

TITANIDIOKSIDIN VAIKUTUS
VAAHDOTETUN PVC-PROFIILIN
OMINAISUUKSIIN

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Muovitekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyö
Kevät 2011
Emma Roos

Lahden ammattikorkeakoulu
Muovitekniikan koulutusohjelma

ROOS, EMMA: Titaanidioksidin vaikutus vaahdotetun PVC-profiilin ominaisuuksiin

Muovitekniikan opinnäytetyö, 49 sivua, 2 liitesivua

Kevät 2011

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää titaanidioksidipigmenttien vaikutusta vaahdotetun PVC-profiilin ominaisuuksiin. Työ tehtiin muoviprofiileita valmistavan Viamont Oy:n toimeksiantona. Tutkimukset suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alan muovi- ja puutekniikan laboratorioissa.

Työn teoriaosuudessa perehdyttiin PVC:hen raaka-aineena, väriin käsitteenä sekä sen ilmaisemiseen numeerisesti erilaisten värijärjestelmien avulla. Teoriaosuudessa käsiteltiin myös muovien värjäämistä ja väriaineita. Erityisesti perehdyttiin pigmenttivärjäykseen sekä titaanidioksidipigmentteihin.

Työn tutkimusosuudessa tutkittiin titaanidioksidin vaikutusta vaahdotetun PVC-profiilin ominaisuuksiin. Viamont Oy valmisti viidestä koemassasta koekappaleprofiileita, joita työssä testattiin. Yksi koemassoista ei sisältänyt lainkaan titaanidioksidipigmenttiä, ja muut koemassat sisälsivät eri määrät titaanidioksidia. Muiden pigmenttien määrät olivat kaikissa koemassoissa samat.

Tutkittavia ominaisuuksia olivat muodostuva väri ja sen pysyvyys UV-säteilylle altistettuna. Lisäksi tutkittiin pigmenttimäärän kasvun vaikutuksia iskulujuuteen ja sitä, säilyttääkö runsaasti titaanidioksidia sisältävä profiili paremmin iskulujuutensa UV-säteilylle altistettuna kuin vähän titaanidioksidia sisältävä profiili. Myös titaanidioksidin määrän vaikutusta profiilin pituussuuntaiseen muodonpysyvyyteen tutkittiin.

Tuloksissa havaittiin titaanidioksidin määrän vaikuttavan kaikkiin muihin tutkittuihin ominaisuuksiin, paitsi pituussuuntaiseen muodonpysyvyyteen. Muodonpysyvyyteen näytti vaikuttavan ainoastaan se, onko massassa titaanidioksidia vai ei. Titaanidioksidin vaikutukset tutkittuihin ominaisuuksiin eivät olleet yksiselitteisiä, useissa testeissä havaittiin poikkeuksia trendistä. Kaikista vaikutuksista ei siis voitu tehdä varmoja johtopäätöksiä. Tietyllä titaanidioksidipitoisuudella todettiin olevan merkittävä vaikutus muodostuvaan väriin.

Avainsanat: polyvinyylidikloridi, titaanidioksidi, pigmentit, pigmenttivärjäys, väri, värijärjestelmät

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

ROOS, EMMA: Influence of titanium dioxide on foamed PVC profiles

Bachelor's Thesis in Plastics Engineering, 49 pages, 2 appendices

Spring 2011

ABSTRACT

The aim of this thesis was to examine the influence of titanium dioxide on foamed PVC profiles. The study was an assignment from Viamont Oy, a company manufacturing plastic profiles. All tests were made in the Faculty of Technology in Lahti University of Applied Sciences.

In the theory section of the thesis PVC, color as a concept and various types of color systems were studied. Coloring of plastics and colorants used in plastics were also explored. The focus was on pigment dyeing and titanium dioxide pigments.

In the practical section the influences of titanium dioxide were examined. Viamont Oy manufactured sample profiles from five different test mixes. One of the test mixes did not contain titanium dioxide and four other test mixes contained different amounts of titanium dioxide pigments. The amounts of other pigments were the same in every test mix.

The characteristics examined in the thesis were the color and its UV lightfastness. Impact strength was also tested to see how pigment volume affects it. Impact strength tests were made for samples exposed and samples not exposed to UV radiation, to see if titanium dioxide weakens the effect of UV radiation. Axial shrinkage was also tested.

The results of the study show that the amount of titanium dioxide affects all examined characteristics, except axial shrinkage. In the axial shrinkage test the only cautious conclusion was that if there is no titanium dioxide in the mix, axial shrinkage is lesser. No effects on the characteristics were absolute. In many results there were exceptions from the trend. Because of the exceptions, the conclusions were not absolutely definite. It was remarkable how much titanium dioxide affected the color when the sample had a specific content titanium dioxide.

Key words: polyvinylchloride, titanium dioxide, pigments, pigment dyeing, color, color systems

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	VIAMONT OY	2
3	POLYVINYYLIKLOORIDI ELI PVC	3
3.1	PVC:n ominaisuudet	3
3.1.1	PVC:n käyttökohteet	4
3.2	PVC:n lisäaineet	4
4	ULKONÄKÖ	6
5	VÄRI	7
5.1	Valo	8
5.2	Kohde	11
5.3	Havaittaja	12
6	VÄRIN MITTAAMINEN	14
6.1	Värien ominaisuudet	14
6.2	Munsellin värijärjestelmä	15
6.3	Y_{xy} -väriavaruus	16
6.4	Lab-väriavaruus	17
7	MUOVIEEN VÄRJÄYS	19
7.1	Liuosvärit	19
7.2	Pigmentit	20
7.2.1	Pigmenttien ominaisuuksia	20
7.2.2	Orgaaniset pigmentit	21
7.2.3	Epäorgaaniset pigmentit	22
8	TITANIDIOKSIDIPIGMENTIT	24
9	TUTKITTAVAT MATERIAALIT	26
10	TUTKIMUKSET	27
10.1	Muodostuva väri	27
10.2	UV-A-testi	27
10.3	Iskukoe	28
10.4	Pituussuuntainen muodonpysyvyys	29
11	TULOKSET JA PÄÄTELMÄT	30

11.1	Muodostuva väri	30
11.2	UV-A-testi	33
11.3	Iskulujuus	37
11.4	Pituussuuntainen muodonpysyvyys	41
12	YHTEENVETO	44
	LÄHTEET	46
	LIITTEET	49

1 JOHDANTO

Käsite väri on jokaiselle ihmiselle tuttu ja jokapäiväinen asia. Asiakkaan haluan värin aikaansaaminen on kuitenkin muoviteollisuudelle tärkeä ja usein vaikeakin asia. Muovit ovat värjäämättöminä usein hyvin epämiellyttävän värisiä, joten muovin värjääminen on monien tuotteiden kohdalla välttämätöntä.

Tässä työssä tutkitaan titaanioksidin vaikutusta vaahdotetun PVC-profiilin ominaisuuksiin. Työssä tutkittavia ominaisuuksia ovat muodostuva väri, UV-säteilyn vaikutus värinkeston ja iskulujuuden säilymiseen sekä profiilin muodonpysyvyys. Työ on tehty Viamont Oy:n toimeksiantona. Viamont Oy valmistaa monipuolisesti profiilituotteita kovasta, pehmitetystä ja vaahdotetusta PVC:stä sekä ABS-muovista. Yrityksen valmistamat tuotteet soveltuvat myös ulkokäyttöön, joten titaanioksidi on tärkeä osa yrityksen muoviprofiileita. Viamont Oy pystyy tutkimuksen avulla kehittämään väriominaisuuksiltaan parempia tuotteita sekä uusia tuotevärejä kehittäessä arvioimaan titaanioksidipigmentin määrän vaikutusta muiden pigmenttien ilmenemiseen tuotteessa.

Työssä käsitellään tuotteen ulkonäköä ja erityisesti väriä. Värin lisäksi työssä perehdytään muovien värjäämiseen sekä erilaisiin väriaineisiin. Väriaineiden osalta perehdytään pigmentteihin, erityisesti titaanioksidipigmentteihin. Työssä tutustutaan myös erilaisiin värijärjestelmiin, jotka helpottavat värin ilmaisemista esimerkiksi asiakkaalle.

Työtä varten Viamont Oy valmisti yhtenevillä ajoarvoilla viidestä eri koemassasta koekappaleita, joita tässä työssä testataan. Kaikki koemassat sisältävät eri määrän titaanioksidia. Muiden pigmenttien määrä koemassoissa on sama. Näin titaanioksidin määrästä saadaan, pigmenttien kokonaismäärän lisäksi, ainoa muuttuva tekijä.

