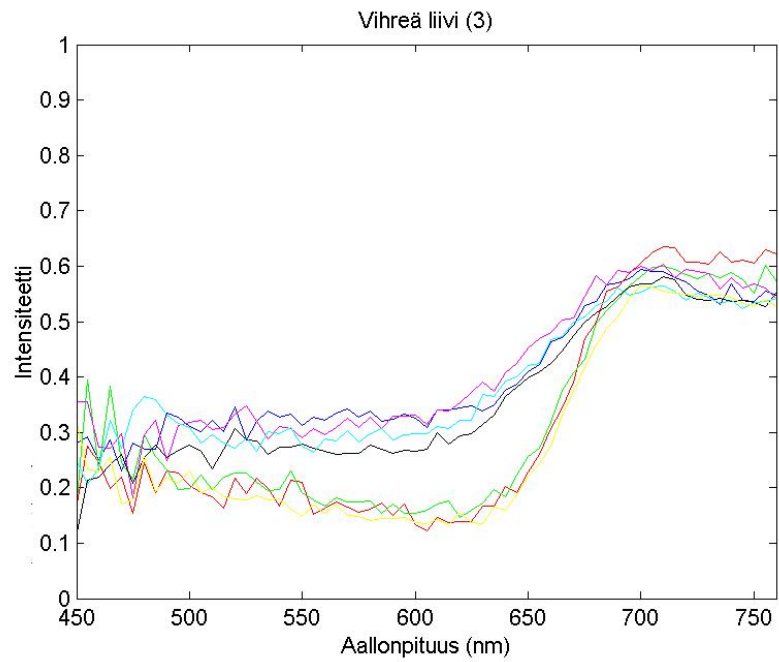
Oikeanpuoleinen kuva, läppä alhaalla

Punainen piste:	- sininen kuvaaja, Ka
Vihreä piste:	- punainen kuvaaja, Kb
Keltainen piste:	- vihreä kuvaaja, Kc
Sininen piste:	- magenta kuvaaja, Kd
Magenta piste:	- musta kuvaaja, Ke
Tumma violetti piste:	- syaani kuvaaja, Kf
Valkoinen piste:	- keltainen kuvaaja, Kg



Kuva 24: Pisteiden spektrit, läppä ylhäällä

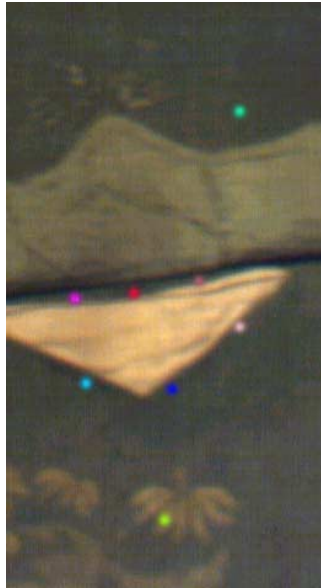
Vihreiden alueiden mittauspisteiden spektrien kuvaajat noudattavat samaa muotoa. Suurimmat vaihtelut ovat punaisessa päässä intensiteetin suhteen. Keltaisten kuvioiden pisteiden spektrit ovat lähellä toisiaan. Erityisesti lyhyillä aallonpituuksilla on spektreissä havaittavissa kohinaa.



Kuva 25: Pisteiden spektrit, läppä alhaalla

Keltaisten kuvioiden mittauspisteiden spektrit ovat saman muotoisia, poiketen toisistaan intensiteetin suhteen. Vihreiden alueiden pisteiden spektrit ovat myös keskenään saman muotoisia. Verrattaessa liivin mittauspisteiden kuvaajia läppä ylhäällä ja läppä alhaalla olevista kohteista havaitaan, että keltaisten kuvioiden mittauspisteiden spektrit ovat keskenään saman muotoisia ja vihreiden alueiden mittauspisteiden samoin. Vihreiden alueiden mittauspisteiden spektrien kuvaajat noudattavat samaa muotoa ja erottuvat intensiteetin suhteen punaisessa päässä. Erityisesti lyhyillä aallonpituuksilla on spektreissä havaittavissa kohinaa.

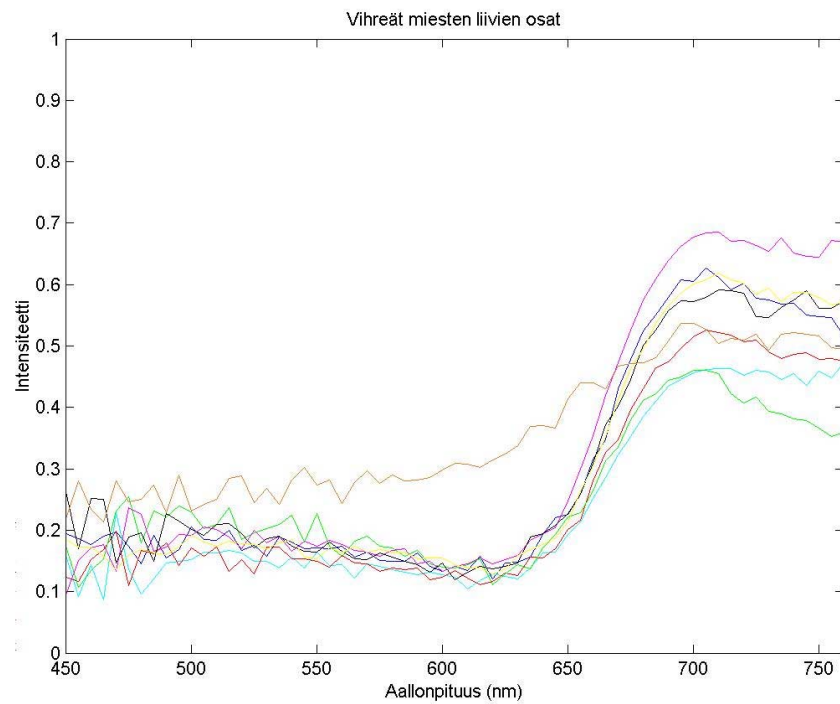
Liivin oikean puoleisen osan mittauspisteet:



Kuva 26: Valitut pisteet

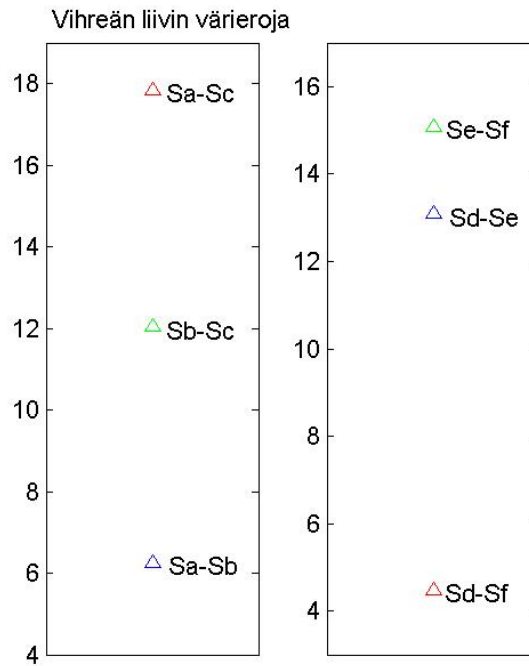
Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

Magenta piste:	- sininen kuvaaja, Sa
Punainen piste:	- punainen kuvaaja, Sb
Vaalean lila piste:	- vihreä kuvaaja, Sc
Vaalean punainen piste:	- magenta kuvaaja, Sd
Sininen piste:	- musta kuvaaja, Se
Vaalean sininen piste:	- syaani kuvaaja, Sf
Syaani piste:	- keltainen kuvaaja, Sg
Vihreä piste:	- vaalean ruskea kuvaaja, Sh



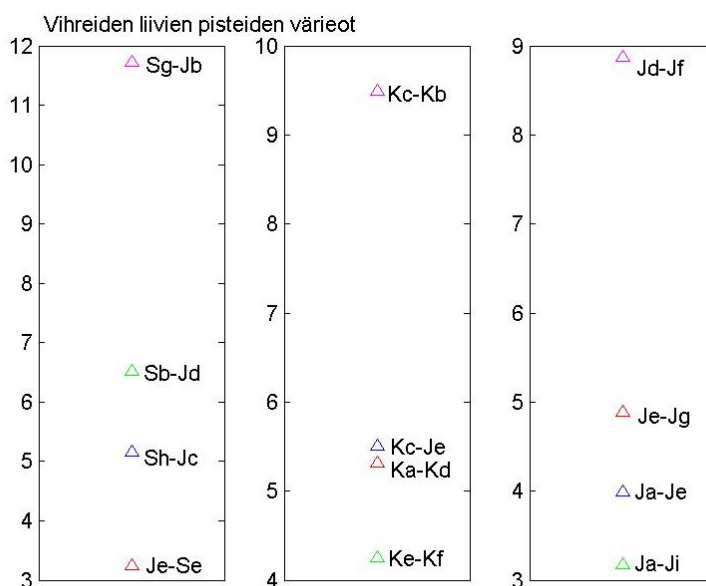
Kuva 27: Pisteiden spektrit

Vihreältä alueelta valittujen mittauspisteiden spektrit noudattavat samaa muotoa. Eroavaisuudet ovat intensiteetin suhteen punaisessa päässä. Keltaisen kuvion kuvaaja noudattelee samaa muotoa vasemman puoleisen osan keltaisten kuvioiden kuvaajien kanssa. Lyhyillä aallonpituuksilla on havaittavissa kohinaa.



Kuva 28: Oikeanpuoleisen liivin valittujen pisteiden värierot ΔE

Pienin väriero läpän sauman alapuolella, 6.2438 , on pisteiden Sa ja Sb välillä ja suurin väriero, 17.8342 on pisteiden Sa ja Sc välillä. Vaalean osan alareunan pisteiden välinen pienin väriero, 4.4672, on pisteiden Sd ja Sf välillä ja suurin väriero, 15.0883, pisteiden Se ja Sf välillä.



Kuva 29: Värierot ΔE vihreistä liiveistä valittujen pisteiden välillä

Läppä auki olevien vihreiden liivien välinen pienin väriero, 3.2501, on pisteiden Je ja Se välillä ja suurin väriero, 11.7214, pisteiden Sg ja Jb välillä.

4.2 Maalaukset

Joensuun taidemuseossa mittauskohteina oli maalaus Lukeva Madonna. Taulu oli omalla paikallaan näyttelytilassa. Valaistusta ei mittaustilanteessa pysytty säätelemään. Näyttelytilan ikkunoissa olevat puiset ristikkorakenteet tekivät kuvaustilasta hämärän. Mittauksessa valolähteenä käytettiin kohdennettua 120 W halogeenivaloa. Mittausetäisyys oli n. 1,5 m.

Joensuun evankelis-luterilaisessa kirkossa konservaattorit puhdistivat sisäkaton seinämaalauksia kesällä 2001. Mittausalueena oli kirkon keskilaivan länsipuoleinen kattoholvien alue (kuva 30). Kirkossa mittaustilan pimentäminen ei onnistu

nut. Mittaukset tehtiin luonnonvalossa. Mittausten aikana sää ulkona oli tasaisen harmaa ja sateinen. Näin ollen valaistus säilyi suhteellisen tasaisena.



kuva 30: Kirkon sisätilan mittausten alue.

Kattomaalausten mittauksissa mittausetäisyys oli noin 1 m. Valolähteenä oli 120 W halogeenilamppu. Kohteet mitattiin omilla paikoillaan eli suoraan seinästä, joka oli paikka paikoin kaareva. Mittauskohteet pyrittiin valitsemaan siten, että seinän kaarevuus oli mahdollisimman vähäinen.

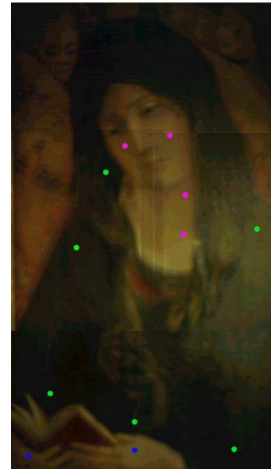
Konservaattorit puhdistivat valitut kohdat mittausten aikana. Siten sama kohta voitiin mitata puhdistusten välillä muuttamatta mittausvälineistön paikkaa. Tämä tarjosi hyvän mahdollisuuden tulosten tarkastelulle ja värierojen havaitsemiselle.

4.2.1. Lukeva Madonna

Näyttelytila, jossa maalaus Lukeva madonna (kuva 31) oli esillä, oli melko hämärä. Ikkunoiden edessä olevat tummat ristikkomaiset rakenteet estivät suoran valon pääsyn huoneeseen. Teos mitattiin neljässä osassa noin A4-kokoisina osina. Mittauspisteet valitsin Madonnan kaavun, kasvojen ja käsien alueilta (kuva 32).



Kuva 31. Lukeva madonna



Kuva 32: Valitut pisteet

Valituille pisteille piirsin spektrit (kuvat 33-35) ja laskin pisteiden väliset värierot (kuvat 36 ja 37).

Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

Vihreät pisteet

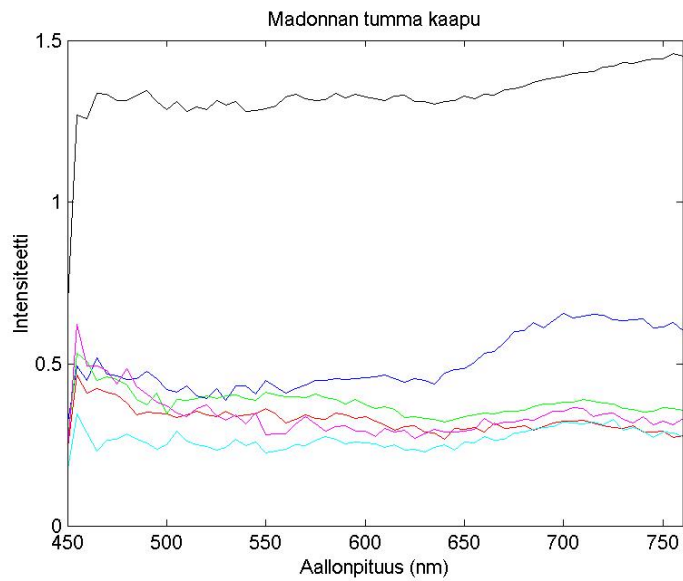
vasen, ylin	- sininen kuvaaja, ma3
vasen, keskimäinen	- punainen kuvaaja, ma1
vasen, alin	- vihreä kuvaaja, ma13
oikea, ylin	- magenta kuvaaja, ma12
oikea, alin	- musta kuvaaja, ma11
alhaalla, keskimäinen	- syaani kuvaaja, ma6

Magentat pisteet

vasen	- sininen kuvaaja, ma4
oikea, ylin	- punainen kuvaaja, ma7
oikea, keskimäinen	- vihreä kuvaaja, ma9
oikea, alin	- magenta kuvaaja, ma8

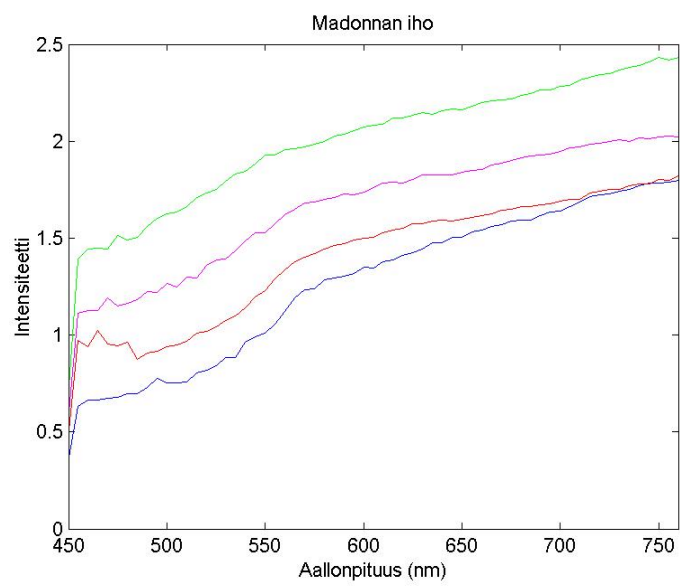
Siniset pisteet

vasen	- sininen kuvaaja, ma10
oikea	- punainen kuvaaja, ma5



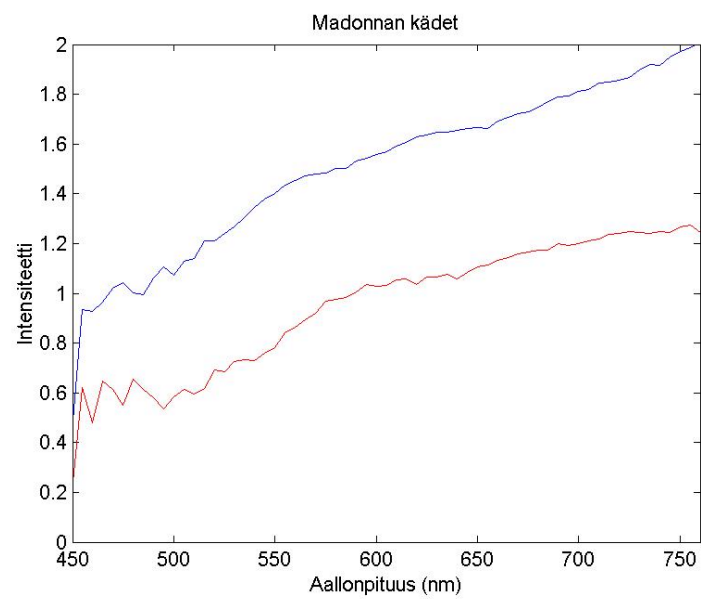
Kuva 33: Vihreitä pisteitä vastaavat spektrit

Madonna kaavun alueelta valittujen mittauspisteiden spektrien välillä on eroja (kuva 33). Eniten poikkeaa pisteen ma11 kuvaaja. Kuvaajan väri ja maalauksen väri eivät täsmää toisiaan. Hieman muista kuvaajista poikkeaa myös pisteen ma3 kuvaaja. Muut kuvaajat noudattavat pääasiassa samaa muotoa.



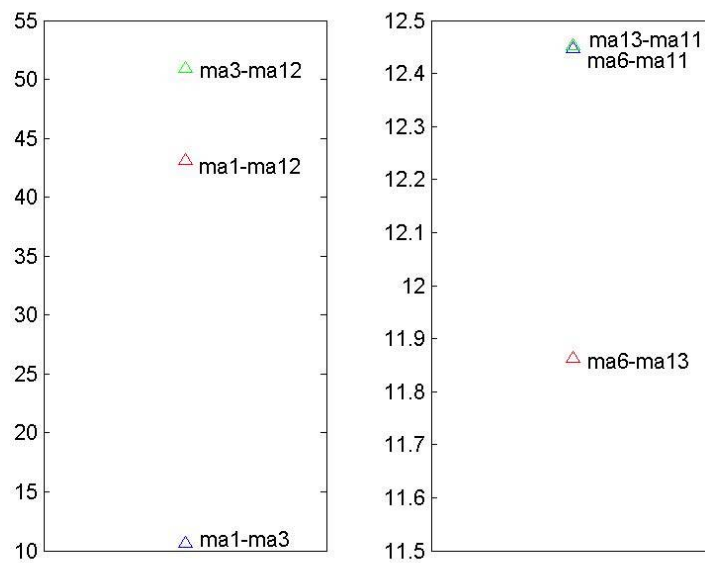
Kuva 34: Magenta pisteitä vastaavat spektrit

Madonnan kasvojen alueelta valittujen mittauspisteiden kuvaajat ovat saman muotoisia, mutta eroavat toisistaan intensiteetin suhteen (kuva 34) . Suurin intensiteetti on pisteen ma9 kuvaajalla.



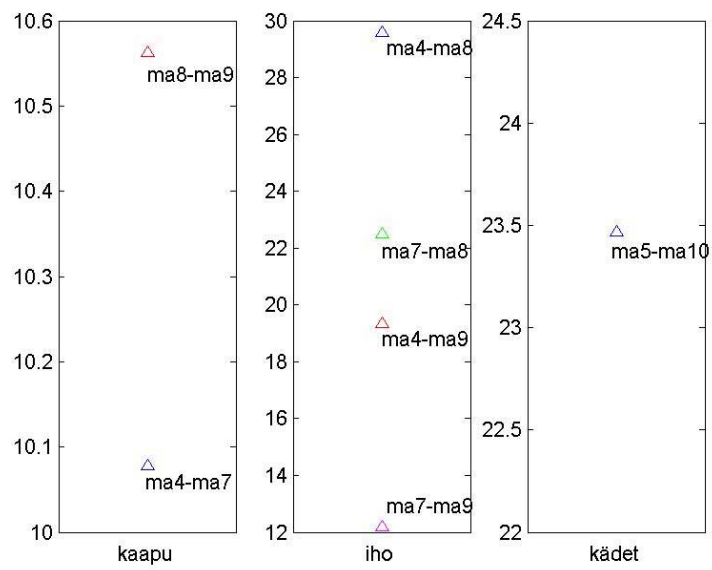
Kuva 35: Sinisten pisteiden spektrit

Madonnan käsien kohdalta valittujen mittauspisteiden kuvaajat ovat muodoltaan samanlaisia, mutta eroavat intensiteetiltään (kuva 35).



Kuva 36: Värierot ΔE vihreiden pisteiden välillä

Madonnan kaavun ylempien vihreiden pisteiden pienin väriero, 10.6573, on pisteiden ma1 ja ma3 välillä ja suurin väriero, 50.9642, pisteiden ma3 ja ma12 välillä (kuva 36). Alempien vihreiden pisteiden välinen pienin väriero, 11.8628, on pisteiden ma6 ja ma11 välillä ja suurin, 12.4526, pisteiden ma13 ja ma11 välillä. Madonna kaavun alaosan välisten pisteiden väliset värierot ovat keskenään samaa kokoluokkaa, kun taas kaavun yläosan pisteiden väliset värierot ovat huomattavat.

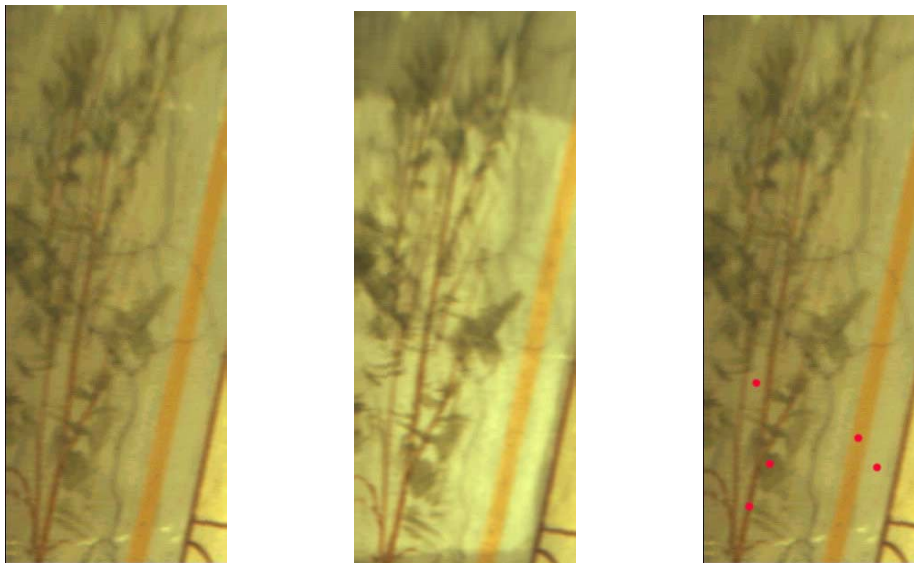


Kuva 37: Värierot ΔE magenta pisteiden ja sinisten pisteiden välillä

Madonnan kasvojen ja käsien alueiden mittauspisteiden väliset värierot ovat selkeitä (kuva 37). Pienin värierot, 10.0779, on pisteiden ma4 ja ma7 välillä. Suurin värierot, 29.5812, on pisteiden ma4 ja ma8 välillä.

4.2.2. Kirkon kattomaalaus, alue 2

Mittauskohde sijaitsi kattoholvin pohjoisseinämässä. Valituista pisteistä (kuva 38) piirrettiin kuvaajat sekä puhdistamattomasta pinnasta että puhdistetusta pinnasta (kuva 39-40).



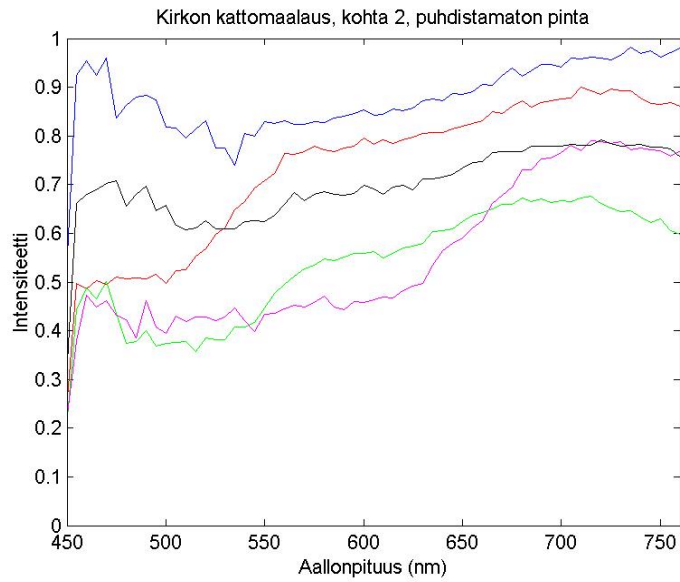
Kuva 38: Mittausalue puhdistamattomana, puhdistettuna ja valitut mittauspisteet

Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

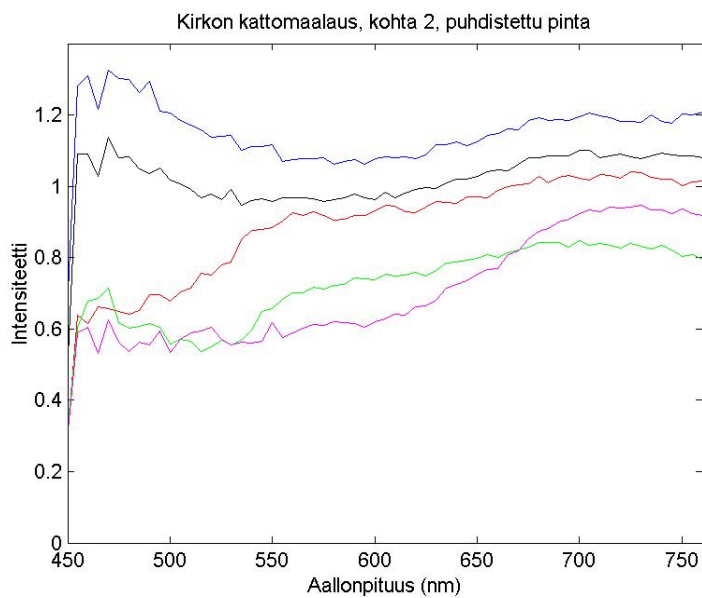
Punaiset pisteet:

- | | |
|--------------------|------------------------|
| oikea, alin | - sininen kuvaaja, Qa |
| oikea, ylempi | - punainen kuvaaja, Qb |
| vasen, alin | - vihreä kuvaaja, Qc |
| vasen, keskimäinen | - magenta kuvaaja, Qd |
| vasen, ylin | - musta kuvaaja, Qe |

Puhdistuksen jälkeen pisteiden spektreissä näkyvät selvät erot intensiteetin suhteen (kuvat 39 ja 40). Värien kirkkaus lisääntyi selvästi.

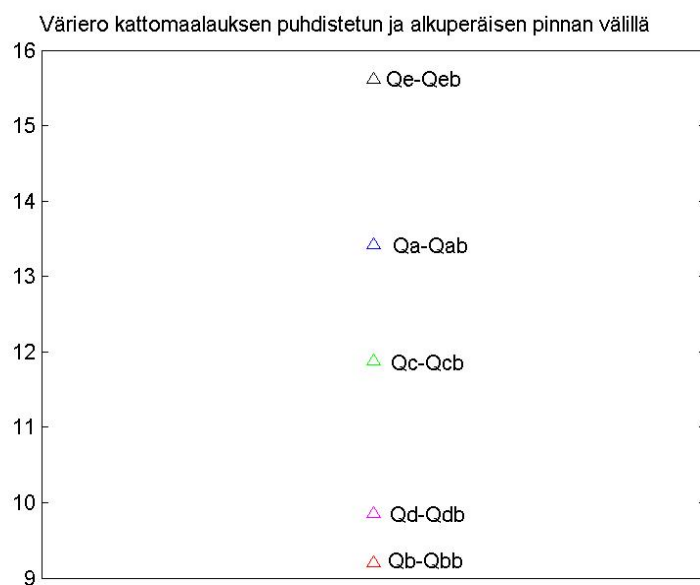


Kuva 39: Pisteiden spektrit puhdistamattomalla pinnalla



Kuva 40: Pisteiden spektrit puhdistetulla pinnalla

Värierot (kuva 41) puhdistamattoman ja puhdistetun pinnan välillä laskettiin valittujen pisteiden kohdilta.

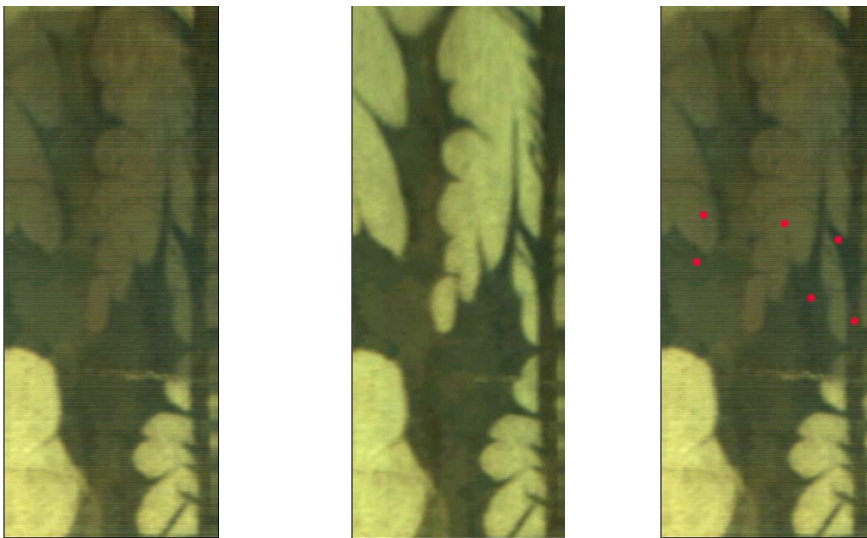


Kuva 41: Pisteiden väliset värierot ΔE

Suurin väriero, 15.6153, puhdistuksen jälkeen on pisteiden Qe ja Qeb välillä ja pienin väriero, 9.1973, pisteiden Qb ja Qbb välillä. Konservattorien tekemä puhdistus toi esiin selvän eron puhdistetun ja puhdistamattoman pinnan välillä. Kaikkien mittauspisteiden kohdalla värierot olivat selvästi havaittavia.

4.2.3. Kirkon kattomaalaus, alue 3

Mittauskohde sijaitsi kirkon kattoholvin länsiseinämässä. Kohde kuvattiin ennen puhdistusta ja puhdistuksen jälkeen. Valittujen mittauspisteiden (kuva 42) spektrien kuvaajat piirrettiin sekä puhdistamattomasta että puhdistetusta alueesta (kuvat 43-44).



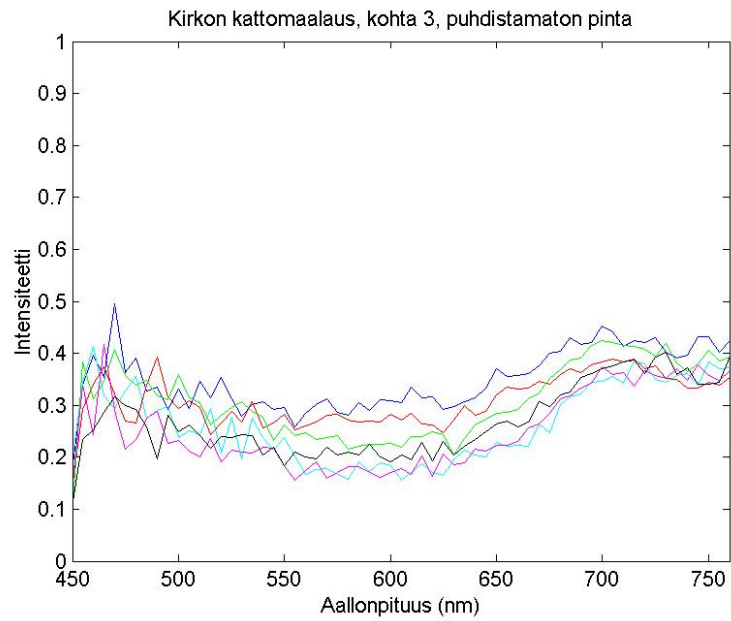
Kuva 42: Mittausalue puhdistamattomana, puhdistettuna ja mittauspisteet

Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

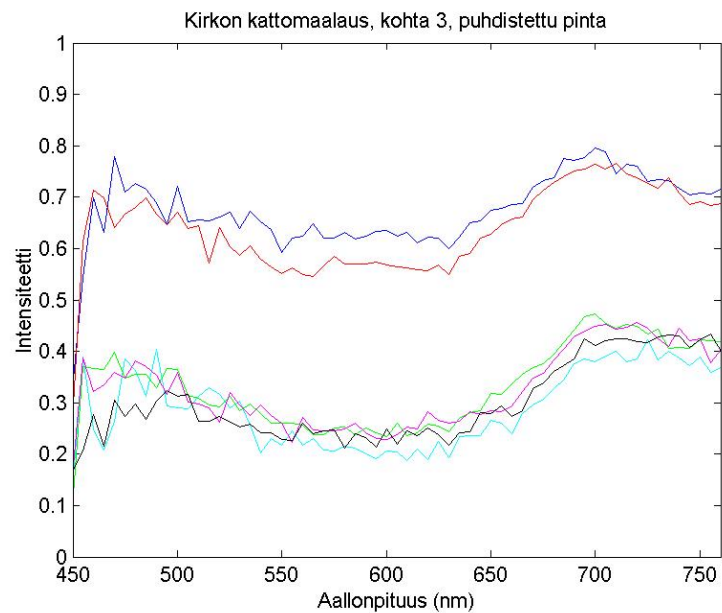
Punaiset pisteet:

ylärivi, vasen	- punainen kuvaaja, Rb
ylärivi, keskimäinen	- sininen kuvaaja, Ra
ylärivi, oikea	- syaani kuvaaja, Rf
alarivi, vasen	- vihreä kuvaaja, Rc
alarivi, keskimäinen	- magenta kuvaaja, Rd
alarivi, oikea	- musta kuvaaja, Re

Pisteiden kuvaajissa näkyy intensiteetin lisääntyminen parhaiten taustasta valittujen mittauspisteiden Ra ja Rb kohdalla.

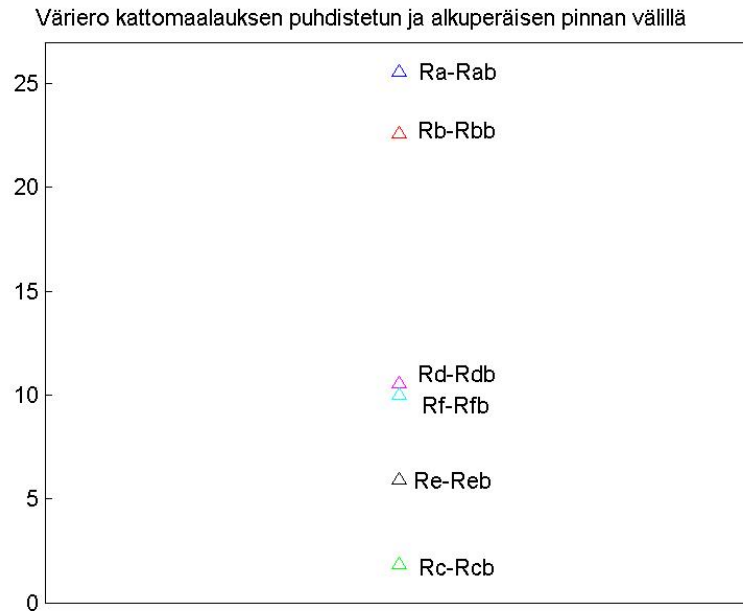


Kuva 43: Pisteiden spektrit puhdistamattomalla pinnalla



Kuva 44: Pisteiden spektrit puhdistetulla pinnalla

Värierot laskettiin valittujen pisteiden kohdilta (kuva 45).



Kuva 45: Pisteiden väliset värierot ΔE

Suurin väriero, 25.5849, on pisteiden Ra ja Rab välillä ennen ja jälkeen puhdistuksen. Pienin väriero, 1.8455, on pisteiden Rc ja Rcb välillä. Väriero on pieni, mutta kuitenkin silmin erotettavissa.

4.3. Tapettinäytteet

Tutkimustani varten sain yksityishenkilön kokoelmista lainaksi tapettinäytteitä. Tapetit olivat säilyneet rakennuksen kuistin lattian alla, josta ne löydettiin kuistin kunnostustöiden yhteydessä. Tapettien joukossa oli samaa kuosia olevaa tapettia viisi näytettä. Ne muodostivat hyvän sarjan vertailuaineistoksi. Lisäksi osassa näytteitä oli selvästi havaittavissa värieroja, jotka johtuivat siitä, että osa tapetista oli ollut suojaissa listan, reunanauhan tai tapetin sauman alla.

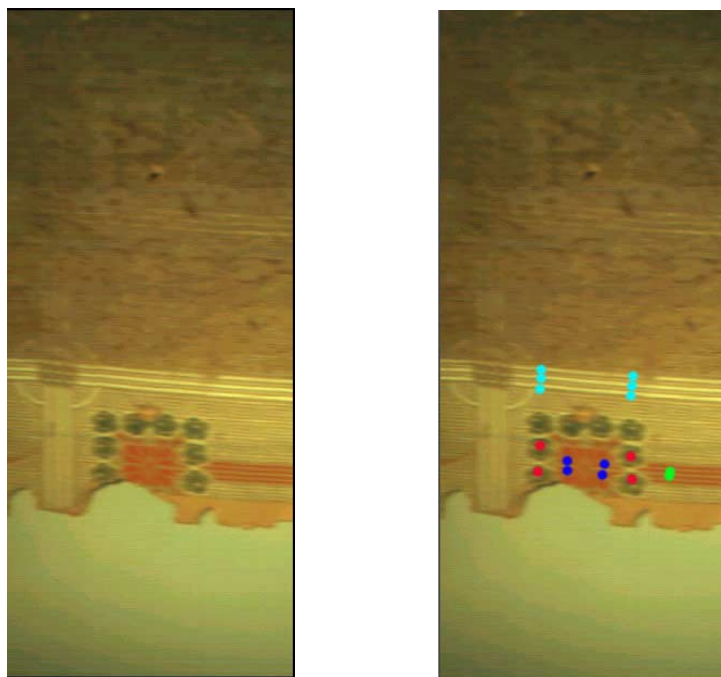


Kuva 46: Mittaustilanne värilaboratorion valokaapissa

Tapetit mitattiin Joensuun yliopiston värilaboratorion valokaapissa (kuva 46).
Mittauskulma oli 45° ja mittausetäisyys noin metri.