2 VIAMONT OY

Viamont Oy on vuonna 1993 perustettu, Heinolassa toimiva yritys, joka valmistaa ulko- ja sisäkäyttöön soveltuvia viimeistelylistoja. Muoviprofiileja tehdään rakennusteollisuudelle Suomen, Venäjän, Ruotsin ja Baltian markkinoille. Yrityksen erikoisosaamista on yhdistelmäprofiilien valmistaminen. (Viamont Oy 2011b.)

Muoviprofiilien etu rakennuslistoina on se, että esimerkiksi puulistat reagoivat kosteuden vaihteluun huomattavasti voimakkaammin kuin muovilistat. Lisäksi kaikki Viamont Oy:n valmistavat profiilit ovat läpivärjättyjä, joten kolhut listoissa eivät näy värivirheinä. (Viamont Oy 2011a.)

Viamont Oy:llä on 7 valmistuslinjaa ja yritys työllistää 12 henkeä (Viamont Oy 2011b). Tuotteet valmistetaan kovasta, pehmitetystä ja vaahdotetusta PVC:stä sekä ABS-muovista. Yrityksen tuotteita käytetään uudisrakennuksissa ja saneerauskohteissa sekä betoni-, ikkuna- ja ovivalmisteissa. Kaikki yrityksen valmistamat tuotteet ovat säänkeston parantamiseksi UV-A-stabiloituja. (Viamont Oy 2011a.) Yrityksen tuotevalikoimaan kuuluvat säänkestävät standardiprofiilit, yrityksen oman malliston profiilit sekä asiakaskohtaiset räätälöidyt erikoisprofiilit (Viamont Oy 2011b).

3 POLYVINYYLIKLOORIDI ELI PVC

PVC on vanhin kestopuovi, joka keksittiin jo vuonna 1912 (Järvinen 2008, 48). PVC koostuu hiilestä, vedystä ja kloorista. Se syntyy kaasumaisen aineen, vinyylidikloridin, polymeroitessa vapaaradikaali-initiaattoreiden vaikutuksesta. PVC luetaan amorfisiin muoveihin, sillä sen kiteisyysaste on matala, vain 5–10 %. PVC on kovaa muovia, mutta 0 °C:n alapuolella haurasta. Sen lasittumislämpötila on 70–80 °C. (Seppälä 2008, 184–186.)

Teollisuudessa PVC:tä polymeroidaan kolmella eri menetelmällä ja polymeerit jakautuvat eri tyypeiksi valmistusmenetelmän mukaan: PVC-E eli emulsiopolymeeri, PVC-S eli suspensiopolymeeri ja PVC-M eli massapolymeeri. PVC-S on käytetyin tyyppi. Se soveltuu hyvin kaapelin- ja putkenvalmistukseen. (Järvinen 2008, 29.)

PVC:n soveltuvuutta erilaisten tuotteiden valmistukseen voidaan ilmaista polymeerin K-arvolla. K-arvo on luku, joka kuvaa PVC:n molekyylipainoa. Peruspolymeerien yleisimmät K-arvot ovat 58–70. (Järvinen 2008, 49.) Pienimmän K-arvon polymeerit, K-arvo 55–60, ovat suhteellisen helposti muovattavissa, ja niitä käytetään kovien muotokappaleiden ja kalvojen valmistukseen. Lujemmista polymeereistä, K-arvo 60–80, valmistetaan putkia ja levyjä sekä pehmitettyinä profiileja, letkuja, kalvoja ja kaapelinpinnoituksina. (Seppälä 2008, 186–187.)

3.1 PVC:n ominaisuudet

PVC:llä on runsaasti hyviä ominaisuuksia, joiden ansiosta sen käyttösektori on hyvin laaja. Koska kolmea eri peruspolymeerityyppiä voidaan muokata tarkoitukseenmukaisilla pehmitin- ja lisäaineilla hyvin laajasti, ovat ominaisuudet hyvin monimuotoisia. PVC:stä valmistettuja kappaleita voikin olla hyvin vaikea tunnistaa PVC-tuotteiksi. PVC-tuotteet voivat olla kovia, pehmeitä tai vaahdotettuja, lasinkirkkaita ohuita kalvoja tai jäykkiä putkia. PVC:n paras tunnistuskeino on palaessa syntyvä suolahapon haju. (Järvinen 2008, 50–51.)

PVC:n yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on hyvä kemikaalien kesto. PVC kestää erinomaisesti useimpia kemikaaleja: happoja, hapettavia aineita, halogeeneja, vettä, suolaliuoksia sekä alifaattisia hiilivetyjä. Aromaattisten ja kloorattujen hiilivetyjen sekä estereiden kestävyys PVC:llä on kuitenkin huono. Toinen merkittävä ominaisuus PVC:llä on sen palamattomuus. PVC sisältää runsaasti klooria eikä tästä syystä ylläpidä palamista. (Seppälä 2008, 185–186.)

3.1.1 PVC:n käyttökohteet

PVC:tä käytetään runsaasti rakennusteollisuudessa. Sillä on useita rakennusteollisuuteen sopivia ominaisuuksia, kuten jäykkyys, sitkeys ja ulkoilmakestävyys. Suurin käyttökohde Suomessa ovat erilaiset putket ja letkut. Lisäksi PVC:stä valmistetaan tavarapeitteitä, profiileita mm. ikkunakehyksiin sekä sähköjohtojen ja sähkökaapeleiden suoja-innoitteita. (Järvinen 2008, 51.)

Rakennusteollisuuden lisäksi PVC:tä käytetään käyttöesineissä, kuten sadevaatteissa sekä erilaisissa vapaa-ajan tuotteissa, myös niin sanottu keinonahka on yleensä PVC:tä. PVC soveltuu hyvin myös nestemäisten tuotteiden läpinäkyviin pakkauksiin. Esimerkiksi sairaalan hygieniatuotteissa, kuten letkuissa, veripusseissa ja suojakäsineissä PVC on yleisin läpinäkyvä materiaali. (Järvinen 2008, 51.)

3.2 PVC:n lisäaineet

PVC:hen on lisättävä ennen prosessointia tiettyjä lisäaineita. Erilaiset stabilisaattorit eli vanhenemisenestoaineet ovat PVC:lle välttämättömiä. PVC alkaa hajota ja kehittää kloorivetyä yli 100 °C:n lämpötilassa, joten siihen on ennen prosessointia lisättävä lämpövanhenemisenestoaineita, lämpöstabilisaattoreita. Lämpöstabilisaattoreina käytetään metallioksidgeja, heikkojen happojen metallisuoloja, organotinayhdisteitä, epoksoituja kasviöljyjä ja orgaanisia emäksiä, jotka sitovat kloorivedyn. Lämpöstabilisaattoreiden määrä voi nousta muovissa muutamiin prosentteihin. (Seppälä 2008, 118, 186.)

Myös valo ja ilmassa oleva happi vaikuttavat PVC:hen aiheuttaen polymeeriketjujen hajoamista. Tätä hajoamista voidaan estää hapettumisenestoaineilla eli antioksidanteilla. Yleisimmin käytettyjä antioksidanteja ovat substituoidut fenolit ja aromaattiset amiinit. (Seppälä 2008, 119, 186).

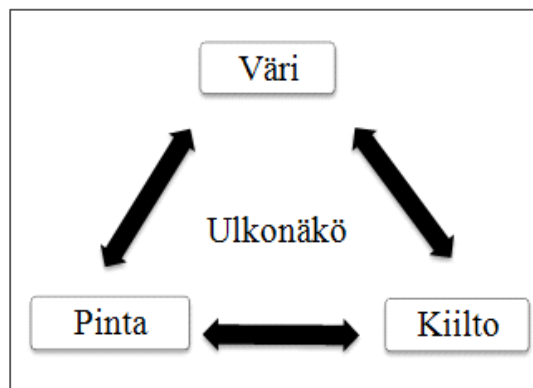
Stabilisaattorien lisäksi PVC:hen on lisättävä voiteluaineita, joilla vaikutetaan PVC:n sulamisominaisuuksiin sekä parannetaan sulajuoksevuuutta. Ilman voiteluaineita PVC sulaa hallitsemattoman nopeasti ja sula muovi virtaa liian jähmeästi. Voiteluaine pienentää PVC-hiukkasten välistä kitkaa ja vähentää PVC:n tarttumista kuumiin metallipintoihin. Yleinen voiteluaine on lyhytketjuinen PE eli ns. PE-vaha. (Järvinen 2008, 53.)