4.2.1. Tapettinäyte 1:1, jugend-aiheinen tapetti

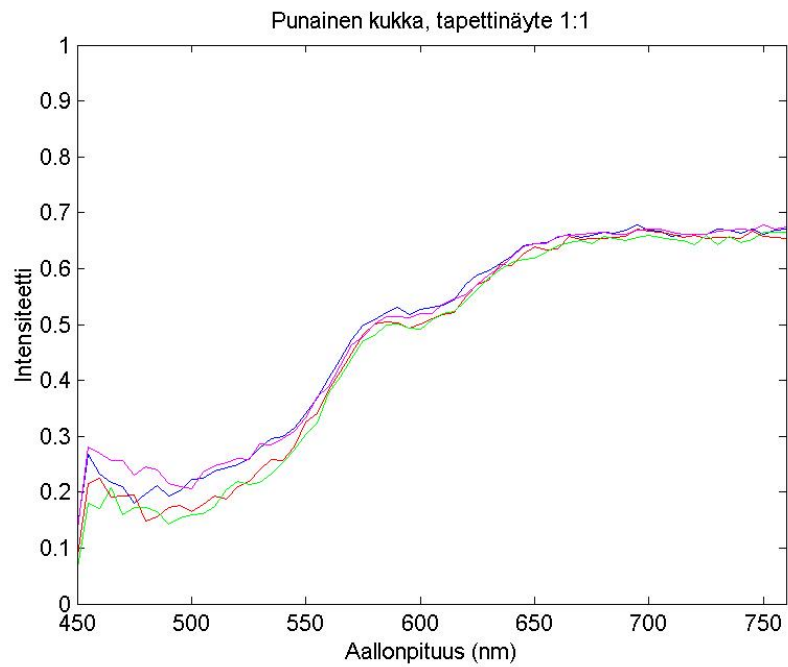
Näytteestä valitsin mittauspisteet siten, että ne ovat vertailtavissa muihin, samaa kuosia oleviin näytteisiin (kuva 47). Valituista pisteistä piirsin spektrien kuvaajat (kuva 48-51) sekä laskin $L^*a^*b^*$ arvot.



Kuva 47: Tapettinäyte 1:1 ja valitut mittauspisteet

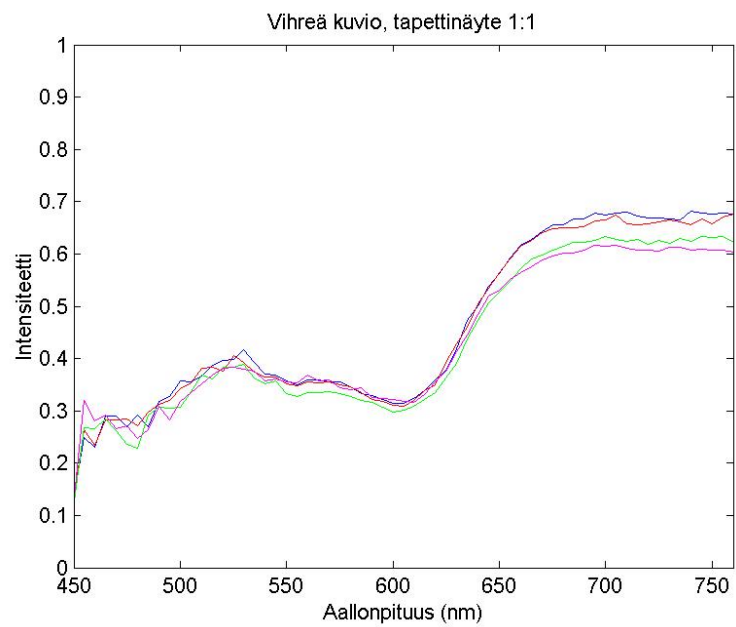
Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

Siniset pisteet:	vasen, ylin – punainen kuvaaja, Ab
	vasen, alin – vihreä kuvaaja, Ac
	oikea, ylin – sininen kuvaaja, Aa
	oikea, alin – magenta kuvaaja, Ad
Punaiset pisteet:	oikea, ylin – sininen kuvaaja, Ae
	oikea, alin – punainen kuvaaja, Af
	vasen ylin, vihreä kuvaaja, Ag
	vasen, alin – magenta kuvaaja, Ah
Turkoosit pisteet	oikea, alin – sininen kuvaaja, Ai
	oikea, keskimäinen – punainen kuvaaja, Aj
	oikea, ylin – vihreä kuvaaja, Ak
	vasen, alin – magenta kuvaaja, Al
	vasen, keskimäinen – musta kuvaaja, Am
Vihreät pisteet	vasen, ylin – syaani kuvaaja, An
	alin – sininen kuvaaja, Ao
	ylin – punainen kuvaaja, Ap



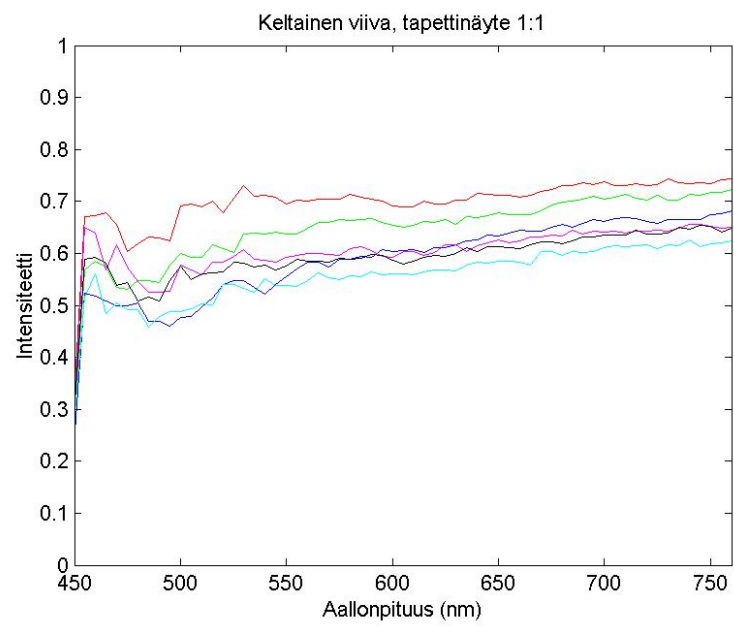
Kuva 48:Punaisten kukkalehtien (siniset pisteet) spektrit

Punaisten kukkien kohdalta valittujen pisteiden kuvaajat ovat keskenään samanmuotoisia. Lyhyiden aallon pituuksien kohdalla on hieman eroja intensiteetin suhteen.



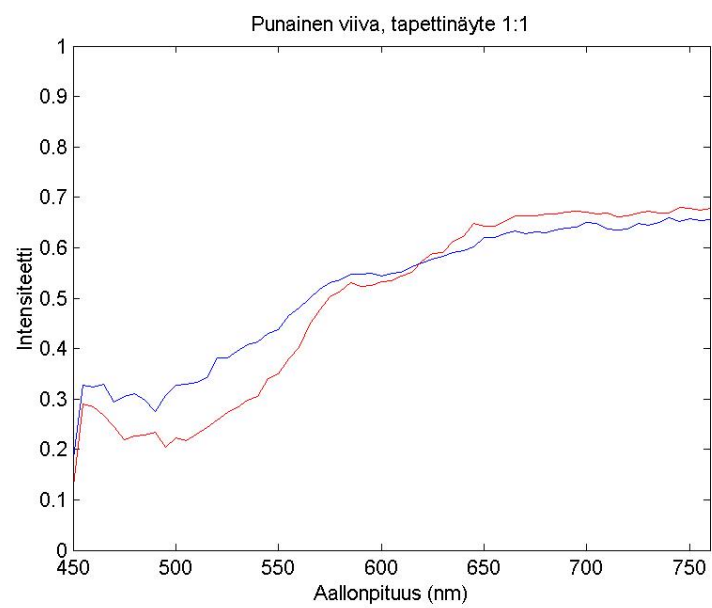
Kuva 49: Vihreiden kuvioiden (punaiset pisteet) spektrit

Vihreiden kuvioiden kohdilta valittujen mittauspisteiden kuvaajat ovat saman muotoisia. Pieniä eroja on punaisessa päässä.



Kuva 50: Keltaisten viivojen (turkoosit pisteet) spektrit

Keltaisten viivojen kohdilta valittujen mittauspisteiden kuvaajat ovat saman muotoisia, mutta ne eroavat toisistaan intensiteetin suhteen.

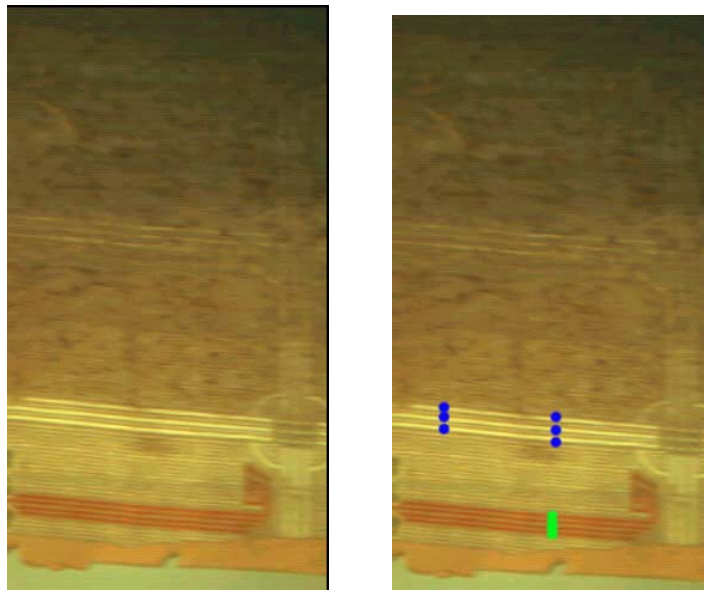


Kuva 51: Punaisten viivojen (vihreät pisteet) kuvaajat

Punaisten viivojen kohdilta valittujen mittauspisteiden kuvaajat eroavat hieman toisistaan intensiteetin suhteen.

4.2.2. Tapettinäyte 1:2, jugend-aiheinen tapetti

Näyte kuuluu jugend-aiheisten tapettien kokonaisuuteen ja siinä on jäljellä osa kuviosta. Valituista pisteistä (kuva 52) piirsin kuvaajat (kuvat 53- 54) ja laskin niiden $L^*a^*b^*$ -arvot.



Kuva 52: Valitut mittauspisteet

Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

Vihreät pisteet:

alin – sininen kuvaaja, Ba

toiseksi alin – punainen kuvaaja, Bb

toiseksi, ylin – vihreä kuvaaja, Bc

ylin – magenta kuvaaja, Bd

Siniset pisteet:

oikea, alin – sininen kuvaaja, Be

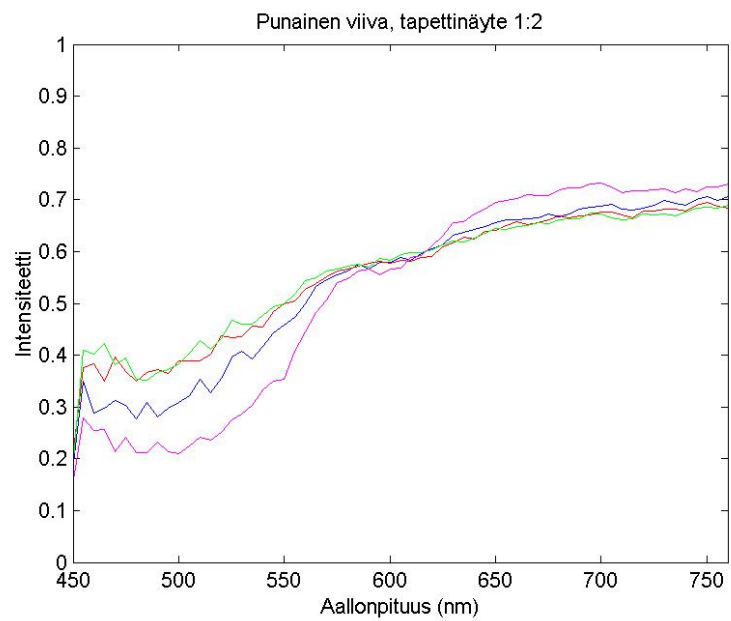
oikea, keskimäinen – punainen kuvaaja, Bf

oikea, ylin – vihreä kuvaaja, Bg

vasen, alin – magenta kuvaaja, Bh

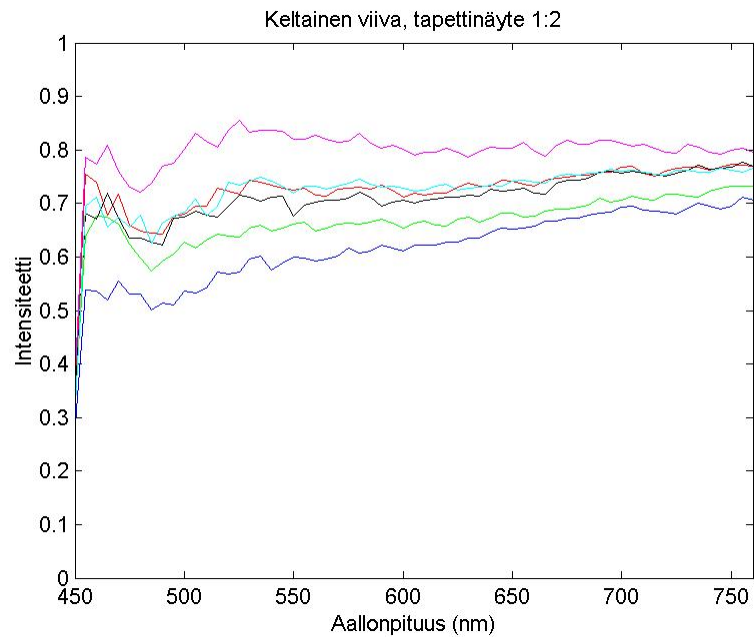
vasen, keskimäinen – musta kuvaaja, Bi

vasen, ylin – syaani kuvaaja, Bj



Kuva 53: Punaisten viivojen (vihreät pisteet) spektrit

Punaisten viivojen kohdilta valittujen mittauspisteiden kuvaajat eroavat hieman toisistaan intensiteetin suhteen lyhyiden aallonpituuksien kohdalla.

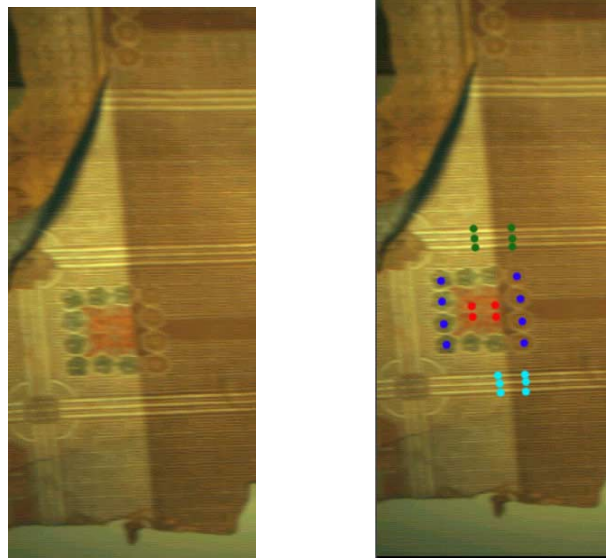


Kuva 54: Keltaisten viivojen (siniset pisteet) spektrit

Keltaisten viivojen kohdilta valittujen mittauspisteiden kuvaajat eroavat toisistaan intensiteetin suhteen sinisessä päässä.

4.2.3. Tapettinäyte 2, jugend-aiheinen tapetti

Näytteessä on nähtävissä selvästi ero puhtaana säilyneen ja likaantuneen osan välillä. Mittauspisteet (kuva 55) valitsin siten, että ne ovat vertailtavissa näytteen sisäisesti että suhteessa muihin samaan kuosiin kuuluvien tapettien kanssa. Piirsin pisteiden kuvaajat (kuvat 56-59) ja laskin pisteiden $L^*a^*b^*$ -arvot.



Kuva 55: Valitut mittauspisteet

Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

Punaiset pisteet:

oikea, ylin – sininen kuvaaja, Ca
 oikea, alin – punainen kuvaaja, Cb
 vasen ylin - vihreä kuvaaja, Cc
 vasen, alin – magenta kuvaaja, Cd

Siniset pisteet

puhdas osa:

vasen, ylin – sininen kuvaaja, Ce
 vasen, toiseksi ylin – punainen kuvaaja, Cf
 vasen, toiseksi alin – vihreä kuvaaja, Cg
 vasen, alin – magenta kuvaaja, Ch

likainen osa:

oikea, ylin– sininen kuvaaja, Ci
 oikea, toiseksi ylin – punainen kuvaaja, Cj
 oikea, toiseksi alin - vihreä kuvaaja, Ck
 oikea, alin – magenta kuvaaja, Cl

Vihreät pisteet

puhdas osa:

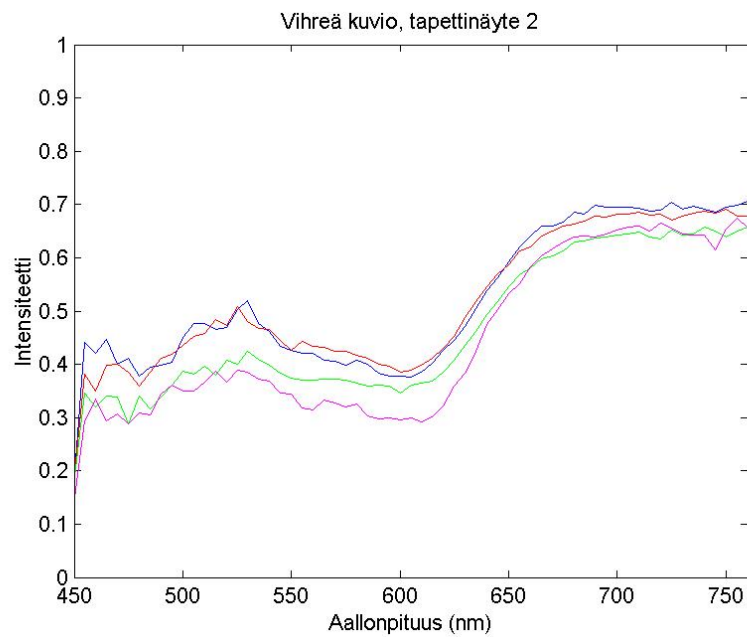
vasen, alin – sininen kuvaaja, Cs
 vasen, keskimmäinen – punainen kuvaaja, Ct
 vasen, ylin – vihreä kuvaaja, Cu

likainen osa: oikea, alin – magenta kuvaaja, Cv
oikea, keskimäinen – musta kuvaaja, Cx
oikea, ylin – syaani kuvaaja, Cy