PVC:n taipuisuutta ja kovuutta voidaan säädellä erilaisilla pehmittimillä. Perinteisiä pehmittimiä ovat erilaiset ftalaatit. Ftalaateista yleisin on DOP (myös DEHP) eli di-2-etyyliheksyyliftalaatti, jolla on hintaansa nähden hyvät tekniset ominaisuudet. Viime vuosina ftalaattien käyttöä on alettu rajoittaa niiden haittavaikutusten takia. Euroopan alueella ei enää nykyisin hyväksytä ftalaattipohjaisia pehmittimiä leluihin, sairaalatarvikkeisiin tai elintarvikepakkauksiin. (Järvinen 2008, 54.)

Koska ftalaattipehmittimien käyttöä on Euroopassa alettu rajoittaa, on adipaattien käyttö pehmittimenä lisääntynyt. Leikkikalujen ja elintarvikepakkausten valmistukseen käytettävät sekoitteet pehmitetään nykyään yleisimmin DOA:lla eli dioktyyliadipaattilla. DOA:ta käytetään pehmittimenä myös sovelluksissa, joissa tuotteelta vaaditaan alhaista käyttölämpötilaa. Pakkasta kestävä tuote saadaan myös sebasaattien ja azelaattien avulla. (Järvinen 2008, 55.)

4 ULKONÄKÖ

Väri on yksi keskeisimmistä ulkonäköön vaikuttavista asioista ja on tärkeä lähes kaikissa tuotteissa. Väri auttaa ihmisiä tunnistamaan ja erottamaan tuotteita toisistaan, se vaikuttaa myös ihmisten ostopäätöksiin. Väri on kuitenkin vain yksi tekijä tuotteen ilmeisyydessä ja ulkonäössä. Ulkonäköön voidaan ajatella vaikuttavan kolme tekijää, jotka yhdessä aikaansaavat tuotteen lopullisen ulkonäön. (Zeus Industrial Products Inc. 2005.) Tekijät on esitelty kuviossa 1.



KUVIO 1. Tuotteen ulkonäköön vaikuttavat tekijät

Väri saattaa tuntua yksinkertaisimmilta ulkonäköön vaikuttavista tekijöistä. Todellisuudessa oikean, halutunlaisen värin aikaansaaminen ei kuitenkaan ole helppoa. Se vaatii tietoa värjämisestä sekä värin käyttäytymisestä värjättävässä materiaalissa tai pinnassa. (Zeus Industrial Products Inc. 2005.)

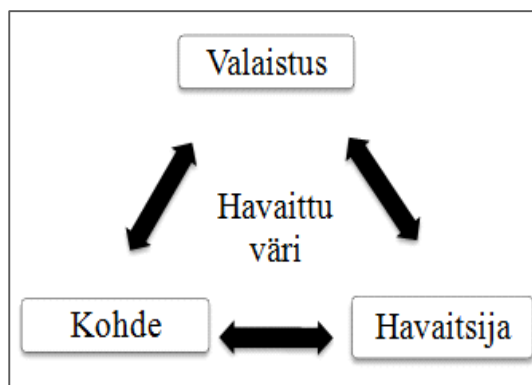
Kiilto vaikuttaa siihen, miltä tuote näyttää erilaisissa valaistuksissa. Tavallisesti korkeakiiltoinen pinta näyttää tummemmalta kuin mattapintainen. (Zeus Industrial Products Inc. 2005.)

Pinta ja sen rakenne, mahdolliset kuvioinnit ja virheet, vaikuttavat pinnan kiiltoon ja siten myös havaittuun väriin. Ihmissilmä erottaa helpommin värierot tasaisessa, sileässä pinnassa kuin rosoisella ja karhealla pinnalla. (Zeus Industrial Products Inc. 2005.)

5 VÄRI

Väri saattaa olla yksi hankalimmista asioista, joita tuotteen valmistaja joutuu pohtimaan. Tuotteet, joilla on nimellisesti sama väri, saattavat olla hyvinkin erinäköisiä, mikäli muita ulkonäköön vaikuttavia seikkoja ei ole otettu huomioon. Esimerkiksi kahden eri materiaalia olevan tuotteen saaminen samanvärisiksi voi olla todella vaikea, ellei jopa mahdoton, tehtävä. Materiaalin vaikutuksen lisäksi on otettava huomioon pinnan ja kiillon vaikutukset väriin. Jotta tuotteita voidaan oppia värjäämään menestyksekkäästi, on oltava perustietoa värin muodostumisesta. (Zeus Industrial Products Inc. 2005.)

Väri ei ole absoluuttinen, riippumaton ominaisuus. Havaittuun väriin vaikuttaa kolme tekijää: valaistus, kohde sekä havaitsija. (Zeus Industrial Products Inc. 2005.) Väriin vaikuttavat tekijät on esitetty kuviossa 2.

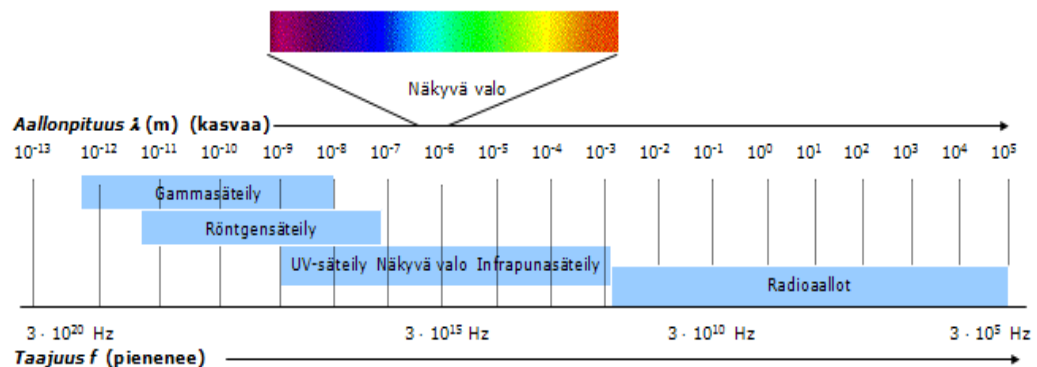


KUVIO 2. Havaittuun väriin vaikuttavat tekijät

5.1 Valo

Ilman valoa ei voi nähdä väreitä. Tästä syystä valo vaikuttaa havaittuun väriin merkittävästi. Valo on se, mikä valaisee kappaleen, jota katsotaan. (Mathew & Hanlin 2004, 5.)

Valo on sähkömagneettisen spektrin ihmissilmällä nähtävä osa. Sähkömagneettinen spektri käsittää näkyvän valon lisäksi myös radioaallot, mikroaallot, infrapunasäteilyä, ultraviolettisäteilyä, röntgensäteilyä ja gammasäteilyä. Sähkömagneettinen spektri on esitetty kuviossa 3. Ihmissilmä voi havaita sähkömagneettisen säteilyä, jonka aallonpituus on noin 380–780 nm. Tätä aallonpituusaluetta kutsutaan näkyvän valon alueeksi. Näkyvän valon alue on se, joka vaikuttaa havainnointiimme. (Mathew & Hanlin 2004, 5.)

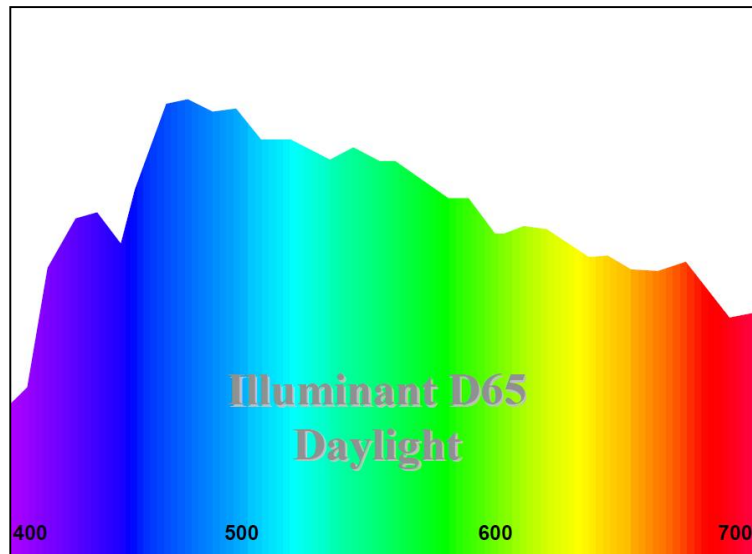


KUVIO 3. Sähkömagneettinen spektri (Opetushallitus 2011)

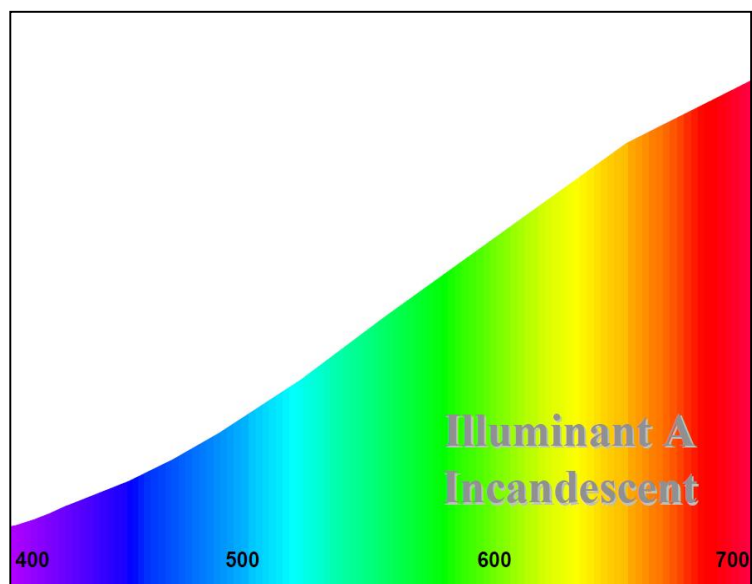
Näkyvästä valosta voidaan erotella aallonpituuksien mukaan eri väreitä. Lyhyen aallonpituuden valo näkyy sinisenä tai violetina. Aallonpituuden kasvaessa väri muuttuu vihreäksi, keltaiseksi, oranssiksi ja punaiseksi. Säteily, joka sisältää kaikki näkyvän valon aallonpituudet, havaitaan valkoisena. (Mathew & Hanlin 2004, 5–6.)

Loistelampun valossa väri näyttää erilaiselta kuin hehkulampun valossa ja molemmat väreit ovat eri värejä kuin päivänvalossa havaittava väri. Ilmiö johtuu siitä, että valonlähteet lähettävät spektrijakautumaltaan erilaisia valoja. Eri aallonpi-

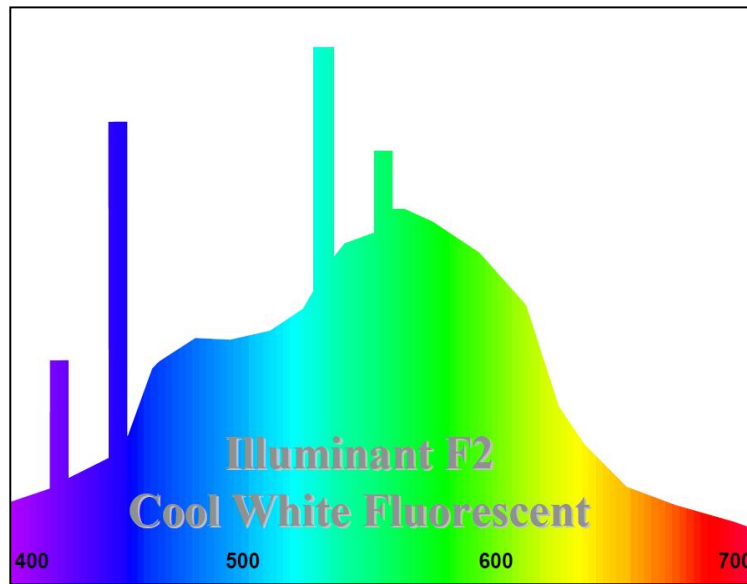
tuuksien suhteellinen osuus kokonaissäteilystä muuttuu valonlähteen mukaan. (Rihlma 1992, 19.) Kuvioissa 4–6 on esitetty eräiden standardivalonlähteiden spektrijakaumat. Kuvioissa koordinaatiston vaaka-akselilla on eri sävyjä vastaavat aallonpituudet ja pystyakselilla kunkin sävyalueen suhteellinen osuus kokonaissäteilystä.



KUVIO 4. Päivänvalostandardi D65 mukaisen valonlähteen spektrijakauma (Parikka 2008)

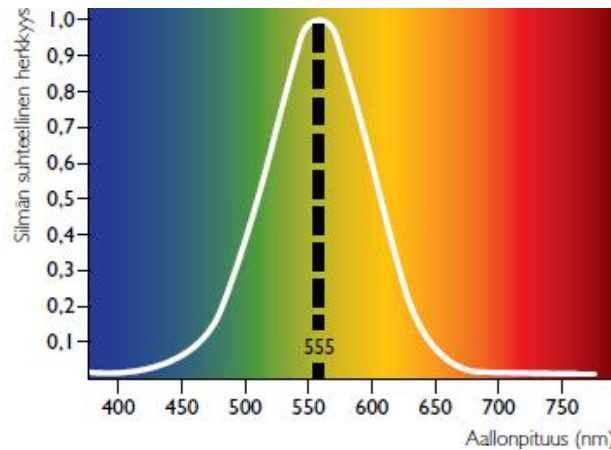


KUVIO 5. Hehkulamppustandardi A mukaisen valonlähteen spektrijakauma (Parikka 2008)



KUVIO 6. Loisteputkistandardin F mukaisen valonlähteen spektrijakauma (Parikka 2008)

Kuten kuviosta 4 nähdään, on päivänvalo jonkin verran sinivoittoista. Kuviosta 5 taas on nähtävissä, että hehkulampun valo on erittäin punavoittoista ja sisältää vain hyvin vähän sinivioletteja aallonpituuksia. Loisteputken valo (kuvio 6) sisältää usein vihertävänkeltaista säteilyä selvästi muita sävyalueita enemmän. Ihmissilmän herkkyys (kuvio 7) on suurimmillaan tällä vihreän ja keltaisen valon aallonpituudella 555 nm (Philips 2007). Tämän seurauksena loisteputkesta koetaan saatavan tilaan paljon valoa edullisesti. Loisteputken valossa värinerottelukyky kuitenkin heikkenee huomattavasti, sillä säteily sisältää joitakin sävyalueita hyvin niukasti. (Rihloma 1992, 19–20.)



KUVIO 7. Ihmissilmän valonherkkyttä kuvaava käyrä (Philips 2007)

5.2 Kohde

Kohde on toinen havaittuun väriin vaikuttava tekijä. Kohdatessaan pinnan valonsäteet voivat joko imeytyä siihen (absorptio) tai jatkaa kulkuaan (transmissio). Transmission tapauksessa valonsäteet voivat joko läpäistä pinnan tai heijastua siitä. Absorptio, heijastus ja läpäisy voivat olla erillisiä, rinnakkaisia tai osittaisia ilmiöitä. (Rihlma 1992, 15.)

Läpäisyssä valo kulkee pääasiallisesti kappaleen läpi, kuitenkin pieni määrä valoa heijastuu kappaleen pinnalta. Heijastuvan valon määrä riippuu materiaalin taitekertoimesta. Heijastuminen on sitä suurempaa, mitä suurempi on taitekertoimen muutos rajapinnassa, eli materiaalin pinnalla. Taitekerroin on syy siihen, että kahdesta eri materiaalista valmistetut kappaleet näyttävät erivärisiltä, vaikka ne olisi värjätty täysin samoilla väriaineilla ja väriainemäärillä. (Mathew & Hanlin 2004, 10.)

Suurin syy, miksi heijastumista tapahtuu muovikappaleista, ovat materiaaliin lisätyt täyteaineet ja väripigmentit. Kun ominaisuuksiltaan tunnetun muovimateriaalin joukkoon lisätään eri taitekertoimen omaavaa väripigmenttiä, saadaan aikaan materiaali, jonka taitekerroin eroaa sekä matriisimuovista että väripigmentistä. Heijastuvan valon määrä riippuu taitekerrointen eron suuruudesta ja pigmenttipartikkeleiden koosta. On siis otettava huomioon, että värjätessä saman taitekertoimen

omaavilla väripigmenteillä, joilla on kuitenkin eri partikkelikoko, on heijastuvan valon määrä eri. (Mathew & Hanlin 2004, 10–11.)