Turkoosit pisteet

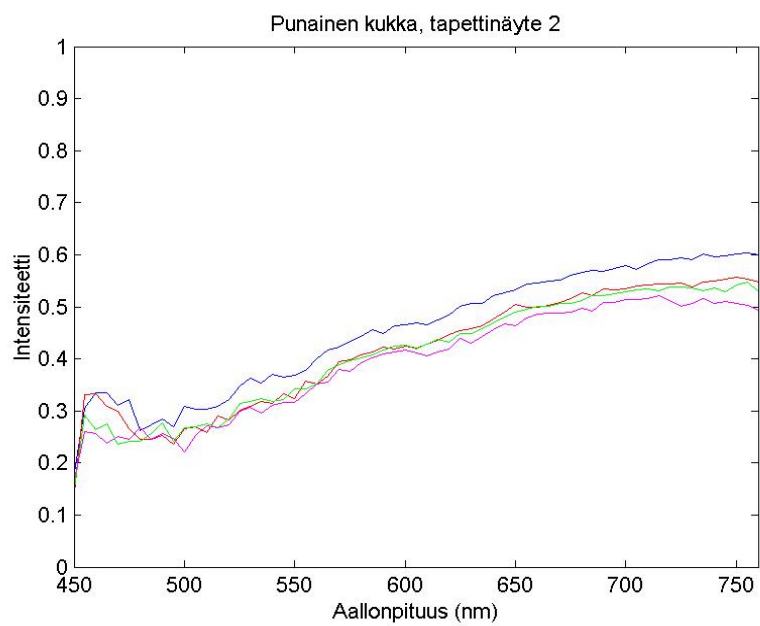
puhdas osa: vasen, alin – sininen kuvaaja, Cz
vasen, keskimäinen – punainen kuvaaja, Coo
vasen, ylin – vihreä kuvaaja, Caa

likainen osa: oikea, alin – magenta kuvaaja, Cab
oikea, keskimäinen – musta kuvaaja, Cac
oikea, ylin – syaaniä kuvaaja, Cad



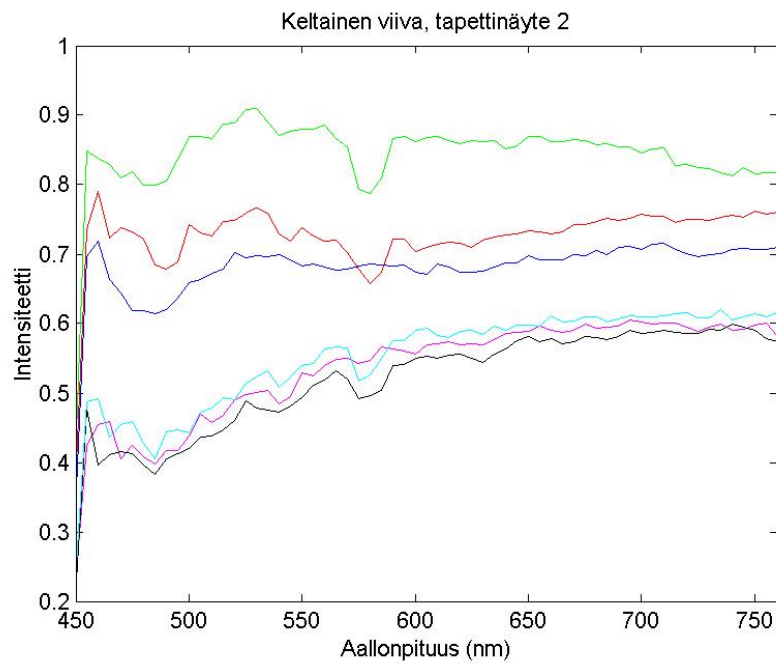
Kuva 56: Vihreät kuviot, puhdas osa (siniset pisteet) spektrit

Kuvaajat noudattavat keskenään samaa muotoa. Erot intensiteetin suhteen ovat suurimmat lyhyillä aallonpituuksilla.



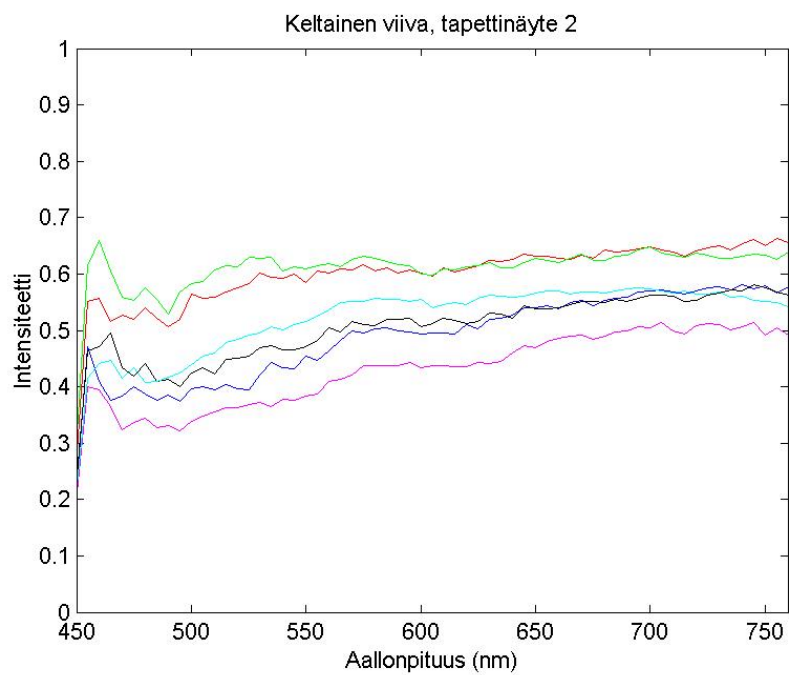
Kuva 57: Vihreät kuviot, likainen osa (siniset pisteet) spektrit

Kuvaajat noudattavat keskenään samaa muotoa. Erot intensiteetin suhteen ovat selvimmät pitkillä aallonpituuksilla.



Kuva 58: Keltaiset viivat (vihreät pisteet) spektrit

Puhtaalta alueelta valittujen pisteiden kuvaajat ovat intensiteetiltään voimakkaampia. Kahden pisteen kuvaajat ovat muodoltaan samanlaisia, mutta kolmas kuvaaja eroaa niistä. Likaiselta alueelta valittujen pisteiden kuvaajat ovat samankaltaisia.

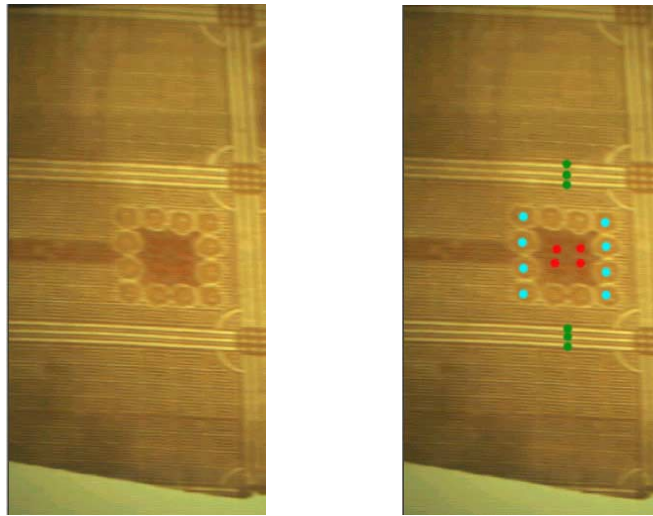


Kuva 59: Keltaisten viivojen (turkoosit pisteet) spektrit

Kaikki kuvaajat ovat muodoltaan samanlaisia. Puhtaalta alueelta valittujen pisteiden kuvaajista kaksi on intensiteetiltään voimakkaampia. Kolmannen pisteen kuvaaja on lähempänä likaiselta alueelta valittujen pisteiden kuvaajia.

4.2.4. Tapettinäyte 3, jugend-aiheinen tapetti

Näytteen värit ovat haalistuneet erityisesti vihreiden ja punaisten kuvioiden osalta. Mittauspisteet (kuva 60) valitsin siten, että ne ovat vertailtavissa muihin. Piirsin pisteiden spektrit (kuvat 61-63) ja laskin niiden $L^*a^*b^*$ -arvot.



Kuva 60: valitut mittauspisteet

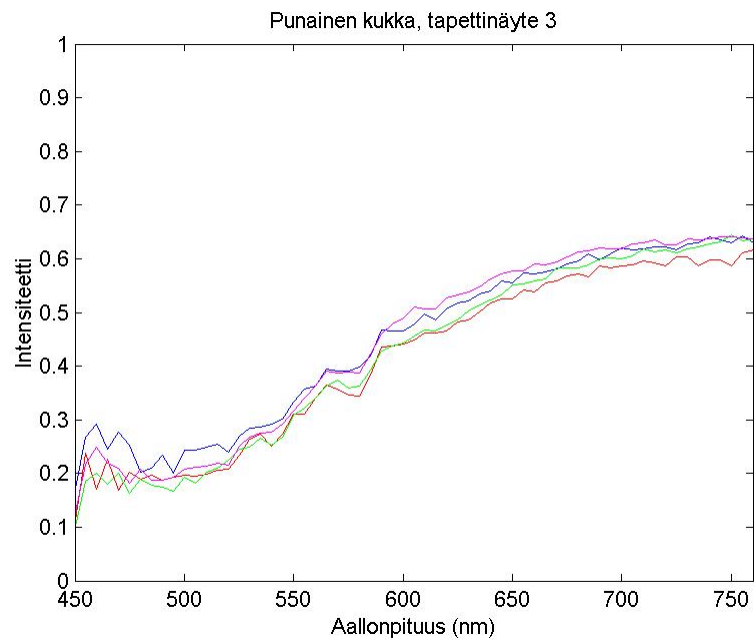
Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

Punaiset pisteet:	vasen, alin – sininen kuvaaja, Da
	vasen, ylin – punainen kuvaaja, Db
	oikea, alin– vihreä kuvaaja, Dc
	oikea, ylin – magenta kuvaaja, Dd
Vihreät pisteet:	
	ylempi viivasto:
	alempi viivasto:
	alin – sininen kuvaaja, De
	keskimmäinen – punainen kuvaaja, Df
	ylin– vihreä kuvaaja, Dg
	alin – magenta kuvaaja, Dh
	keskimmäinen – musta kuvaaja, Di
	ylin– syaani kuvaaja, Dj

Turkoosit pisteet

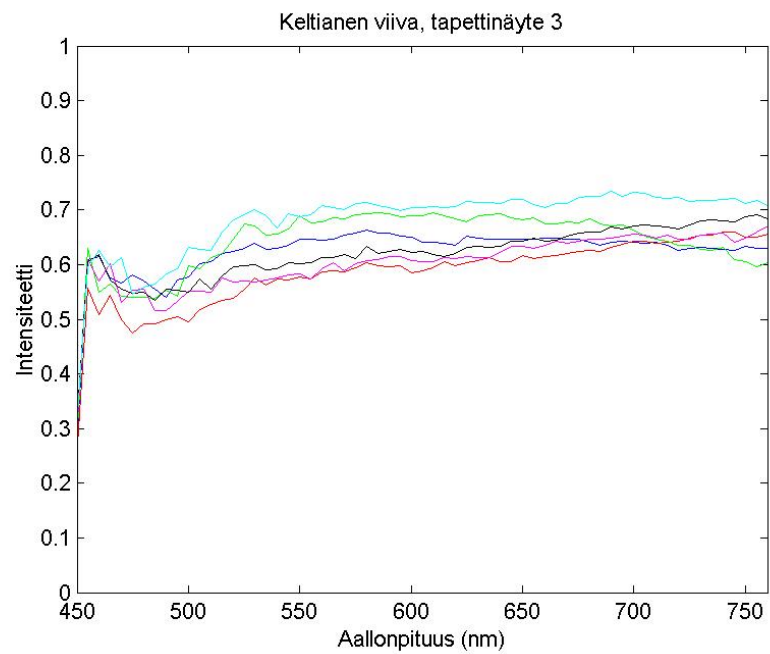
vasen puoli: ylin – sininen kuvaaja, Dk
 toiseksi ylin – punainen kuvaaja, Dl
 toiseksi alin – vihreä kuvaaja, Dm
 alin – magenta kuvaaja, Dn

oikea puoli: ylin – musta kuvaaja, Do
 toiseksi ylin- syaani kuvaaja, Dp
 toiseksi alin – keltainen kuvaaja, Dq
 alin – ruskea kuvaaja, Dr



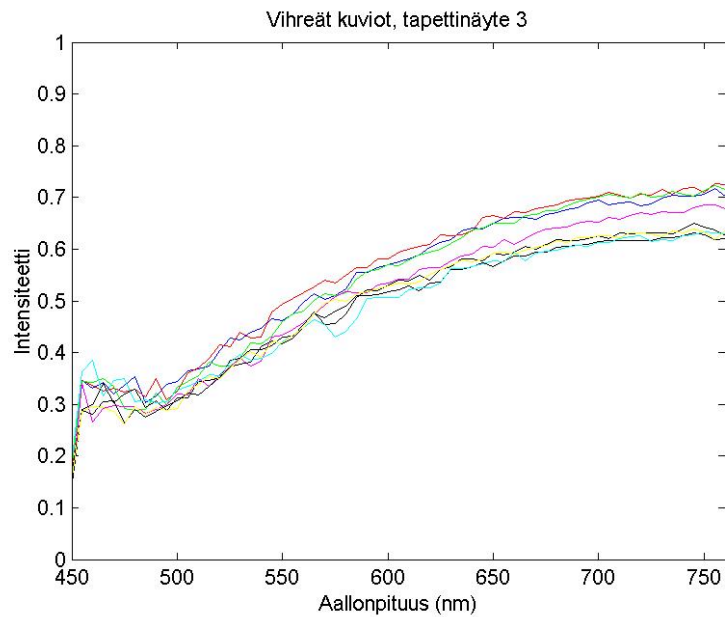
Kuva 61: Punaisten kukkalehtien (punaiset pisteet) spektrit

Valittujen punaisten pisteiden spektrien kuvaajat ovat muodoltaan samanlaisia (kuva 61). Yksi kuvaaja eroaa muista hieman lyhyillä aallonpituuksilla.



Kuva 62: Keltaisten viivojen (vihreät pisteet) spektrit

Valittujen vihreiden pisteiden spektrien kuvaajat ovat muodoltaan samanlaisia (kuva 62). Kuvaajat eroavat intensiteetin suhteen. Suurin ero intensiteetin suhteen on syaanin ja vihreän kuvaajan kohdalla pitkällä aallonpituuksilla.

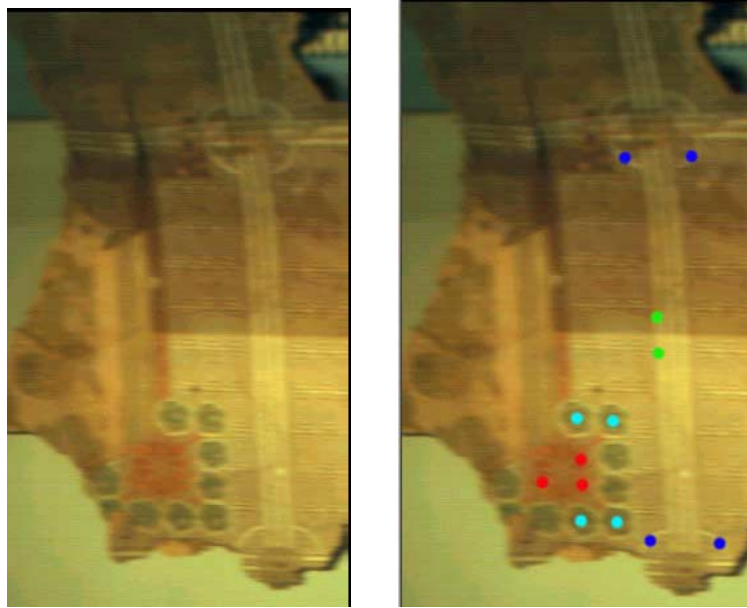


Kuva 63: Vihreiden kuvioiden (turkoosit pisteet) spektrit

Valittujen turkoosien pisteiden spektrien kuvaajat ovat muodoltaan samanlaisia (kuva 63). Intensiteetin suhteen eroavaisuuksia on pitkillä aallonpituuksilla.

4.2.5. Tapettinäyte 4, jugend-aiheinen tapetti

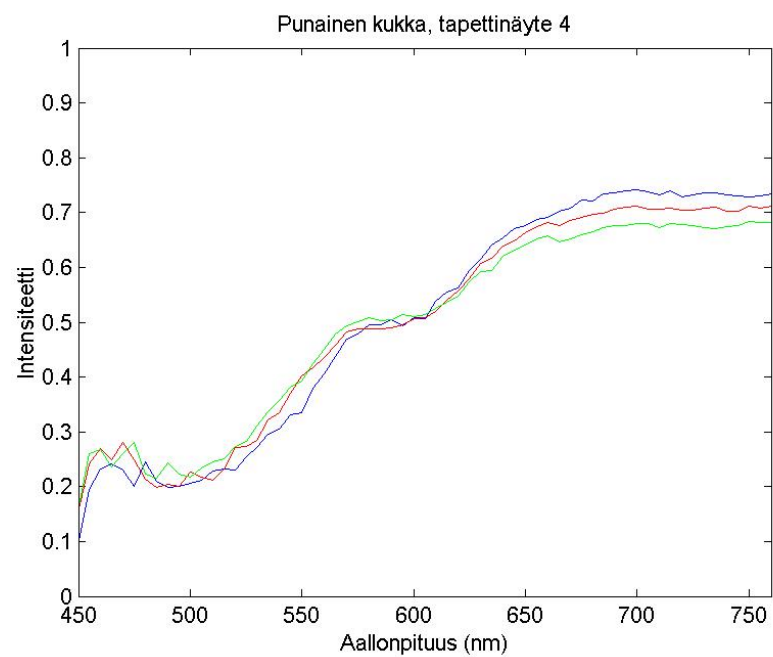
Näytteessä on havaittavissa selvä ero puhtaan ja likaisen osan välillä. Näytteessä ovat vihreät ja punaiset kuviot säilyttäneet värinsä. Mittauspisteet (kuva 64) valitsin siten, että ne ovat verrattavissa sekä näytteen sisäisesti että muihin näytteisiin. Piirsin pisteiden spektrit (kuvat 65-68) ja laskin niiden $L^*a^*b^*$ -arvot.



Kuva 64: Valitut mittauspisteet

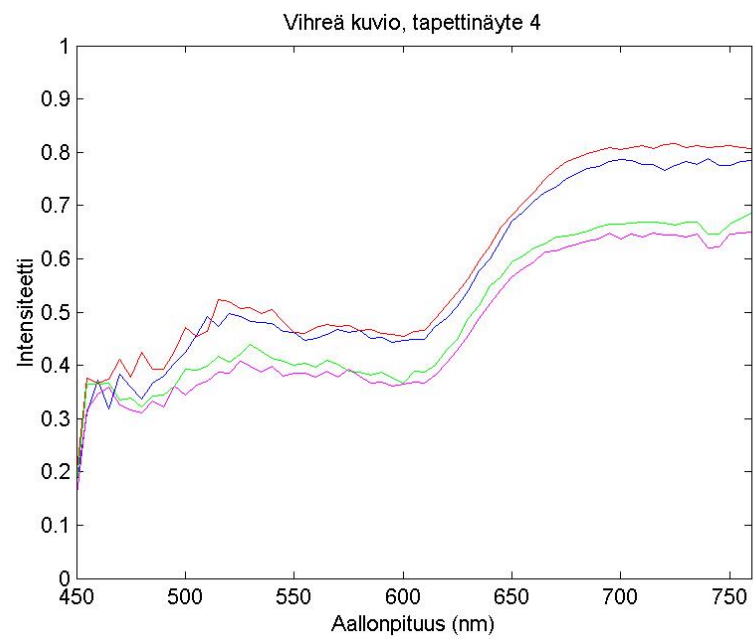
Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

Punaiset pisteet:	oikea, ylin – sininen kuvaaja, Ee oikea, alin – punainen kuvaaja, Ef vasen, alin– vihreä kuvaaja, Eg
Turkoosit pisteet:	vasen, ylin – sininen kuvaaja, Ea oikea, ylin – punainen kuvaaja, Eb oikea, alin – vihreä kuvaaja, Ec vasen, alin– magenta kuvaaja, Ed
Vihreät pisteet:	ylempi – sininen kuvaaja, Ei alempi – punainen kuvaaja, Eh
Sniset pisteet	
puhdas osa:	vasen – sininen kuvaaja, Ej oikea – punainen kuvaaja, Ek
likainen osa:	vasen – vihreä kuvaaja, El oikea - magenta kuvaaja, Em



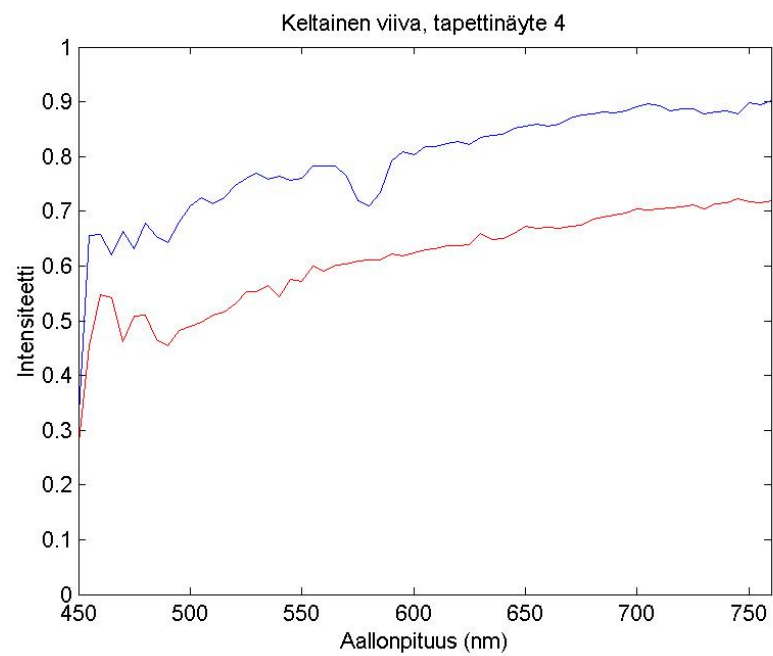
Kuva 65: Punaisten kukkalehtien (punaiset pisteet) spektrit

Valittujen punaisten pisteiden spektrien kuvaajat ovat muodoltaan samanlaisia (kuva 65). Intensiteetin suhteen kuvaajat eroavat hieman pitkillä aallonpituuksilla.



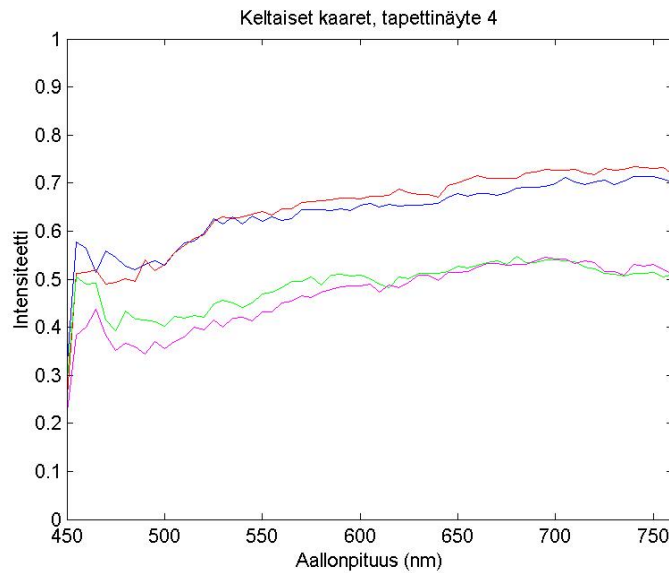
Kuva 66: Vihreiden kuvioiden (turkoosit pisteet) spektrit

Valittujen vihreiden pisteiden spektrien kuvaajat ovat muodoltaan samanlaisia (kuva 66). Vierekkäisten pisteiden kuvaajat ovat lähempänä toisiaan. Pisteparien kuvaajat eroavat intensiteetin suhteen selvästi toisistaan.



Kuva 67: Keltaisten viivojen (vihreät pisteet) spektrit

Valittujen vihreiden pisteiden spektrien kuvaajat eroavat selvästi intensiteetiltään ja hieman muodoltaan.

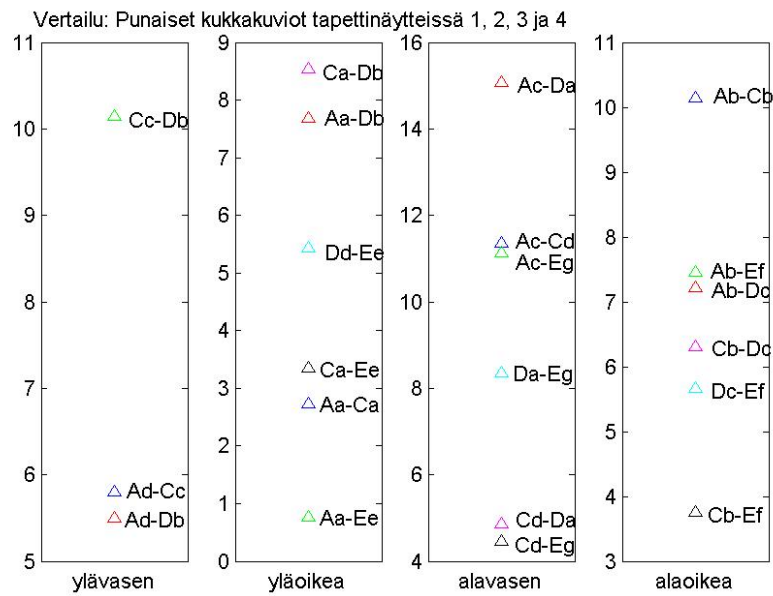


Kuva 68: Keltaisten kaarien (siniset pisteet) spektrit

Valittujen sinisten pisteiden spektrien kuvaajat ovat muodoltaan samanlaisia (kuva 68). Puhtaalta alueelta valittujen pisteiden kuvaajat eroavat intensiteetiltään selvästi likaiselta alueelta valittujen pisteiden kuvaajista. Likaiselta alueelta valittujen pisteiden kuvaajissa on eroja lyhyillä aallonpituuksilla.

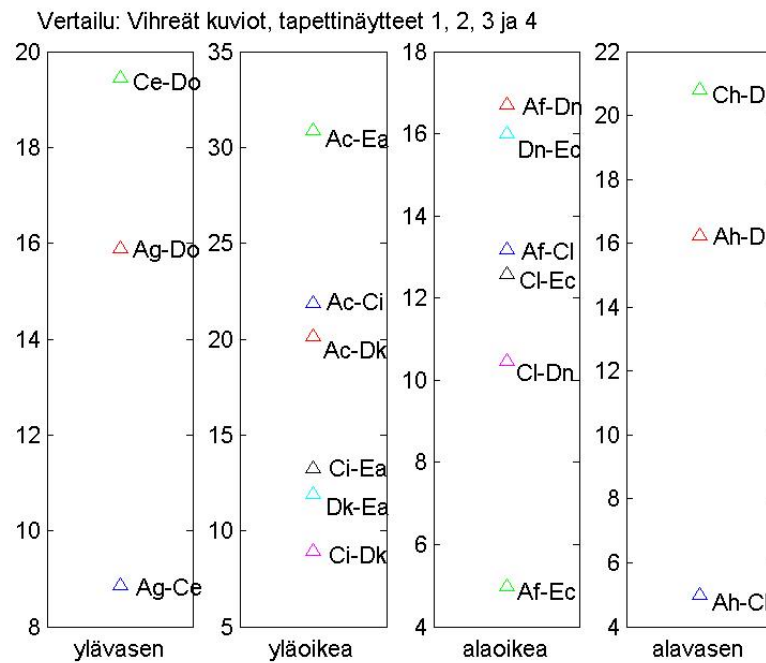
4.2.6. Jugend-aiheisten tapettien värierot

Valitsin tapettinäytteiden kuvioista mittauspisteet siten, että ne olivat vertailukelpoisia toisiinsa nähden. Tapettinäytteiden väliset vertailut tein punaisten kukkalehtien (kuva 69), vihreiden lehtikuvioiden (kuva 70), keltaisten viivojen (kuvat 71 ja 72) ja punaisten viivojen (kuva 73) välillä. Värieron ΔE laskin variero.m -ohjelmalla pisteiden spektrien $L^*a^*b^*$ -arvoista.



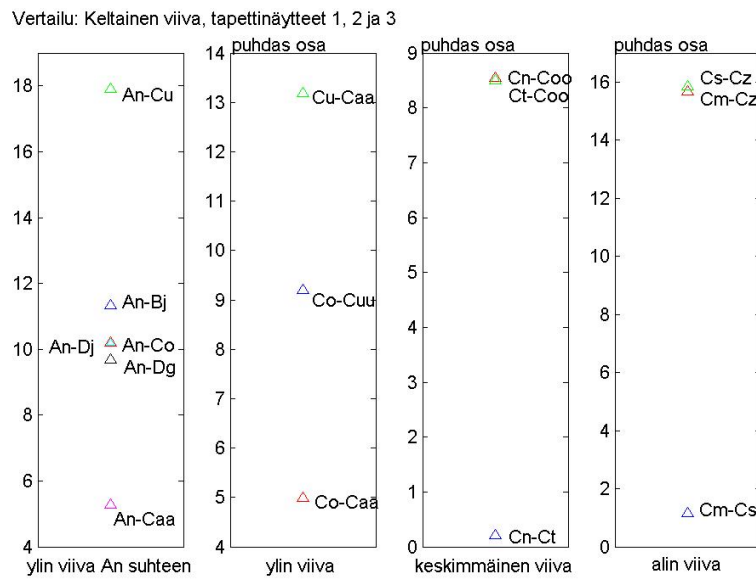
Kuva 69: Värierot ΔE punaisten kukkalehtien välillä

Punaisia kukkalehtiä vertailin näytteiden kesken kukkasijainnin perusteella. Pienin väriero, 0.7679, oli pisteiden Aa ja Ee välillä. Väriero ei ole silmin havaittavissa. Suurin väriero, 15.0608, on pisteiden Ac ja Da välillä.



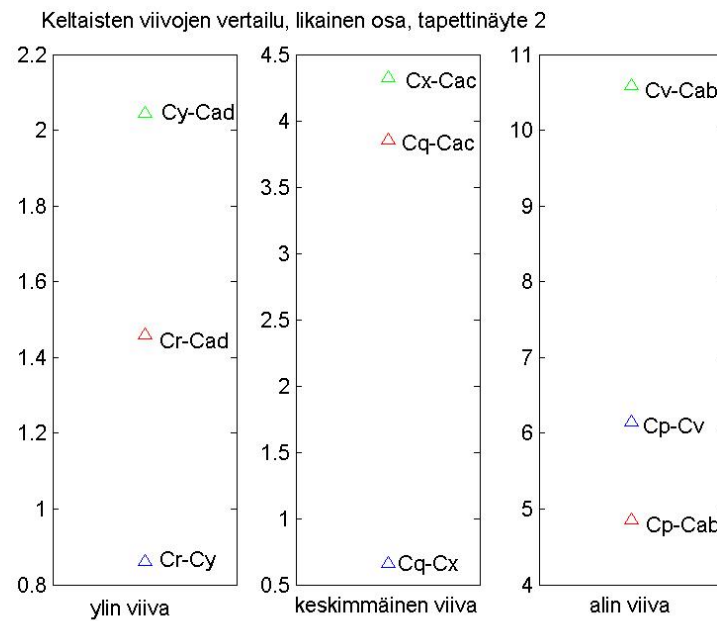
Kuva 70: Värierot ΔE vihreiden kuvioiden välillä

Vihreiden kuvioiden pienin värierio, 4.9847, on pisteiden Ah ja Ch välillä ja suurin värierio, 30.9124, on pisteiden Ac ja Ea välillä.



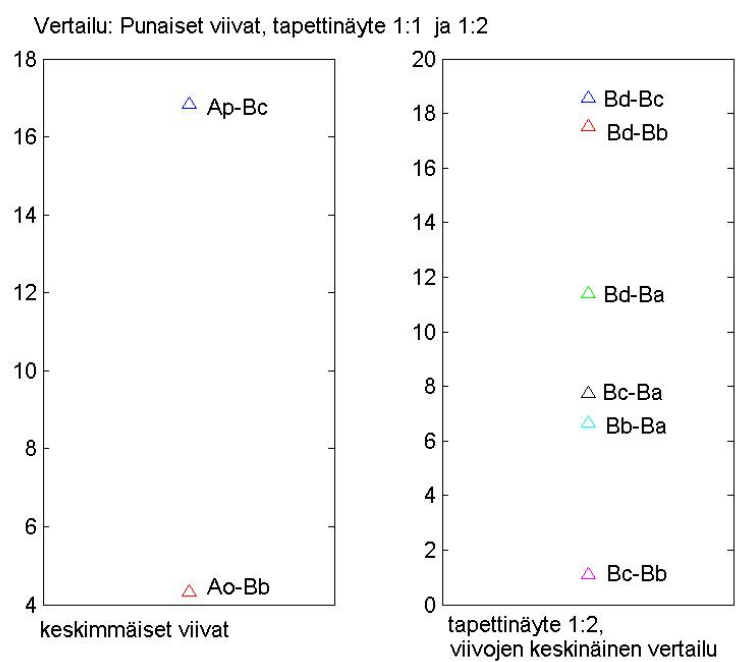
Kuva 71: Värierot ΔE keltaisten viivojen välillä puhtaalla osalla

Puhtaiden alueiden keltaisten viivojen välinen pienin väriero, 0.2145, on pisteiden Cn ja Ct välillä. Väriero ei ole silmin nähtävissä. Suurin väriero, 15.8334, on pisteiden Cs ja Cz välillä.



Kuva 72: Värierot ΔE keltaisten viivojen välillä likaisella osalla

Likaisten alueiden keltaisten viivojen välinen pienin värierot, 0.6609, on pisteiden Cq ja Cx välillä. Värierot ei ole silmin nähtävissä. Suurin värierot, 10.5912, on pisteiden Cv ja Cab välillä.

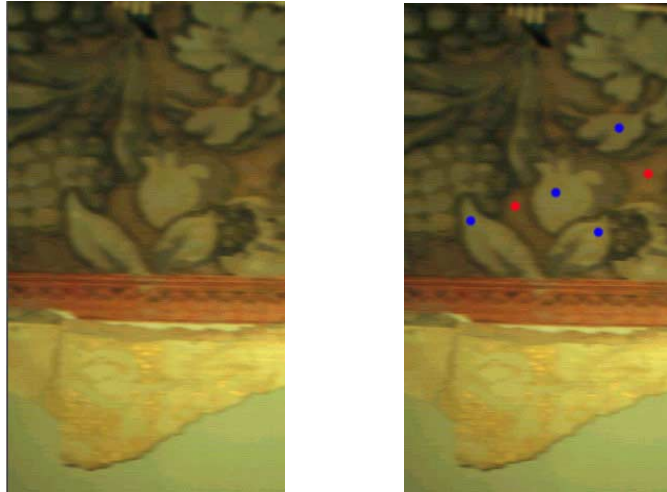


Kuva 73: Värierot ΔE punaisten viivojen välillä

Punaisten viivojen pienin värierot, 1.1177, on pisteiden Bc ja Bb välillä. Värierot on juuri ja juuri silmin nähtävissä. Suurin värierot, 18.5644, on pisteiden Bd ja Bc välillä.

4.2.7. Tapettinäyte5 , Kuviotapetti

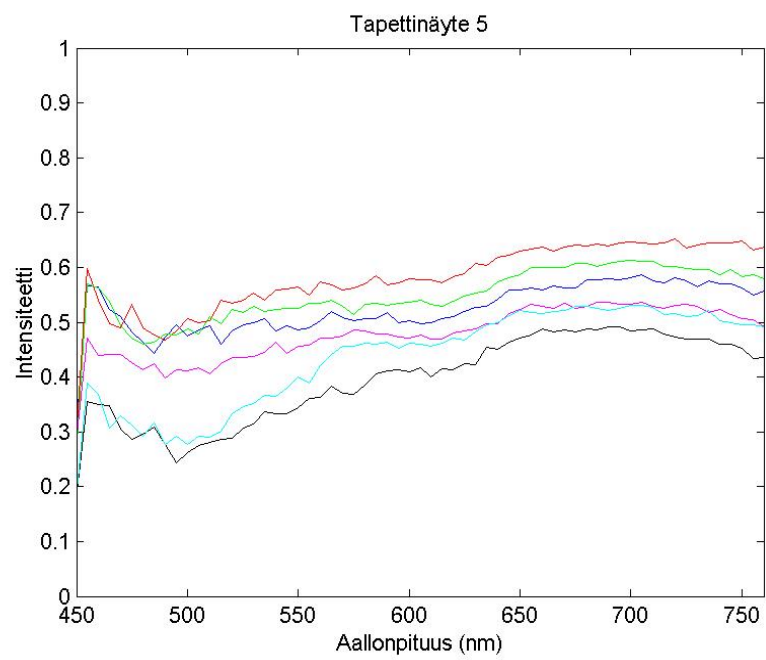
Valitsin näytteen mittauspisteet (kuva 74) silmämääräisesti samanväristä kohdista. Piirsin pisteiden kuvaajat (kuva 75), laskin niiden $L^*a^*b^*$ -arvot ja värierot (kuva 76).



Kuva 74: valitut mittauspisteet

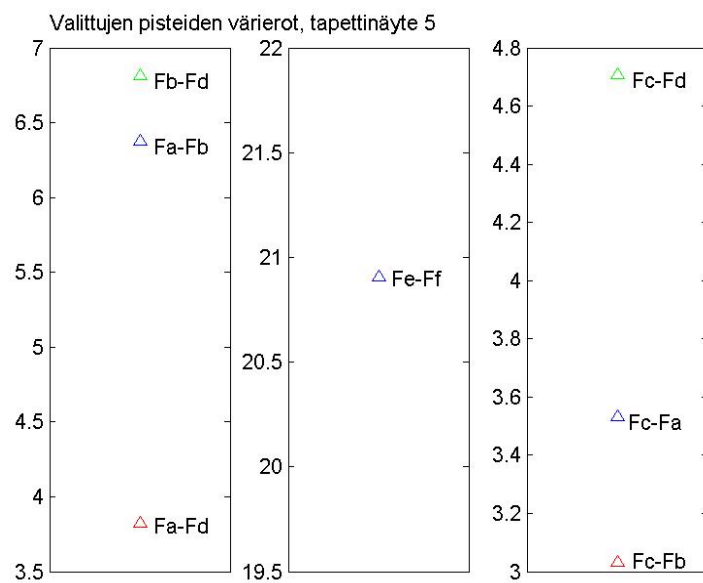
Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

Siniset pisteet:	vasen lehti – sininen kuvaaja, Fa
	oikea lehti – punainen kuvaaja, Fb
	keskimmäinen kuvio – vihreä kuvaaja, Fc
	ylin lehti – magenta kuvaaja, Fd
Punaiset pisteet:	tausta, vasen – musta kuvaaja, Fe
	tausta, oikea – syaani kuvaaja, Ff



Kuva 75: Pisteiden spektrit

Sinisten pisteiden spektrit ovat keskenään samanmuotoisia, mutta eroavat intensiteetiltään toisistaan. Samoin punaisten pisteiden spektrit noudattavat keskenään samaa muotoa, mutta eroavat intensiteetiltään.