Absorptiossa materiaali imee itseensä valoa. Materiaali voi absorboida vain osan näkyvästä valosta ja heijastaa muut aallonpituudet takaisin. Tällöin materiaali nähdään värillisenä. Materiaalin absorboidessa kaikkia muita näkyvän valon aallonpituuksia paitsi punaista heijastuu punainen aallonpituus kappaleen pinnalta ja materiaali nähdään punaisena. Materiaalin absorboidessa kaikkia näkyvän valon aallonpituuksia koetaan kappale mustana. Mikäli materiaalissa on hyvin vähän tai ei lainkaan valon absorptiota ja kaikki näkyvän valon aallonpituudet heijastuvat lähes yhtä paljon, kappale nähdään valkoisena. (Mathew & Hanlin 2004, 10–11.)

5.3 Havaitsija

Värien havainnointiin tarvitaan aina havaitsija. Havaitsija voi olla joko ihmissilmä tai värimittari.

Ihminen on havaitsijana monimutkainen. Ihmiset käsittävät eri värit eri tavalla, eivätkä ihmiset yleensä tarkoita samaa väriä puhuessaan esimerkiksi taivaan sinisestä. Värien näkeminen on yksilöllistä. Herkkyys eri väreille vaihtelee iän ja sukupuolen mukana. Erilainen herkkyys vaikuttaa sekä värien havainnointiin että niiden yhteensopivuuteen. (Zeus Industrial Products Inc. 2005.)

Iän ja sukupuolen lisäksi myös kulttuuri ja psykologiset tekijät vaikuttavat ihmisten erilaisiin värien luokittelutapoihin ja värimieltymyksiin. Valon erilaiset aallonpituudet vaikuttavat aivoihimme eri tavalla, ja näin ollen käynnistävät kehosamme tietynlaisia reaktioita. Esimerkiksi punaisen valon pitkät aallonpituudet virittävät aivojamme ja kiihdyttävät sydäntä ja hermojärjestelmää. (Mathew & Hanlin 2004, 13–14.)

Ihminen havaitsijana on hankala asia paitsi näön yksilöllisyyden, myös useiden ihmissilmän heikkouksien vuoksi. Yksi ihmissilmän heikkouksista on verkkokalvon väsyminen. Jo lyhytaikainen altistuminen voimakkaille väreille aiheuttaa jälkikuvan ja näkökyvyn palauttaminen vaatii aikaa. Lisäksi ihmissilmällä on huono

värimuisti, jolloin hyvinkin erisävyiset värit eriaikaisesti nähtynä voivat näyttää samalta. Värierojen havaitsemiseksi ihmisen tulisi nähdä värit samanaikaisesti ja vierekkäin. (Parikka 2008.)

Vaikka ihmissilmät pystyvät erottamaan värit hyvin yksityiskohtaisesti, ne eivät pysty sulkemaan pois ympäristön vaikutusta. Taustavärit ja ympäristössä olevat värit vaikuttavat havaittuun väriin. Sama väri näyttää tummaa taustaa vasten katsottuna eri väriltä, kuin miltä se näyttää vaaleaa taustaa vasten katsottuna. Myös ympäristön valaistuksen muuttuminen vaikuttaa huomattavasti havaittuun väriin. Ihminen saattaa havaita kahden kappaleen olevan samanvärisiä tietyssä valaistuksessa, mutta valaistuksen vaihtuessa kappaleet ovatkin selvästi erivärisiä. Ilmiötä kutsutaan metameriaksi. (Parikka 2008.)

Muiden silmän heikkouksien lisäksi noin 8 %:lla miehistä ja alle 1 %:lla naisista on puutteellinen värinäkö, ns. värisokeus. Värisokeus on useimmissa tapauksissa vaikeus erottaa värejä toisistaan. Ihmissilmässä on tavallisesti kolmentyyppisiä väriherkkiä tappisoluja: puna-, viher- ja siniherkkiä. Niiden avulla ihminen pystyy erottelemaan värit toisistaan. Värisokeiden ihmisten silmissä olevista tappisoluista jokin tyyppi saattaa olla viallinen tai puuttua kokonaan. Täysi värisokeus, jolloin ihminen ei havaitse lainkaan värejä, ainoastaan tummuusvaihteluita, on harvinaisen. (Mathew & Hanlin 2004, 15.)

6 VÄRIN MITTAAMINEN

Ihminen ei pysty ilmaisemaan havaitsemaansa väriä yksiselitteisesti toiselle henkilölle. Kuten luvussa 4.3 kävi ilmi, on jokaisen ihmisen värikäsitys ja värien havaintokyky erilainen. Teollisuudessa kuitenkin tarvitaan keino ilmaista erilaiset värit yksiselitteisesti eteenpäin. Esimerkiksi tuotteen tilaajan on pystyttävä kertomaan haluamansa väri tuotteen valmistajalle. Tästä syystä on kehitetty keinoja mitata värejä koneellisesti, ilman ihmisten yksilöllisyyttä.

6.1 Värien ominaisuudet

Värin mittaamisen edellytyksenä on jakaa väri eri osiin, ominaisuuksiin. Värien ominaisuuksia ovat värisävy (hue), vaaleus (lightness) sekä värikylläisyys (chroma) (Parikka 2008). Värien ominaisuudet tekevät väristä tarkasti määritellyn ja ne voidaan mitata toisistaan riippumatta (Mathew & Hanlin 2004, 16).

Värisävy-käsitettä käytetään väreistä puhuttaessa silloin, kun halutaan luokitella värejä, esimerkiksi punainen tai keltainen. Käsitettä värisävy voidaan kuvata väriympyrällä, jossa on kaikki viisi perusväriä sekä niiden avulla muodostettavat värisävyt. Perusvärejä ovat punainen, keltainen, vihreä, sininen ja violetti. (Zeus Industrial Products Inc. 2005.)

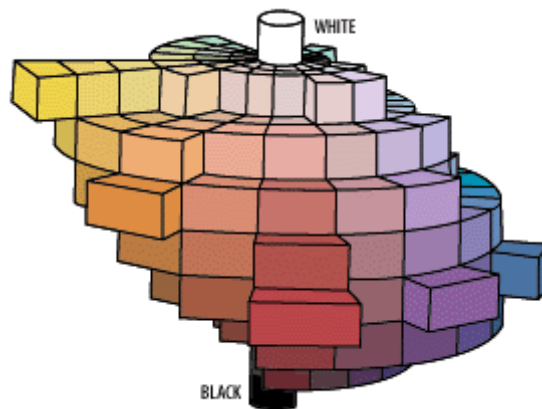
Vaaleus kertoo värin vaaleudesta tai tummuudesta. Värien vaaleutta kuvataan akselilla, jossa on eri vaaleustasoja. Akselin toisessa ääripäässä on täysin musta ja toisessa täysin valkoinen väri. Värien sijoittuminen näiden kahden ääritason väliin kertoo värin vaaleuden tai tummuuden. (Zeus Industrial Products Inc. 2005.)

Värikylläisyys kertoo, onko väri puhdas vai samea. Sameat värit ovat harmaampia ja puhtaat värit kirkaampia. (Mathew & Hanlin 2004, 16.)

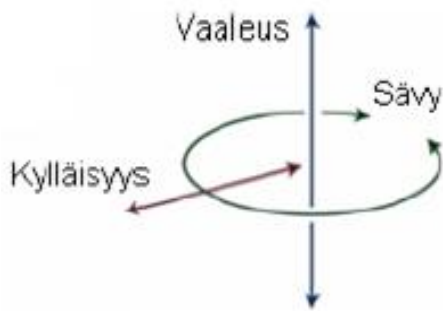
6.2 Munsellin värijärjestelmä

Munsellin värijärjestelmä on yksi tunnetuimmista värien kuvaamisen menetelmistä. Järjestelmää kuvaa Munsellin värikappaleeksi kutsuttu kappale, joka on esitetty kuviossa 8. Värikappaleessa värille määritellään kolme ominaisuutta: värisävy, vaaleus ja värikylläisyys. (Sormanen 2008.)

Munsellin värikappale koostuu viidestä päävärisävystä, viidestä välivärisävystä sekä niiden välissä olevista lisäväreistä. Päävärit värikappaleessa ovat keltainen, sininen, punainen, vihreä ja violetti. Kaikkiaan Munsellin värikappaleessa on 20 värisävyä kuvaavaa tasoa. Lisäksi Munsellin värikappaleessa on 9 porrasta vaaleusasteikolla ja 14 porrasta kylläisyysasteikolla. (Sormanen 2008.) Munsellin värikappaleen ”tulkintakuva” on esitetty kuviossa 9.