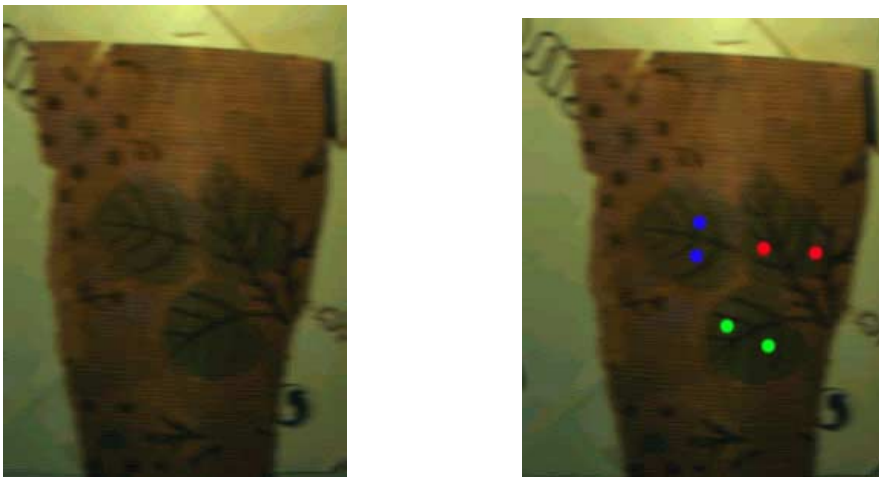


Kuva 76: Pisteiden värierot ΔE

Sinisten pisteiden pienin väriero, 3.0334, on pisteiden Fc ja Fb välillä. Suurin väriero, 20.9045, on punaisten pisteiden kuvaajien Fe ja Ff välillä.

4.2.8. Tapettinäyte 6, Kuviotapetti

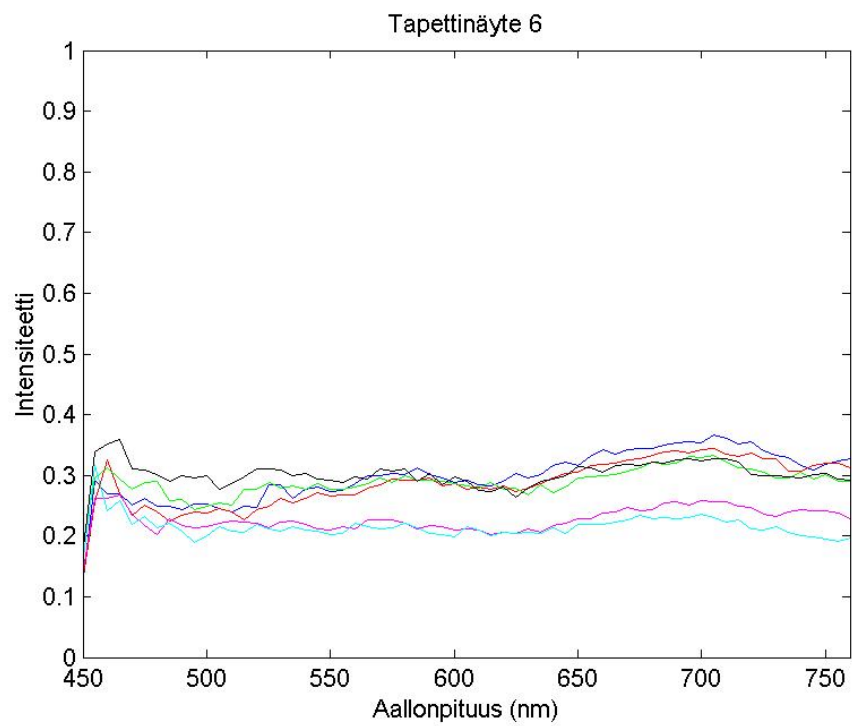
Tapettinäyte on tummasävyinen ja siinä on erotettavissa lehtikuvioita. Mittauspisteet (kuva 77) valitsin lehtikuvioiden vihreiden osien kohdilta. Piirsin pisteiden kuvaajat (kuva 78), laskin niiden $L^*a^*b^*$ -arvot ja värierot (kuva 79).



Kuva 77: Valitut mittauspisteet

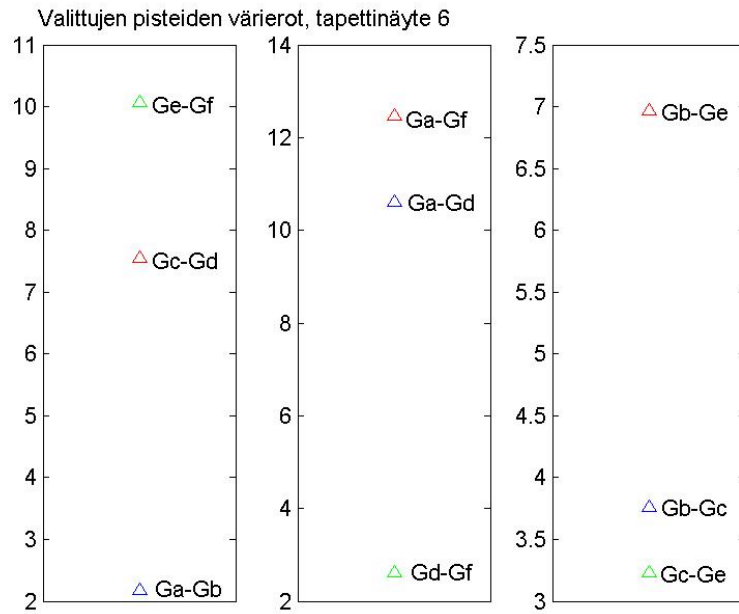
Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

Siniset pisteet:	<ul style="list-style-type: none"> ylin – sininen kuvaaja, Ga alin – punainen kuvaaja, Gb
Punaiset pisteet:	<ul style="list-style-type: none"> vasen – vihreä kuvaaja, Gc oikea – magenta kuvaaja, Gd
Vihreät pisteet:	<ul style="list-style-type: none"> vasen – musta kuvaaja, Ge oikea – syaani kuvaaja, Gf



Kuva 78: Pisteiden spektrit

Kuvaajien muodot noudattelevat toisiaan. Näytteen oikean puoleisten pisteiden kuvaajat ovat intensiteetiltään pienimpiä ja eroavat muista kuvaajista.

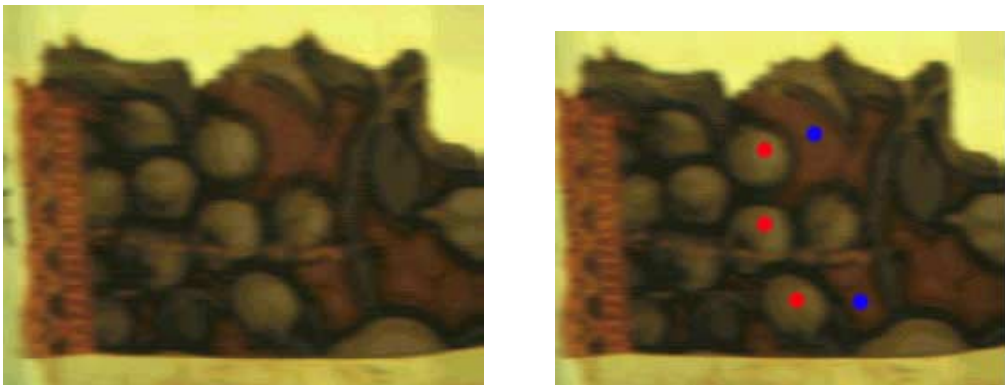


Kuva 79: Pisteiden värierot ΔE

Pienin väriero, 2.1832, on pisteiden Ga ja Gb välillä. Suurin väriero, 12.4766, on pisteiden Ga ja Gf välillä.

4.2.9. Tapettinäyte 8, Kuviotapetti

Valitsin mittauspisteet (kuva 80) silmämääräisesti samanvärisistä kohdista. Piirsin pisteiden kuvaajat (kuva 81), laskin niiden $L^*a^*b^*$ -arvot ja värierot (kuva 82).

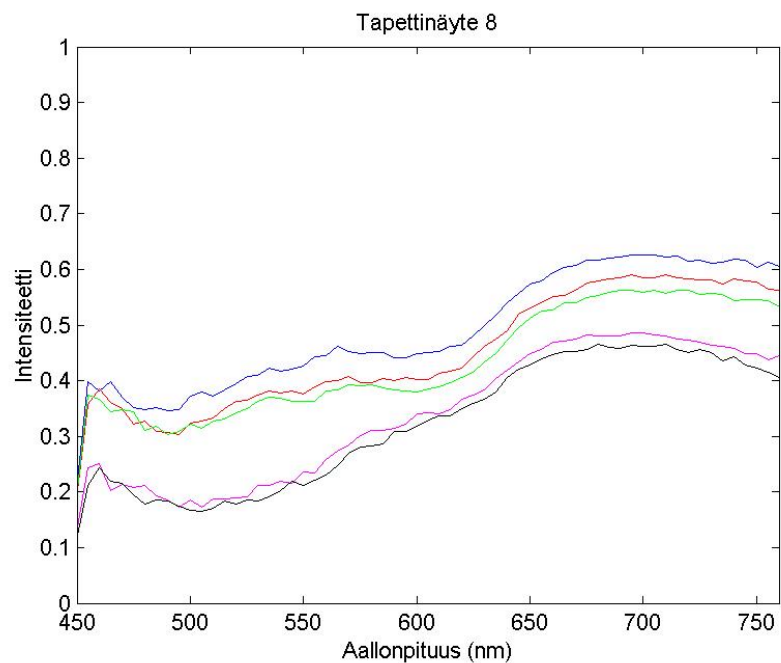


Kuva 81: Valitut mittauspisteet

Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

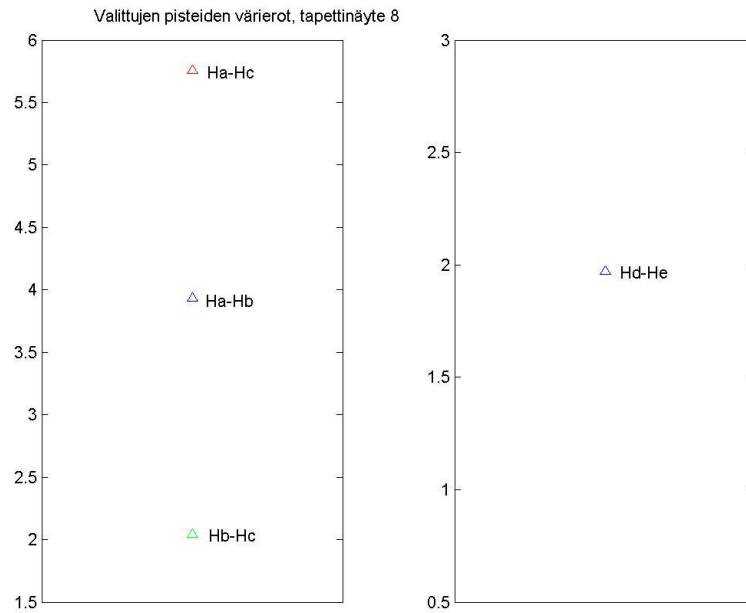
Siniset pisteet: ylin – magenta kuvaaja, Hd
 alin – musta kuvaaja, He

Punaiset pisteet: ylin – sininen kuvaaja, Ha
 keksimmäinen – punainen kuvaaja, Hb
 alin – vihreä kuvaaja, Hc



Kuva 82: Pisteiden spektrit

Punaisten pisteiden kuvaajat ovat muodoltaan samanlaisia ja eroavat toisistaan intensiteetin suhteen. Sinisten pisteiden kuvaajat ovat samanmuotoiset eivätkä ne eroa kovin suuresti intensiteetin suhteen toisistaan.

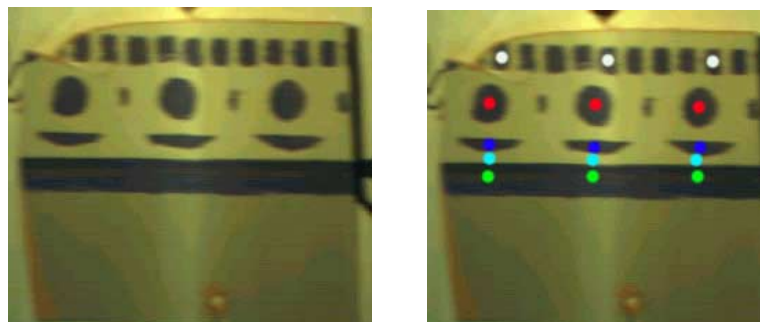


Kuva 83: Pisteiden värierot ΔE

Pienin väriero, 2.0429, on pisteiden Hb ja Hc välillä. Suurin väriero, 5.7579, on pisteiden Ha ja Hc välillä

4.2.10. Tapettinäyte 11, Maalattu tapetti

Näytteen sisällä toistuu sama kuvio ja valitsin mittauspisteet (kuva 84) siten, että ne ovat vertailukelpoisia keskenään. Piirsin pisteiden kuvaajat (kuvat 85-87), las-kin niiden L^*a^*b -arvot ja värierot (kuvat 88 ja 89).



Kuva 84: valitut mittauspisteet

Mittauspisteitä vastaavat spektrien kuvaajien värit:

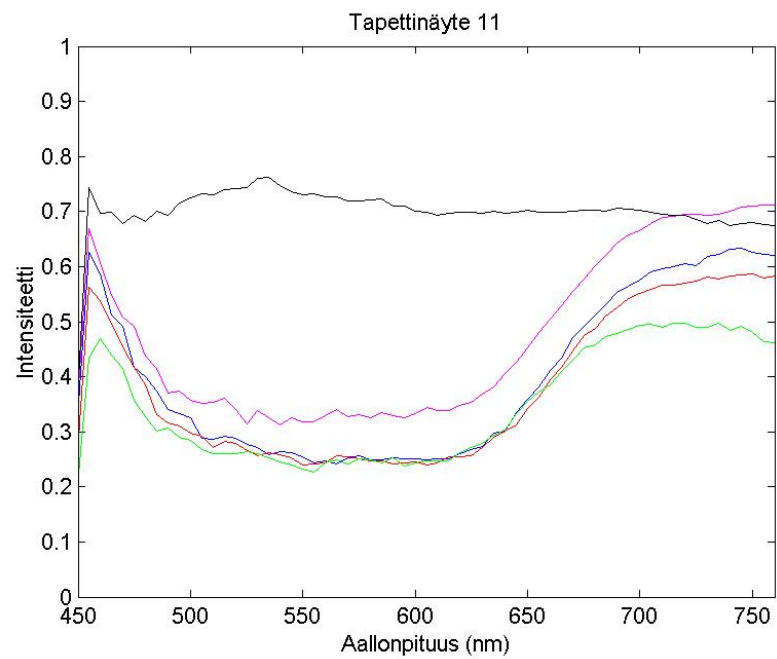
Valkoiset pisteet: magentat kuvaajat, Id, Ii, In

Punaiset pisteet siniset kuvaajat, Ia, If, Ik

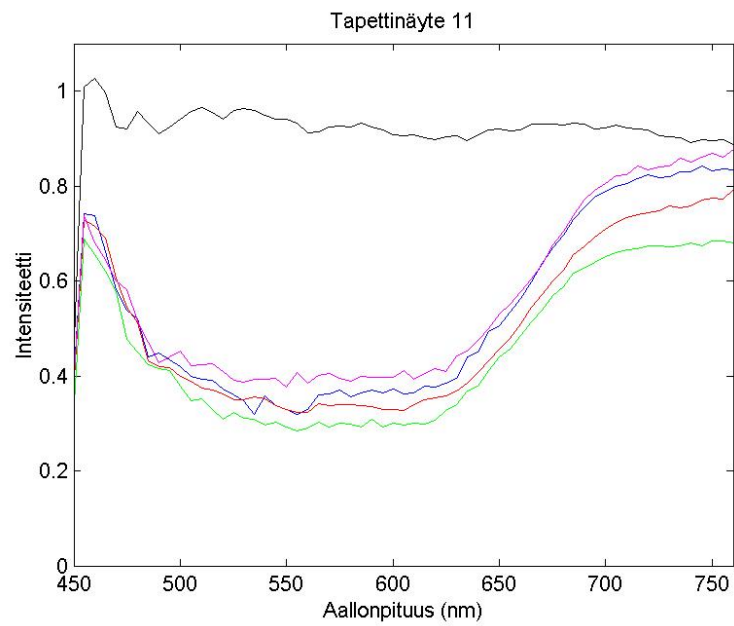
Siniset pisteet: punaiset kuvaajat, Ib, Ig, Il

Turkoosit pisteet: mustat kuvaajat, Ie, Ij, Io

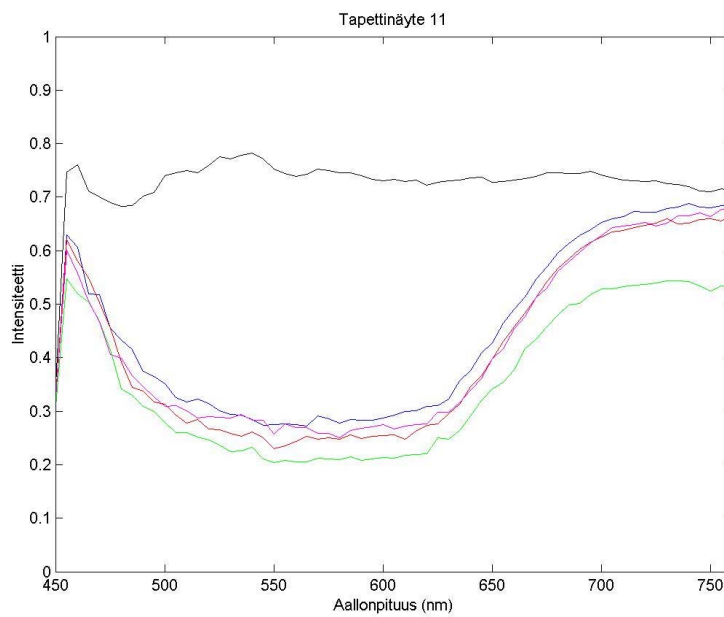
Vihreät pisteet: vihreät kuvaajat, Ic, Ih, Im



Kuva 85: Vasemmanpuoleisten pisteiden spektrit

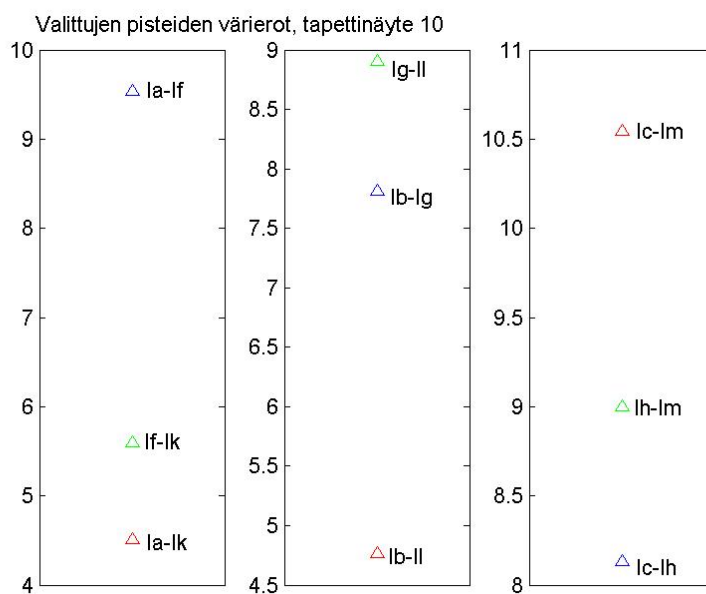


Kuva 86: Keskimmäisten pisteiden spektrit



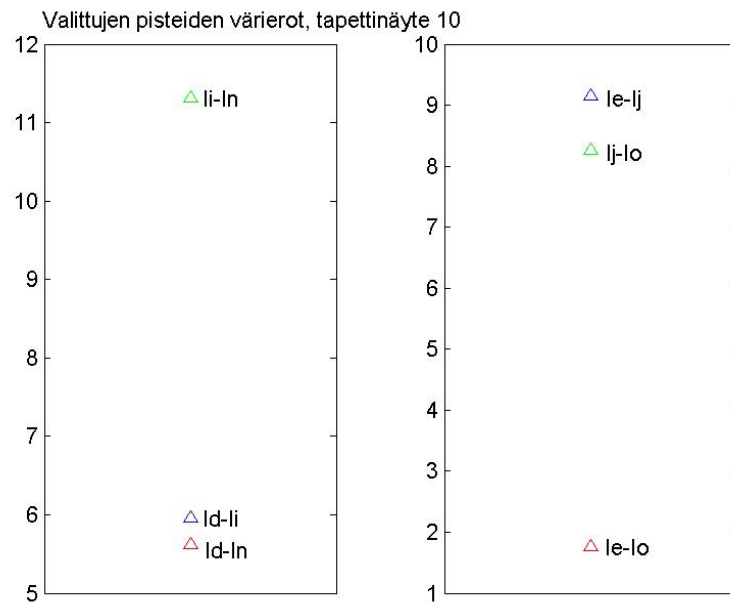
Kuva 87: Oikeanpuoleisten pisteiden spektrit

Sinisten kuvioiden spektrit noudattavat keskenään samaa muotoa. Intensiteetin suhteen eroaa selvimmin vasemman, ylimmän sinisen kuvion spektri muista. Taus-tavärin keskimmäisen kohdan spektri eroaa intensiteetin suhteen muista.