KUVIO 8. Munsellin värikappale (Computer Science Lab 2008)



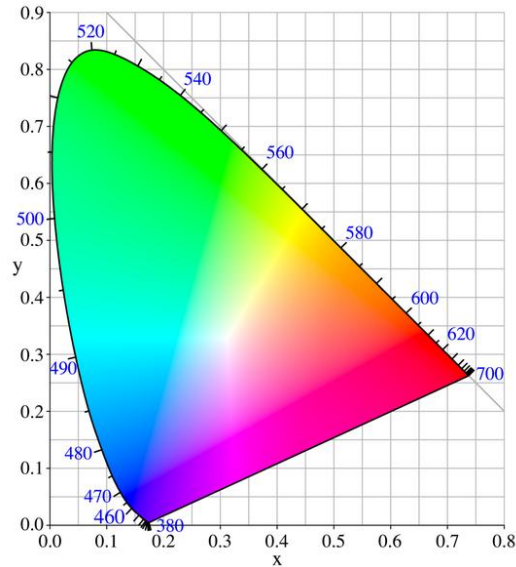
KUVIO 9. Munsellin värikappaleen tulkintakuva (Sormanen 2008)

Munsellin värikappaleessa värisävy kertoo kyseisen värin kohdan värikappaleen kehällä. Värin vaaleutta kuvaa värikappaleen pystysuora akseli, jonka alapäässä on musta ja yläpäässä valkoinen. Värin sijoittuminen pystyakselille kertoo siis miten tumma tai vaalea väri on. Värikylläisyyttä kuvataan vaakasuuntaisella akselilla, värikylläisyys kertoo miten kaukana väri on pystysuuntaisesta vaaleusakselista. Lähellä pystyakselia olevat värit ovat harmaampia ja kaukana olevat värit puhtaita. (Zeus Industrial Products Inc. 2005.)

6.3 Y_{xy} -väriavaruus

Kansainvälinen valaistuskomitea CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) on kehittänyt tapoja ilmaista värejä numeerisesti. Kaksi tunnetuinta järjestelmää ovat Y_{xy} -väriavaruus sekä Lab-väriavaruus. (Mathew & Hanlin 2004, 17–18.)

Y_{xy} -väriavaruus perustuu siihen, että on olemassa 3 pääväriä, joiden sekoituksena kaikki värit voidaan nähdä. Eri värit ilmaistaan CIE:n kehittämien arvoasteikoiden x-, y- ja z-arvoina. x-, y- ja z-arvot ovat hyödyllisiä värin määrittämiseen, mutta tulosten visualisointi on hankalaa. Visualisoinnin helpottamiseksi CIE kehitti 1931 x, y -kromaattisuusdiagrammin (kuvio 10). Kuvion ulkokehällä ovat puhtaat aallonpituudet eli monokromaattiset sävyt. Kuvion keskustaa lähennyttäessä harmaan osuus lisääntyy, värisävyt ovat akromaattisempia eli värittömämpiä. (Mathew & Hanlin 2004, 18.)



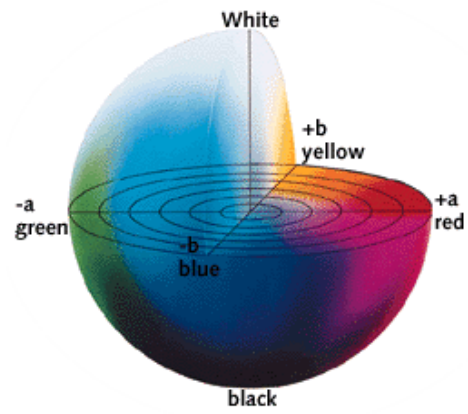
KUVIO 10. CIE:n 1931 kehittämä x, y -kromaattisuusdiagrammi (Wikipedia 2011)

6.4 Lab-väriavaruus

Toinen tunnettu kansainvälinen valaistuskomitean kehittämä värijärjestelmä on Lab-väriavaruus, järjestelmä tunnetaan myös nimellä CIELAB. Lab on käytetyin väriavaruus mitattaessa kappaleen väriä. Lab-järjestelmässä L-arvo kuvaa kappaleen vaaleutta asteikolla mustasta valkoiseen. Lisäksi järjestelmässä on a ja b -asteikot, jotka kuvaavat värisävyä. (Parikka 2008.)

L-arvot ovat 0:n ja 100:n välillä siten, että 0 ilmaisee täysin mustaa ja arvo 100 täysin valkoista. a-arvo voi saada sekä negatiivisia että positiivisia arvoja. a-arvon positiivisuus ilmaisee punaisuutta ja negatiivisuus vihreyttä. (Parikka 2008.)

b-asteikko kulkee a:n tavoin sekä positiivisella että negatiivisella puolella. Positiivinen arvo ilmaisee keltaisuutta ja negatiivinen arvo sinisyyttä. a- ja b-arvot ovat välillä -60 – +60. (Parikka 2008.) Lab-väriavaruus on esitetty kuviossa 11. Kuvion keskusta on akromaattinen eli väritön (Mathew & Hanlin 2004, 18–19).



KUVIO 11. Lab-väriavaruus (SAP Design Guild 2003)

7 MUOVIEIN VÄRJÄYS

Polymeerit ovat yleensä värittömiä tai heikosti värillisiä materiaaleja. Yleensä väri on epämiellyttävä tai tarkoitukseen sopimaton ja se pyritään peittämään muovituotteesta. Tämä edellyttää muovin värjäämistä. (Mathew & Hanlin 2004, 9.)

Muoveja voidaan värjätä joko pintaväreillä tai sisäisillä väriaineilla. Pintavärjäämiseen kuuluvat maalaus sekä erilaiset painomenetelmät. Sisäinen värjääminen tapahtuu joko liuosväreillä tai pigmenteillä. Liuosvärjääminen ja pigmenttivrjääminen eroavat toisistaan menetelmiltään ja värjäystuloksiltaan. Kummallekin menetelmälle on omat käyttötarkoituksensa, tuotteensa ja materiaalinsa. (Zeus Industrial Products Inc. 2005.)

7.1 Liuosvärit

Liuosvärejä käytetään kirkkaisiin muovimateriaaleihin. Liuosväreillä saadaan puhtaita, kirkkaita värejä, sekä läpikuultavia sävyjä, joiden optinen läpinäkyvyys on hyvä. Liuosvärejä käytetään usein akryyleissa, kirkkaassa polystyreenissä sekä polykarbonaateissa. (Martin & Weadon 2004, 175.) Liuosvärit soveltuvat yleensä vain tuotteisiin, jotka eivät ole tekemisissä UV-säteilyn kanssa (Polymeerimateriaalien perusteet osa 1 2010).

Liuosväri määritellään väriaineena, joka liukenee värjättävään polymeeriin. Muovien värjäämiseen suunnitellut liuosvärit ovat yleensä öljy- tai liuotinliukoisia, mutta jotkin liuosvärit liukenevat vain hartsiin. Vaikka on olemassa monia vesiliukoisia liuosväriaineita, niitä ei yleensä käytetä muovien värjäämiseen, poikkeuksena kastovärjäys (dip dying). Tietyt sovellukset, kuten aurinkolasien linssit, valmistetaan päällystämällä muovi liuosväriaineella. (Martin & Weadon 2004, 175–176.)

7.2 Pigmentit

Pigmentit ovat erillisiä pienhiukkaspartikkeleita, jotka pysyvät pääasiallisesti muuttumattomina koko muovituotteen prosessoinnin ja elinkaaren ajan (Charvat 2004, 85). Pigmentit ovat liukenemattomia useimpiin liuottimiin sekä polymeereihin, joiden värjäämiseen niitä käytetään. Koska pigmentit eivät liukene muoviin, ovat pigmenttipartikkelit hajallaan muovimassassa. Muovimassassa pigmentit absorboivat tai heijastavat näkyvää valoa ja tuottavat näin muovituotteelle värin. Pigmentit jaetaan kahteen ryhmään: orgaanisiin ja epäorgaanisiin pigmentteihin. (Zeus Industrial Products Inc. 2005.)

Pigmenttipartikkelit ovat täysin läpinäkymättömiä, joten niillä on hyvä peittokyky. Tämän takia pigmenttivärjyksessä tuotteen läpinäkyvyys vähintään heikkenee, yleensä häviää kokonaan. Pigmentit on mahdollista lisätä muoviin joko jauheena, väritiivisteinä (masterbatch) tai pastana. (Polymeerimateriaalien perusteet osa 1 2010.) Pigmenttien olomuoto valitaan raaka-aineen olomuodon mukaan, jolloin värin sekoittuminen on tasaisinta. Mikäli muoviraaka-aine ja lisäaineet ovat jauheena, kuten esimerkiksi PVC:n tapauksessa usein on, ovat myös lisättävät pigmentit jauheena. Toisaalta, jos muoviraaka-aine mahdollisine lisäaineineen on tiivistepelletteinä, ovat myös pigmentit tiivistettyinä pelletteinä, ns. masterbatcheinä.

7.2.1 Pigmenttien ominaisuuksia

Dispergoitavuus on yksi pigmenttien tärkeimmistä ominaisuuksista. Dispergoinnilla hajotetaan pigmenttikasaumia. Pigmenttipartikkelit pyritään saamaan irti toisistaan, jotta kaikkien yksittäisten partikkeleiden pinnat tulisivat tasaisesti muovin ympäröimäksi ja partikkelit sekoittuisivat tasaisesti muovimassan joukkoon. Dispergoitavuutta voidaan parantaa pigmenttien pintakäsittelyllä. (Charvat 2004, 87.)

Hyvä lämmönkesto kertoo pigmentin kyvystä säilyä tasaisena ja muuttumattomana prosessoinnin, tuotteen valmistuksen ja elinkaaren ajan. Pelkän yhden kriittisen

lämpötilan ilmoittaminen ei ole paras tapa ilmaista pigmentin lämmönkesto. Lämmönkesto on parhaiten ilmoitettu, mikäli pigmentille kerrotaan lämmön ja ajan yhteisvaikutus ominaisuuden muutoksiin. (Charvat 2004, 87.)

Kemialliset reaktiot ovat yleensä syy siihen, miksi väriaineet eivät käyttäydy odotetulla tavalla. Huono kemiallinen kestävyys tai kestäkyvyn ylitys ilmenee useimmiten värimuutoksina tuotteessa. (Charvat 2004, 87.)

Valonkesto kertoo materiaalin kyvystä sietää pitkäaikaista UV-valoa, näkyvää valoa, pimeyttä sekä lämpötilan vaihteluita. Valonkesto ilmaistaan pigmenteille yleensä asteikolla 1–8. Säänkesto puolestaan kertoo materiaalin kyvystä sietää pitkäaikaista UV-valoa, näkyvää valoa, infrapunasäteilyä, pimeyttä, lämpötilanvaihteluita, suoraa kosketusta veden kanssa sekä kosketusta kaasujen, pienhiukkasten, ponnekaasujen ja muiden saasteiden kanssa. Säänkesto on siis ulko-olosuhteisiin verrannollinen. (Charvat 2004, 88.)

Edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi pigmenteille ilmoitetaan soveltuvuus eri raaka-aineille sekä pigmenttien partikkelikoko. Myös migraatioarvo saattaa valmistajan taholta olla ilmoitettu. Migraatioarvolla kuvataan pigmentin kulkeutumista tuotteessa. (BASF; Heucobatch 2007; Shepherd.)

7.2.2 Orgaaniset pigmentit

Orgaaniset pigmentit ovat hiilen, vedyn, hapen, typen ja rikin yhdisteitä (Charvat 2004, 90). Suurin osa muoviteollisuuden käyttämistä orgaanisista väriaineista esiintyy luonnossa pigmentteinä. Teollisuuden käyttöön orgaaniset pigmentit kuitenkin valmistetaan yleensä synteettisesti. Orgaaniset pigmentit omaavat muovituotteissa tarvittavia ominaisuuksia, kuten valonkestokykyä sekä lämmönkesto-ominaisuuksia. (Lewis 2004, 100.) Orgaanisten pigmenttien ominaisuudet kuitenkin vaihtelevat eri pigmenttien välillä (Zeus Industrial Products Inc. 2005). Lisäksi orgaanisten pigmenttien tuottama värisävy on usein riippuvainen polymeeristä, konsentraatiosta sekä titaanidioksidin määrästä (Rangos 2004, 128).

Kaikilla orgaanisilla pigmenteillä on hajoamispiste, jonka yläpuolella väriaineessa tapahtuu fysikaalisia ja kemiallisia muutoksia. Muutokset voivat tapahtua myös hieman hajoamispisteen alapuolella, mikäli väriaine joutuu usein ja pitkäaikaisesti olemaan korkeassa lämpötilassa. Hajoamispisteen ylitys aiheuttaa yleensä kemiallista hajoamista, joka havaitaan muun muassa värimuutoksina tuotteessa. (Lewis 2004, 125.)

Värjäysominaisuuksiltaan orgaaniset pigmentit ovat epäorgaanisia parempia ja niillä aikaansaadaan kirkkaampia värisävyjä (Zeus Industrial Products Inc. 2005). Tavallisesti orgaanisia pigmenttejä tarvitsee käyttää vain 0,1–0,2 paino% tarvittavan värisävyn aikaansaamiseksi. Orgaanisia pigmenttejä käytetään polyolefiineissä, PVC:ssä, ABS-muovissa sekä polystyreenissä. (Seppälä 2008, 122.)

7.2.3 Epäorgaaniset pigmentit

Epäorgaanisia pigmenttejä ovat metallien tai puolimetallien yhdisteet hapen, rikin ja seleenin kanssa (Charvat 2004, 90). Epäorgaanisilla pigmenteillä on paljon hyviä ominaisuuksia. Niillä on orgaanisia pigmenttejä paremmat lämmön- ja valonkesto-ominaisuudet sekä peittokyky. Lisäksi epäorgaaniset pigmentit dispergoituvat hyvin ja tasaisesti. Epäorgaanisten pigmenttien tuottama värisävy ei ole yleensä riippuvainen polymeeristä, konsentraatiosta tai titaanidioksidin määrästä. Yleisimpiä epäorgaanisia pigmenttejä ovat rautaoksidit. (Rangos 2004, 127–128.)

Epäorgaanisten pigmenttien värjäysvaikutus ja kirkkaus ovat huonompia kuin orgaanisilla pigmenteillä. Epäorgaanisia pigmenttejä onkin käytettävä suurempia määriä kuin orgaanisia pigmenttejä, noin 1–3 paino%. (Seppälä 2008, 122–123.) Epäorgaanisten pigmenttien käyttö on muuttunut ajan myötä rajallisemmaksi, sillä kaikkein hyödyllisimpien epäorgaanisten pigmenttien, kuten kadmiumien ja lyijykromaattien, käyttöä on alettu rajoittaa niiden myrkyllisyyden vuoksi. Tämän vuoksi värivalmistajat voivat joutua käyttämään orgaanisten ja epäorgaanisten pigmenttien sekoituksia saadakseen aikaan asiakasta tyydyttävän värisävyn. (Rangos 2004, 128.)

Epäorgaanisten ja orgaanisten pigmenttien välisistä eroista johtuen, niiden sekoituksilla voidaan saavuttaa paras värjäystulos. Orgaaniset pigmentit antavat ominaisuuksia, jotka epäorgaanisilta pigmenteiltä puuttuvat: värivoimakkuutta, värikylläisyyttä sekä värjäyskykyä. Epäorgaaniset pigmentit puolestaan antavat värille kestävyysominaisuuksia ja peitto-ominaisuuksia. (Rangos 2004, 128.)

8 TITANIDIOKSIDIPIGMENTIT

Titaanidioksidi, TiO_2 , on titaanin ja hapen kemiallinen yhdiste. Se on puolijohde, jolla on erilaisia fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia, riippuen sen rakenteesta, hiukkaskoosta sekä pintakäsittelystä (Kasa). Titaanidioksidi on puhtaan valkoinen, epäorgaaninen pigmentti ja muoviteollisuudessa yleisimmin käytetty valkoinen pigmentti. (Holtzen & Reid 2004, 146.)

Titaanidioksidi on nykyään käytetyin pigmentti, se kattaa jopa 70 % kaikesta pigmenttituotannosta (Wypych 2010, 144). Titaanidioksidin käytöllä muoviteollisuudessa on lukuisia etuja. Titaanidioksidilla on muihin valkoisiin pigmentteihin verrattuna ylivoimainen kirkkaus, valkoisuus sekä peittokyky. Titaanidioksidit ovat myrkyttömiä ja kemiallisesti hyvin inerttejä. Titaanidioksidi pigmentit eivät kulkeudu muovituotteen pintaan ja ne ovat kohtalaisen helposti dispergoituvia. Titaanidioksideja on saatavilla lukuisilla eri pintakäsittelyillä ja verrattuna muiden valkoisten pigmenttien käyttökustannuksiin ne ovat edullisia. (Holtzen & Reid 2004, 146.)