Kuva 88: Värierot ΔE pisteiden välillä

Punaisten pisteiden pienin väriero, 4.5086, on pisteiden Ia ja Ik välillä. Suurin väriero, 9.5335, on pisteiden Ia ja If välillä. Sinisten pisteiden pienin väriero, 4.7619, on pisteiden Ib ja Il välillä. Suurin väriero, 8.9025, on pisteiden Ig ja Il välillä. Vihreiden pisteiden pienin väriero, 8.1299, on pisteiden Ic ja Ih välillä. Suurin väriero, 10.5445, on pisteiden Ic ja Im välillä.



Kuva 89: Värierot ΔE pisteiden välillä

Valkoisten pisteiden välinen pienin väriero, 5.6140, on pisteiden Id ja In välillä. Suurin väriero, 11.3191, on pisteiden Ii ja In välillä. Sinisten pisteiden pienin väriero, 1.7653, on pisteiden Ie ja Io välillä. Suurin väriero, 9.1496, on pisteiden Ie ja Ij välillä.

5. POHDINTA

Tutkimukseni kokeellinen osa muodostui luvussa 4 esitellyistä mittauksista. Tarkastelen seuraavassa spektrimittauksen kannalta mittausaineiston valintaan ja mitausten järjestämisen liittyviä yleisiä kysymyksiä ja mitausten tuloksia. Pohdin, voidaanko saamieni tulosten perusteella tehdä johtopäätöksiä siitä, miten spektrimittaus soveltuu kulttuurihistoriallisen materiaalin tutkimukseen, minkälaisia mahdollisuuksia se tarjoaa ja minkälaisia rajoitteita sillä on esineiden tunnistamiseen ja kuvailemiseen, vaurioiden kartoittamiseen ja ehkäisemiseen sekä ennallistamiseen.

Tutkimusaineistoni oli sattumanvaraisesti valittu. Tekstiilien valinnassa kiinnitin huomiota siihen, että kohteessa oli silmin havaittavia värieroja. Tavoitteena oli löytää kohtia, joissa väri olisi säilynyt mahdollisimman alkuperäisenä ja sen vertailu muuttuneeseen väriin olisi ollut mahdollista. Kaikki mitatut tekstiilit olivat 1800-luvulta. Toisen aineistoryhmän muodostivat maalaukset. Kirkon kattomaalauksen puhdistamisen yhteydessä tehdyt mittaukset antoivat hyvän mahdollisuuden värierojen tarkasteluun. Kolmannen materiaalityhmän muodostivat tapettinäytteet. Niissä oli osin säilynyt alkuperäistä väritystä ja samanlaisten näytteiden joukossa vertailua voitiin tehdä myös kuvioiden värierojen välillä.

Tekstiilien mitausten yhteydessä tuli esille ImSpectorilla yhdellä kertaa mitattavan alueen rajallisuus. Suurikokoisten aineistojen kohdalla mittaus tehtiin osa-alueina. Kohteen eri osa-alueita mitattaessa kohdetta tai mittauslaitteistoa oli siirrettävä. Tässä tutkimuksessa mittauskohdetta siirrettiin siten, että sen sijainti suhteessa ImSpectoriin pysyi mahdollisimman samana. Valaistuksen kohdentamisessa jouduttiin käyttämään valolähteen edessä kuvausvarjoa, joka hajaannutti valon tasaisemmin mittauskohteeseen. Silkkikangas aiheutti ongelmia heijastuksellaan. Heijastus pyrittiin minimoimaan silmämääräisesti kohdentamalla valolähde oikeassa

kulmassa tekstiiliin. Muiden tekstiilimateriaalien kanssa vastaavanlaista heijastusongelmaa ei ollut.

Tekstiilien mittaustulosten käsittelyssä valittujen mittauspisteiden värierot olivat havaittavia. Mittauspaikan olosuhteiden vuoksi kohteen mittausalueita ei pystytty valitsemaan niin, että suurimmat värierot olisivat olleet mitattavissa. Silkkileningin sisäsaumoissa väri oli säilynyt parhaiten, mutta sisäpuolen mittaukset eivät tässä tutkimuksessa olleet mahdollisia. Se olisi vaatinut leningin sijoittelussa erikoismenetelmiä. Miesten liivien osissa tummempien ja haalistuneiden kohteiden vertailu oli mahdollista. Myös liivin osien väliset värivertailut olivat mahdollisia.

Taidemuseon maalaus Lukeva Madonna oli haasteellinen mitattava. Teos on öljy-maalaus ja mittaustilanteessa ongelmana oli saada valaistus kohdentumaan siten, että heijastus saatiin poistettua.

Maalausten osalta mittaukset toteutuivat parhaiten kirkon kattomaalauksissa. Samalla mittauskalustolla ja mittausgeometrialla saatiin mitattua maalausten värien tila ennen ja jälkeen puhdistuksen. Näin värierot olivat selvästi nähtävissä myös silmämäärin. Tämä näkyi myös mittaustuloksissa.

Satunnaisesti valitut tapetit muodostivat hyvän mittauskokoelman. Samaa kuosia olevat tapetit, joissa osassa oli säilynyt puhtaampia osia, antoivat hyvän mahdollisuuden värierojen mittaamiselle. Toisaalta samaa kuosia olevat haalistuneet näytteet lisäsivät väritietoa aineistosta. Maalatussa tapetissa toistui sama kuvio. Mittauspisteet valittiin niin, että niiden värierojen vertailu oli mahdollista samanaikaisesti kuvioiden kesken.

Luotettavampien mittaustulosten saamiseksi vertailtavien kohteiden samanaikainen mittaaminen on perusteltua. Silloin mittauslaitteisto ja mittausgeometria pysyvät samana koko ajan. Tämä onnistui kirkon kattomaalausten kohdalla ja silkkikien

kohdalla. Kirkossa valaistusolosuhteessa saattoi esiintyä vaihteluja, koska ikkunat eivät olleet peitettyinä.

Väriominaisuuksien tunnistaminen ja värimuutosten seuraaminen avaavat uudenlaisia mahdollisuuksia kulttuurihistoriallisen materiaalin tutkimukselle. Taideteosten kohdalla mittaaminen ja vakiintuneiden mittaolosuhteiden toteuttaminen on mahdollista. Tekstiilien kohdalla mittaustilanteiden järjestäminen samanlaisiksi on ongelmallisempaa. Valaistus ja mittausgeometria ovat toteutettavissa, mutta tekstiilimateriaaleista ja tekotavoista johtuvat poimut, veki ja säilytysoloissa käytetyt apumateriaalit muokkaavat esim. leninkien muotoa. Toisaalta osa tekstiileistä on niin arkaa materiaalia, että niiden asettaminen mitattavaksi vaatii erityisiä toimenpiteitä.

Tietojen digitaalinen arkistointi vaatii sovitut työmenetelmät. Spektrikuvantaminen on keino väriominaisuuksien tallentamiseen numeerisessa muodossa. Näin saadut väritiedot ovat säilyvyydeltään pysyvämpiä kuin perinteinen filmimateriaali. Filmimateriaali on altis ympäristömuutoksille ja sen säilytys- ja arkistointiolosuhteille on asetettu erityisiä vaatimuksia mm. lämpö- ja kosteusarvojen suhteen.

Spektrikuvantaminen asettaa suuria vaatimuksia tietokoneiden muistille. Spektrikuvat ovat kooltaan suuria, satoja megatavuja, ja ne vaativat paljon muistitilaa. Kaiken materiaalin spektrikuvaus ei ole tarkoituksenmukaista. Väritietojen liittäminen esineen tunnistetiedoksi onnistuu hyvin digitaalisena värikuvana.

Spektritiedot ovat käyttökelpoisia silloin, kun tarvitaan väriin liittyvää tarkkaa tietoa. Spektrien avulla voidaan tallentaa materiaalissa olevia ja materiaalien välisiä värieroja. Ne ovat hyviä tunnistetietoja mm. taideteosten kohdalla. Taideteosten kohdalla värit ja niihin liittyvät tulkinnat ovat aina olleet kiinnostavia. Maalausten kohdalla olisi kiinnostavaa tutkia miten eri aikakausille tyypillisten värien väriskaalat eroavat, mitkä värit ovat tyypillisiä ja miksi toiset värit miellyttävät katsojia.

Tekstiilien kohdalla värierojen tutkiminen esim. käsinkudotuissa ja käsinvärjättyissä materiaaleissa olisi kiinnostavaa. Spektrikuvantamisen avulla voitaisiin tutkia, kuinka tasaisesti käsinvärjäys on onnistunut ja miten esim. materiaalin paksuuden vaihtelut näkyvät väritiedoissa. Tutkimusaineistossa olleiden tekstiilien kohdalla keskityin tässä vaiheessa silmämääräisesti havaittavien värierojen laskeamiseen.

Näyttelyitä varten esineitä joudutaan usein kunnostamaan ja liittämään niihin uusia osia. Näiden osien värjäminen alkuperäisen mukaisesti on tehty silmämääräisesti. Esineiden ennallistamistoimenpiteissä spektritiedot tarjoavat tarkempaa väritietoa.

Spektrikuvantaminen tarjoaa mahdollisuuden valittujen aineistoryhmien ja niissä tapahtuvien värimuutosten tutkimiseen, vaurioiden seuraamiseen ja tunnistamiseen. Arkojen materiaalityyppien kohdalla spektrikuvantamisella voidaan seurata aiheutuuko varastoinnin tai näyttelyssä olon aikana muutoksia väreissä ja millä aika välillä. Seurannan onnistumiseksi tarvitaan tarkat ja samanlaisena toistettavissa olevat olosuhteen seurantamittauksen toteuttamiseksi.

Tapettiaineiston ja kirkon seinämaalausten kohdalla näkyivät selvät värierot liikaantuneiden ja suojassa olleiden tai puhdistettujen osien välillä. Vaikka värierot olivat silmin havaittavat, niin niiden pohjalta ei vielä kuitenkaan voida päätellä millä aikavälillä ja minkälaisissa olosuhteissa tapettien tai seinämaalausten kuvioiden värit ovat muuttuneet alkuperäiseen verrattuna.

Spektrikuvantamisen antamia tietoja voidaan hyödyntää julkaisutoiminnassa. Spektrivärien avulla on mahdollista julkaista paremmin alkuperäisiä värejä vastaavia kuvia. Virtuaalinäyttelyissä spektriväritietojen hyödyntäminen on käyttökelpoista. Materiaalien värejä voidaan esittää alkuperäisistä esineistä todettujen värien mukaisina. Vaikka väri olisi säilynyt hyvin pienellä alueella, sen spektrimittaus on mahdollista. Näin hyvin pienen säilyneen väritiedon avulla voidaan virtuaalisesti esittää esine lähempänä alkuperäistä väriä. Esineiden alkuperäiset värit voidaan

palauttaa ja esittää yleisölle. Monet aikojen myötä värinsä menettäneet esineet voidaan esittää sellaisina kuin ne ovat alun perin olleet. Spektrikuvantamisen avulla kulttuurihistorialliseen materiaaliin olennaisesti liittyvä väritieto on mahdollista tallentaa numeerisessa muodossa ja värittömältä näyttävän menneisyyden on mahdollista löytää värikäs olemuksensa uudelleen.

LÄHTEET

1. Addison, Alonzo C.: Emerging Trends in Virtual Heritage. *IEEE Multimedia*, April-June 2000, ss. 22-25.
2. Addison, Alonzo C., Gaiani, Marco: Virtualized Architectural Heritage: New Tools and Techniques. *IEEE Multimedia*, April-June 2000, ss. 26-31.
3. Baronti, S., Casini, A., Lotti, F. and Porcinai, S: Multispectral imaging system for the mapping of pigments in works of art by use of principal-component analysis. *Applied Optics* 37, 8. 1998.
4. Burmester, A, Cupitt, J., Derrien, H., Dessipris, N, Hamber, A., Martinez, K., Müller, M., Saunders, D.: The examination of paintings by digital image analysis. 3rd International Conference on Non-Destructive Testing, Microanalytical Methods and Environmental Evaluation for Study and Conservation of Works of Art. Viterbo 1992.
5. Chahine Hélène, Cupitt John, Saunders David and Martinez Kirk: Investigation and modelling of colour change in paintings during conservation treatment. *British Museum, occasional paper number 114*.
6. Cupitt J., Martinez K., Saunders D.: A Methodology for Art Reproduction in Colour: The MARC Project. *Computers and the History of Art* 6(2), ss. 1-20. 1996.
7. Digimentti. Suomen valokuvataiteen museo. Luonnos 2001.
8. Hauta-Kasari, Markku: Computational techniques for spectral image analysis. *Acta Universitatis Lappeenrantaensis* 81. Lappeenranta 1999.

9. Hauta-Kasari M., Miyazawa K., Toyooka S., Parkkinen J.: Spectral vision system for measuring color images. Proceedings, 3rd International Symposium on Optics in Engineering, Kajaani, Finland, January 19-21. 1999.
10. Hauta-Kasari M., Parkkinen J., Jaaskelainen T., Lenz R: Spectral based analysis of color images. Proceedings, 8th Congress of the International Colour Association, AIC Color 97, Kyoto, Japan, May 25-30. 1997.
11. Higgins Tony, Main peter, Lang Janet: Imaging the past. Electronic imaging and computer graphics in museums and archaeology. British Museum occasional paper number 114.
12. http://cs.joensuu.fi/~spectral/intra/Presentations/presentations_colorlab/ (2.5.2003).
13. <http://www-ise.stanford.edu/class/psych231/00/jsbeier/results.html> (23.2.2002).
14. Hunt, R.W:G: Measuring Colour. 2nd ed. Ellis Horwood, Chichester, England, 1991.
15. Hyvärinen, T., Herrala, E. and Dall'Ava, A.: Direct sight imaging spectrograph: a unique add-on component brings spectral imaging to industrial applications. Proceedings of IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging: Science and Technology (EI98), San Jose, California, USA, January 25-30. 1998.
16. Imai Francisco H., Rosen Mitchell R., Berns Roy S.: Multi-spectral imaging of van Cogh's self-portrait at the National Gallery of Art, Washington, D.C. Proceedings of IS&T PICS Conference. Society for Imaging Science and Technology, Springfield, Virginia 2001.

17. ImSpector imaging spectrograph user manual. Version 2.1 (May 2000).
http://www.specim.fi/pdf/User_Manual_21.PDF (29.4.2002).
18. ImSpector Spectrograph. <http://www.specimen.fi/imspector.html> (29.4.2002).
19. ImSpector imaging spectrograph.
http://www.specim.fi/pdf/ImSpector_brochure.PDF (29.4.2002).
20. Jääskeläinen T., Silvennoinen R., Hiltunen J., Parkkinen J.P.S.: Classification of the reflectance spectra of pien, spruce and birch. *Applied Optics* 33, 12. 1994.
21. Julius 2/2001. Suomen museoliitto tiedottaa. Helsinki 2001.
22. Jääskeläinen, Timo: Värioppi, luentomoniste. Joensuu 2001.
23. Kaiser, P.K. and Boynton, R.M: *Human Color Vision*, 2nd. ed. Optical Society of America, Washington DC, 1996.
24. Kempel Martin, Sablating Robert: *Color Classification of Archaeological Fragments*. IEEE 2000.
25. Karinen, P., Kohonen, O., Manabe, Y., Parkkinen, J., Jääskeläinen, T.: Measurement for color change of church ceiling painting by cleaning. *Proceedings of the XXXVI annual conference of the finnish physical society*. March 14-16. Joensuu 2002.
26. Kawata, S., Sasaki, K. and Minami, S: Component analysis of spatial and spectral patterns in multispectral images. I. Basis. *Journal Optical Society of America A* 4, 11. 1987.

27. Kulttuurinen tietoyhteiskunta.

http://www.minedu.fi/kulttuurinen_tietoyhteiskunta/ (28.2.2002).

28. Kälviäinen H., Kukkonen S., Hyvärinen T., Parkkinen J: Quality control in tile production. Proceedings, SPIE conference on intelligent Robots and Computer Vision XVII, Boston, Massachusetts, USA, November 2-3. 1998.

29. Levoy Marc: The Digital Michelangelo Project.

<http://graphics.stanford.edu/projects/mich> (8.2.2002).

30. Li Xiangyang, Lu Dongming, Pan Yunhe: Color Restoration and Image Retrieval for Dunhuang Fresco Preservation. IEEE Multimedia, ss. 38-42, April-June 2000.

31. MARC /Methodology for Art Reproduction in Color).

http://ise.stanford.edu/class/psych221/99/khaworth/_marc.htm (8.2.2002).

32. MARC/WISEUM Case Study. <http://www.tasi.ac.uk/resources/ciseum.html> (8.2.2002).

33. Martinez, K., Cupitt, J. and Saunders, D.: High resolution colorimetric imaging of paintings. Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers 1901, ss. 25-36. 1993.

34. Mintzer Fred, Braudaway Gordon W., Giordano Francis P., Lee Jack C., Magerlein Karen A., D'Auria Silvana, Ribak Amnon, Shapir Gil, Schiattarella Fabio, Tolva John, Zelenkov Andrey: Populating the Hermitage Museum's New Web Site. Communications of the ACM. Volume 44, Number 8. August 2001, ss. 52-60.

35. Moore Michelle: Conservation documentation and the implications of digitisation. *Journal of Conservations and Museum Studies*. Issue 7. November 2001, ss. 1-19.
36. Museotietojärjestelmä Musketti.
<http://www.nba.fi/DEVELOP/musketti/dokluet.htm> (6.3.2002).
37. Opetuksen, tutkimuksen ja kulttuurin tietoyhteiskuntaneuvottelukunnan museojaoston raportti. Opetuksen, tutkimuksen ja kulttuurin tietoyhteiskuntaneuvottelukunnan keskustelumuistioita. Numero 10. Helsinki 2000.
38. Orava, Joni: Digitaalikameran värintoisto. Pro gradu –tutkielma. Joensuun yliopisto. Fysiikan laitos. Lokakuu 2001.
39. Oppimisen, luovuuden ja osaamisen Suomi II. Opetuksen, tutkimuksen ja kulttuurin tietoyhteiskuntaneuvottelukunta.
<http://www.minedu.fi/julkaisut/pdf/Oppimisen%20Suomi.pdf> (2.4.2002).
40. Pappas Michail, Pitas Ioannis: Digital Color Restoration of Old Paintings. *IEEE Transactions on image processing*, vol.9, No.2, February 2000, ss. 291-294.
41. Saarelma, H. , Oittinen, P.: *Kuvatekniikan perusteet 842B*. Espoo 1986.
42. Saunders David, Chahine Helen, Cupitt John: Long-term Colour Change Measurement: Some Results after Twenty Years. *National Gallery Technical Bulletin* 17. 1996.
43. Saunders David, Burmester Andreas, Cupitt John, Raffelt Lars: Recent applications of digital imaging in painting conservation: transportation, colour change and infrared reflectographic studies. *Tradition and Innovation: Advances in Conservation*, ed. A. Roy, and P. Smith, IIC, London. 2000.

44. Saunders David: High-quality imaging at the National Gallery: Origins, implementation and applications. *Computers and Humanities* 31. Netherlands 1998.
45. Saunders David, Cupitt John: Image Processing at the National Gallery: The VASARI Project. *National Gallery Technical Bulletin* 14. 1993.
46. Saunders D., Kirby Jo: Light-induced Colour Changes in Red and Yellow Lake Pigments. *National Gallery Technical Bulletin* 15. 1994.
47. Saunders D., Kirby J.: Wavelength-dependent fading of artists' pigments'. *Pre-sentive Conservation: Practice, Theory and Research*, ed. A. Roy and P. Smith. IIC, London 1994.
48. Spring Marika, Penny Nicholas, White Raymond, Wyld Martin: Colour change in the Conversion of the Magdalen attributed to Pedro Campaña. *National Gallery Technical Bulletin*, Volume 22. 2001, ss.54-63.
49. Thorton W. S.: How strong metamerism disturbs color soaces. *Color Research and Application* 23, 6. 1998, ss. 402-407.
50. Uotila, Kari: Digitaalinen dokumentointi rakennusarkeologisessa tutkimuksessa. *Historiallisen ajan arkeologian menetelmät. Museoviraston rakennushistorian julkaisuja* 20. Vantaa 1999.
51. Vasari Magnets Project. <http://www.vasari.co.uk/magnets/>(8.2.2002).
52. Vasari System (Visual Arts System for Archiving and Retrieval of Images). <http://ise.stanford.edu/class/psych221/99/khaworth/vasari.htm> (8.2.2002).
53. Vasari: Visual Arts System for Archiving and Retrieval of Images).

<http://www.ecs.soton.ac.uk/~km/projs/vasari/> (8.2.2002).

54. Vasari UK. <http://www.vasari.co.uk/vasari.htm> (8.2.2002).

55. Wyszecki, G and Stiles, W.S: Color science: Concept and methods, quantitative data and formulae, 2nd. ed. Wiley, New York, 1982.

56. Zheng Jiang Yu: Virtual Recovery and Exhibition of Heritage. IEEE Multimedia, April-June 2000, ss. 31-34.

Näytteiden spektrikuvista valittujen pisteiden x ja y -koordinaatit sekä niiden sisältämien spektrien colors.m –ohjelmalla lasketut L*a*b* -arvot

Tapetti 1-1	X, Y	L*	a*	b*
Aa	153, 435	68.7977	12.6843	44.9077
Ab	118, 432	66.7116	15.8118	46.5880
Ac	117, 440	66.0099	16.4434	48.9960
Ad	153, 443	68.5809	12.6122	40.5021
Ae	175, 427	66.7579	-12.1317	33.9269
Af	175, 448	66.4377	-11.4935	33.2652
Ag	93, 422	65.2342	-11.6129	32.4038
Ah	92, 441	66.1156	-10.4672	31.8877
Ai	175, 369	79.6505	- 7.3755	32.7407
Aj	174, 360	86.8888	-14.3896	32.8496
Ak	174, 352	83.8090	-11.5161	34.6417
Al	91, 361	81.4252	-11.1656	28.1674
Am	90, 353	80.6706	-11.2626	29.4213
An	89, 345	78.5152	- 9.8057	30.0625
Ao	204, 445	73.5566	1.3809	40.6865
Ap	204, 439	69.2922	12.4659	41.7244

tapetti 1-2	X, Y	L*	a*	b*
Ba	139, 446	74.5435	3.4525	43.0327
Bb	139, 442	76.2651	- 1.4315	38.8462
Bc	139, 437	76.8604	- 2.1546	38.2363
Bd	139, 431	70.7921	14.0174	45.0393
Be	142, 368	81.4136	- 9.9867	33.0526
Bf	142, 359	87.9842	-13.7885	31.7075
Bg	142, 351	84.5903	-12.0092	30.0110
Bh	41, 357	92.3532	-16.9388	34.4370
Bi	41, 350	86.9524	-13.2832	32.0484
Bj	41, 341	88.1990	-14.2596	33.9247

tapetti 2	X, Y	L*	a*	b*
Ca	129, 357	70.9613	11.2805	44.0289
Cb	131, 366	69.0338	9.5933	38.9293
Cc	100, 357	72.5167	11.3038	44.5606
Cd	101, 366	68.8740	10.6994	39.6184
Ce	72, 328	71.9405	-14.3317	27.2946
Cf	75, 350	72.3100	-14.1910	30.9758
Cg	77, 378	68.2523	-10.7379	29.3750
Ch	78, 393	65.2378	-12.4290	27.3902
Ci	156, 328	69.0725	1.0529	33.7078
Cj	158, 351	66.1675	2.7087	31.2284
Ck	160, 377	66.1361	1.2214	34.7117
Cl	162, 402	65.1682	1.5998	34.0599
Cm	110, 289	86.5931	-14.4205	29.8079
Cn	110, 280	88.0394	-15.5262	28.9906
Co	110, 272	86.7347	-15.7776	29.1955
Cp	151, 287	71.9992	- 5.2237	32.4218
Cq	151, 278	75.4952	- 6.4080	33.2176
Cr	151, 270	77.7154	- 7.5337	34.4766
Cs	114, 289	86.0510	-14.1466	30.8390
Ct	114, 280	88.0074	-15.6442	29.1669
Cu	114, 271	94.4171	-16.9606	34.0999
Cv	152, 286	77.2856	- 7.1949	34.8651
Cx	152, 278	75.8365	- 6.7260	33.6857
Cy	152, 270	78.1000	- 7.5798	33.7083

Cz	128, 450	73.3053	- 4.7541	30.6844
Coo	128, 441	81.4289	-11.7120	32.8200
Caa	128, 432	82.4814	-13.2666	29.8919
Cab	166, 448	69.3493	- 4.3471	28.4558
Cac	166, 439	75.0520	- 7.1147	29.4512
Cad	166, 430	77.1164	- 8.7115	35.0991

tapetti 3		L*	a*	b*
Da	151, 280	66.3255	9.3967	35.6892
Db	151, 272	63.6577	10.3012	39.7179
Dc	180, 282	63.8653	10.6804	42.3860
Dd	180, 274	65.7019	12.2844	40.9637
De	169, 203	83.6940	-12.5536	32.8608
Df	169, 195	80.2696	-10.0541	32.6540
Dg	169, 186	85.1785	-11.9982	36.7358
Dh	169, 367	81.0513	- 9.7553	29.5731
Di	169, 359	82.0172	-10.5633	30.3918
Dj	169, 350	86.2617	-12.4390	36.1366
Dk	203, 235	74.8635	0.4773	40.4839
Dl	205, 260	75.5498	0.6320	42.1662
Dm	208, 285	74.0216	2.4836	40.0647
Dn	206, 310	72.5422	1.7180	41.4699
Do	121, 230	72.1819	0.7658	39.5656
Dp	121, 255	71.8076	0.4852	40.6004
Dq	121, 281	71.5345	0.4621	34.2482
Dr	121, 307	72.2457	0.9389	41.7037
Ds	164, 203	81.5464	-11.4290	31.9543
Dt	164, 195	78.9273	- 8.5411	31.8426
Du	164, 186	84.4349	-13.0551	33.9510
Dv	164, 367	78.3771	- 8.1198	29.0054
Dx	164, 358	84.9039	-12.3643	34.2689
Dy	164, 350	84.4046	-12.3980	34.8911

tapetti 4		L*	a*	b*
Ea	125, 322	73.9509	-10.8665	36.8845
Eb	153, 325	74.9974	-10.7791	34.9448
Ec	158, 398	69.9021	- 9.4429	30.3221
Ed	131, 398	68.4301	- 8.7286	30.4045
Ee	133, 352	68.5176	13.0107	45.5438
Ef	134, 379	69.4952	10.1477	42.6204
Eg	108, 379	70.2444	8.0898	42.9618
Eh	194, 275	89.9009	-11.5294	38.1758
Ei	192, 248	80.6806	- 6.9705	34.5040
Ej	188, 416	82.9726	-10.3357	33.9836
Ek	238, 415	83.5376	-10.0939	38.6619
El	168, 130	74.1933	- 6.3522	26.9404
Em	220, 127	72.1286	- 4.6174	30.5403

tapetti 5		L*	a*	b*
Fa	69, 248	76.0119	- 9.2971	24.6403
Fb	187, 256	79.3749	- 9.0548	30.0540
Fc	146, 222	77.5729	- 9.8718	27.7547
Fd	210, 156	73.4041	- 7.8116	27.0132
Fe	109, 229	66.1660	0.3088	27.5597
Ff	237, 199	69.4981	0.0023	31.9654

tapetti 6		L*	a*	b*
Ga	151, 393	60.0284	- 6.4285	24.5753
Gb	145, 419	58.8672	- 5.6028	22.9211
Gc	192, 416	60.0037	- 8.3963	20.6690

Gd	225, 421	53.8054	- 9.1550	16.4325
Ge	168, 464	61.4154	-10.7839	19.0180
Gf	196, 474	53.0301	- 7.7855	14.3358

tapetti 8		L*	a*	b*
Ha	127, 221	71.6086	- 5.4652	30.6711
Hb	130, 262	68.5321	- 4.2821	28.5205
Hc	144, 303	67.4608	- 4.5032	26.7951
Hd	160, 214	58.1934	9.0811	27.5660
He	184, 301	56.6626	9.8726	26.6072

tapetti 11		L*	a*	b*
Ia	51, 298	59.3243	- 2.9161	- 1.8553
Ib	51, 326	58.6315	- 3.5400	0.5265
Ic	51, 349	57.8974	- 3.5082	5.7356
Id	59, 263	65.2599	- 2.4154	4.9562
Ie	51, 334	88.1701	-16.9935	31.3482
If	126, 297	67.5324	- 0.9347	2.5706
Ig	126, 326	66.4305	- 3.4121	1.0178
Ih	126, 349	63.4486	- 2.7076	- 0.1499
Ii	137, 264	70.3170	- 4.1041	7.6108
Ij	126, 336	97.3135	-17.2290	31.1065
Ik	202, 298	62.1218	- 1.9571	1.5479
Il	202, 326	89.2413	0.1043	- 2.5096
Im	202, 353	55.6133	- 1.0791	- 4.2678
In	211, 266	60.6297	- 3.0658	1.8489
Io	202, 336	89.2413	-16.4175	32.6276

Vihreä liivi 2		L*	a*	b*
Ja	111, 288	47.7740	- 1.9984	- 4.9950
Jb	144, 459	48.2975	- 1.4221	- 4.6233
Jc	151, 115	63.8465	- 0.0278	11.2237
Jd	172, 316	50.0178	- 9.3161	3.9220
Je	173, 236	48.5617	- 1.5602	- 8.8774
Jf	217, 308	48.7731	- 5.2578	- 3.8622
Jg	235, 236	48.5252	2.9950	-10.6520
Jh	241, 130	64.7693	- 1.9017	15.9966
Ji	63, 332	50.0592	- 3.8360	- 3.7880

Vihreä liivi 3		L*	a*	b*
Ka	146, 277	63.8820	- 1.4005	11.0622
Kb	152, 310	49.5113	- 2.8062	- 4.2246
Kc	154, 200	51.1924	1.8320	-12.3294
Kd	156, 240	63.3095	2.3094	7.3038
Ke	38, 311	59.4665	- 2.0721	13.7689
Kf	74, 324	61.4817	- 0.6317	10.3089
Kg	87, 281	48.0949	- 0.0190	- 8.9518

Punainen ha- me		L*	a*	b*
La	138, 319	50.5792	43.5275	17.0206
Lb	150, 98	71.4322	14.0429	25.4818
Lc	211, 101	73.0640	13.0825	38.2210
Ld	215, 241	54.1613	42.1475	19.3812
Le	62, 100	72.8635	15.3648	41.9035
Lf	68, 162	57.2986	43.6760	21.8860
Lg	70, 347	53.8029	46.8766	17.0375

Madonna		L*	a*	b*
ma1	102, 441	71.9634	- 6.9014	21.3505
ma2	110, 149	57.3492	25.2531	21.4483
ma3	143, 566	64.7632	-12.4945	15.8322
ma4	183, 593	103.0419	5.0822	58.6190
ma 5	206, 105	113.4561	- 6.9770	57.2681
ma6	206, 164	68.7525	-13.3662	17.5680
ma7	264, 602	109.5236	0.6046	52.3338
ma8	266, 450	127.5844	-11.4281	58.2642
ma9	274, 514	118.3047	- 6.6319	56.6981
ma10	32, 109	93.3291	2.4909	49.7809
ma11	379, 120	63.5964	-11.9231	6.9822
ma12	392, 466	110.8871	-16.6153	37.1150
ma13	67, 220	57.1773	- 8.8086	17.1882

Violetti 1		L*	a*	b*
Oa	92, 248	68.4434	24.2637	- 7.7329
Ob	107, 248	81.2971	19.1052	- 3.3598
Oc	128, 248	73.9514	17.1444	- 2.6063
Od	138, 248	75.1190	16.5185	- 1.9921
Oe	148, 166	82.5921	21.9306	- 0.7793
Of	183, 166	83.7579	18.4733	- 0.1406
Og	208, 166	88.4231	14.9748	- 1.8756
Oh	20, 332	57.4124	24.3329	- 7.5068
Oi	65, 332	63.2062	18.8321	- 6.6954
Oj	85, 332	69.3380	17.1980	- 1.2335
Ok	108, 332	86.3907	14.9567	0.3634
Ol	132, 332	70.8966	20.5984	- 2.3546
Om	165, 332	90.3358	12.3475	- 0.2346
On	187, 332	71.2866	16.1898	- 5.4230
Oo	235, 332	58.2365	18.9814	0.4427

Violetti 2		L*	a*	b*
Pa	40, 40	83.4796	13.7451	- 2.7451
Pb	61, 40	61.8196	15.4782	- 5.5380
Pc	95, 40	74.1932	16.8198	- 6.7280
Pd	133, 40	86.4639	11.8804	- 3.9404
Pe	173, 40	70.4987	11.9284	- 9.3200
Pf	222, 40	85.8439	9.2019	- 4.0985
Pg	20, 280	69.7995	15.4796	- 3.3590
Ph	55, 280	73.2695	13.6424	- 3.1999
Pi	108, 280	92.5535	8.7024	- 0.6821
Pj	201, 280	93.3512	7.5144	1.4866
Pk	239, 280	46.3104	12.4927	-13.0245

Kirkko2		L*	a*	b*
Qa	49, 521	92.7910	-10.3258	26.0350
Qb	70, 492	86.6867	- 4.3283	44.7836
Qc	194, 564	74.3967	2.2815	29.4563
Qd	169, 518	72.6190	- 5.8909	27.0626
Qe	186, 428	84.7347	- 8.3511	27.9414
Qab	49, 521	104.2045	-17.3418	26.8139
Qbb	70, 492	94.3166	- 9.2975	46.0803
Qcb	194, 564	85.1628	- 2.4602	31.1098
Qdb	169, 518	81.8565	- 7.2028	30.2184
Qeb	186, 428	99.1242	-14.3598	28.7639

Kirkko3		L*	a*	b*
Ra	144, 261	62.1732	- 8.2471	15.3467

Rb	49, 259	59.6402	- 9.5906	17.1332
Rc	44, 313	58.1116	-14.3125	12.0507
Rd	174, 350	51.3791	- 9.0421	6.3514
Re	227, 380	54.0068	-10.3237	14.1026
Rf	205, 283	53.2788	-13.7237	4.2709
Rab	144, 261	83.9863	-15.2238	26.7530
Rbb	49, 259	81.0283	-14.2839	22.7418
Rcb	44, 313	59.2898	-13.0238	12.6483
Rdb	174, 350	59.1598	-12.4609	12.6132
Reb	227, 380	57.0373	-12.6783	18.6222
Rfb	205, 283	56.4277	-17.6269	12.9036
Vihreä liivi		L*	a*	b*
1				
Sa	54, 238	48.0186	- 2.8440	1.4551
Sb	103, 243	45.3349	- 5.3450	6.1169
Sc	162, 254	50.1131	-14.5851	12.1642
Sd	193, 211	48.9026	- 5.1643	6.8362
Se	134, 160	48.4655	- 1.2440	- 5.6441
Sf	63, 171	44.7346	- 6.0930	8.1481
Sg	186, 393	47.9971	- 4.3198	6.7303
Sh	131, 60	59.9814	0.5732	14.5732
Kengät 1		L*	a*	b*
Ta	106, 272	61.4793	27.1448	-13.0507
Tb	227, 222	65.9905	17.9295	- 6.0761
Tc	234, 256	82.4523	11.1048	- 1.7420
Td	27, 197	85.7876	8.0844	2.1408
Te	50, 221	67.1674	23.2118	- 6.4543
Kengät 2		L*	a*	b*
Ua	121, 271	55.8323	24.1259	-18.0199
Ub	13, 235	63.0941	13.4529	- 5.6617
Uc	138, 169	70.4034	13.1533	4.0470
Du	172, 223	46.2757	18.8677	-21.7018
Ue	5, 261	72.9284	10.9312	- 3.1767
Kengät 3		L*	a*	b*
Va	130, 275	49.9918	24.4510	-20.0241
Vb	174, 233	59.3801	26.3887	-17.1081
Vc	19, 258	64.4004	13.9157	- 7.6799
Vd	20, 270	79.2136	14.4351	- 3.6775
Ve	87, 188	68.3177	17.7273	- 5.6677
Kengät 4		L*	a*	b*
Xa	141, 186	57.8975	25.3504	-18.7889
Xb	168, 151	67.9527	44.1209	16.6368
Xc	172, 104	76.5783	10.1629	4.3341
Xd	188, 210	64.1949	29.7302	-15.4020
Xe	35, 206	62.5544	24.6746	-10.1994
Xf	51, 185	72.0449	20.4334	- 8.0008
Xg	61, 105	81.8057	7.4281	5.5879
Xh	67, 150	73.9738	19.2559	- 6.8968

```
% Värieron eli (delta)E:n laskeminen
% Pirjo Karinen ja Oili Kohonen, lokakuu 2002

% Tämä ohjelma laskee värieron eli (delta)E:n.
% Matriisissa nimeltä <matriisi> on riveittäin näytteiden Lab-arvot, jotka on saatu
% colors.m -ohjelmalla.
% Näyte1 ja näyte2 vastaavat niitä näytteitä, joiden välinen väriero halutaan laskea

% function variero=variero(matriisi,näyte1,näyte2)

function variero=variero(matriisi,n1,n2)
variero=sqrt((matriisi(n1,1)-matriisi(n2,1))^2 ...
+(matriisi(n1,2)-matriisi(n2,2))^2+(matriisi(n1,3)-matriisi(n2,3))^2)
```