Titaanidioksidia saadaan neljästä eri mineraalista: rutiilista, anataasista, brokiitista ja ilmeniitistä. Kolme ensimmäistä mineraalia sisältävät pääasiassa titaanidioksidia, ilmeniitti on kemialtaan rauta-titaani-oksidi. Suurin osa titaanidioksidista valmistetaan ilmeniitistä. (Wypych 2010, 145.) Titaanidioksidia voidaan valmistaa niin, että saadaan joko rutiili- tai anataasimuotoisia kiteitä. Muoveissa käytetään enimmäkseen rutiilimuotoisia titaanidioksideja. (Charvat 2004, 94.)

Titaanidioksidipigmenteillä on suuri taitekerroin ja siksi niillä on hyvä peittokyky jo pienillä määrillä. Käytetyimpien muovien taitekerroin on 1,45–1,6. Valkoisen pigmentin katsotaan olevan käyttökelpoisia värjäykseen, jos niiden taitekerroin on suurempi kuin 1,7. Titaanidioksidin taitekerroin, kidemuodosta riippuen, on 2,55 (anataasi) tai 2,73 (rutiili), taitekerroin on suurempi kuin millään muulla kaupallisella valkoisella pigmentillä. (Wypych 2010, 144.)

Vaikka titaanidioksidi on erinomainen väripigmentti, on siitä muovituotteessa myös muuta etua. Merkittävä syy titaanidioksidin laajaan käyttöön muoviteolli-

suudessa on sen aikaansaama UV-säteilyn kesto. Oikein valittuna titaanidioksidi suojaa muovia UV-säteilyn haitoilta sekä säteilyn aikaansaamien vapaiden radikaalien vaikutukselta. (Holtzen & Reid 2004, 146.)

Titaanidioksidin partikkelikoolla on merkittävä vaikutus sen peittokykyyn sekä UV-säteilyn absorptiokykyyn. Jotta pigmentin peittokyky olisin suurin mahdollinen, tulisi pigmentin partikkelikoon olla puolet valon aallonpituudesta. Esimerkiksi sinivihreän valon aallonpituus on noin 460 nm. Tällöin halkaisijaltaan 230 nm olevat partikkelit antavat suurimman peittokyvyn. Myös matriisimuovin värillä on merkitystä titaanidioksidin vaikutukseen ja tämä tulee ottaa huomioon titaanidioksidipigmenttiä valittaessa. Tietyn partikkelikoon omaavia pigmenttejä voidaan käyttää esimerkiksi poistamaan matriisimuovin aiheuttamaa keltaista pohjaväriä. Koska pigmenttien partikkelikoon on oltava eri erilaisissa sovelluksissa ja tilanteissa, on titaanidioksidia kaupallisesti saatavilla 200–300 nm partikkelikoolla. (Wypych 2010, 144.)

Paitsi partikkelikoolla, myös titaanidioksidin määrällä on merkittävä vaikutus värjäyksen lopputulokseen. Mikäli titaanidioksidia on matriisinmuovin seassa liian vähän, on partikkelien välinen etäisyys suuri, jolloin peittokyky on huono. Myöskään liiallinen titaanidioksidin käyttö ei ole tehokasta. Jos titaanidioksidia on liian paljon, haittaavat partikkelit toistensa heijastuskäyttäytymistä. Titaanidioksidin ominaisuudet ovat parhaimmillaan sopivalla pigmenttimäärällä ja hyvällä dispersiolla. (Wypych 2010, 144–145.)

9 TUTKITTAVAT MATERIAALIT

Tutkittavana materiaalina oli PVC ja siinä käytettävät väripigmentit, erityisesti titaanidioksidi. Koekappaleet olivat Viamont Oy:n valmistamia, vaahdotettuja PVC-profiileita. Profiileita oli valmistettu viidestä eri massasta, joiden erona oli ainoastaan titaanidioksidipigmentin määrä. Kaikki koemassat valmistettiin profiileiksi samoilla ajoparametreilla, jotta titaanidioksidista saatiin, pigmenttien kokonaisuuden lisäksi, ainoa muuttuva tekijä koemassojen välillä.

Pohjana eri massoissa oli yrityksen Natural PVC -massa. Jokaiseen koemassaan lisättiin sama määrä muita väripigmenttejä, paitsi titaanidioksidia, jonka määrä vaihteli jokaisessa koemassassa. Väripigmenttien määrät on esitetty taulukossa 1. Määrät ovat grammoja yhtä Naturalmassakilogrammaa kohti.

TAULUKKO1. Väripigmenttien määrä Naturalmassaa kohti [g/kg]

	massa 1	massa 2	massa 3	massa 4	massa 5
keltainen	12	12	12	12	12
punainen	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
ruskea	2	2	2	2	2
TiO ₂	0	5	10	15	20
TiO ₂ :n painoprosenttiosuus massassa	0	0,49	0,97	1,5	1,9

10 TUTKIMUKSET

Tutkimusten tarkoituksena oli selvittää, miten titaanidioksidin määrä vaikuttaa vaahdotetun PVC-profiilin ominaisuuksiin. Tutkimuksissa selvitettiin titaanidioksidin määrän vaikutusta muodostuvaan väriin, UV-säteilyn keston, iskulujuuteen sekä kutistumaan. Tutkimukset suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun muovitekniikan ja puutekniikan laboratorioissa.

10.1 Muodostuva väri

Tutkimuksessa haluttiin selvittää, miten titaanidioksidipigmentin määrä vaikuttaa muodostuvaan väriin. Tutkimalla jokaisen koemassan väriä selvitettiin, tuoko titaanidioksidi jotain pigmenttiä paremmin esille vai onko titaanidioksidin vaikutus muodostuvaan väriin ainoastaan vaalentava.

Titaanidioksidin vaikutusta muodostuvaan väriin tutkittiin koemassojen välisten Lab-arvojen erona. Värit mitattiin Lahden ammattikorkeakoulun Minolta Chroma Meter CR-200 -värimittarilla.

10.2 UV-A-testi

Lähdekirjallisuuden myötä oli syytä olettaa, että titaanidioksidin määrällä on vaikutusta muovin UV-säteilyn keston. Vaikutusta värin keston testattiin pitämällä jokaisesta koemassasta valmistettuja profiileita UV-A-säteilylle altistettuna, ja mittaamalla värin muutoksia profiileissa.

Koekappaleet asetettiin kaappiin, jossa oli 4 UV-A-säteilyä tuottavaa lamppua, tyypiltään Sylvania FT40 / BL350. Kaappiin asetettiin jokaisesta koemassasta 3 koekappaleprofiilia. Kappaleiden alkuperäinen väri mitattiin ennen kappaleiden asettamista kaappiin. Mittausvälineenä käytettiin Lahden ammattikorkeakoulun Minolta Chroma Meter CR-200 -värimittaria ja arvot mitattiin Lab-arvoina.

Koekappaleita pidettiin UV-A-säteilylle altistettuna yhteensä 1500 tuntia. Värimuutoksia mitattiin tietyin väliajoin ja Lab-arvot kirjattiin ylös.

10.3 Iskukoe

Tutkimuksissa haluttiin selvittää, miten titaanidioksidin määrän kasvu, eli myös pigmenttihiukkasten määrän kasvu, vaikuttaa profiilin iskunkeston. Lisäksi haluttiin saada selville, vähentääkö titaanidioksidi UV-säteilyn iskulujuutta heikentävää vaikutusta. Iskukoe suoritettiin koekappaleille, joita ei ollut altistettu UV-säteilylle, ja UV-säteilylle altistetuille koekappaleille.

Iskukokeet ovat suurella nopeudella suoritettavia murtumiskokeita, joilla mitataan kappaleen murtumiseen tarvittavaa energiamäärää. Viskoelastisen luonteensa takia muovien lujuus on riippuvainen kuormitusnopeudesta, eli iskumaisen kuorman kantokyky on yleensä muoveilla heikompi kuin hitaasti kasvavan kuorman. (Jönkkäri 2004, 76.)

Yleisimmin materiaalin iskulujuus määritetään heilahdusvasarauskokeella. Heilahdusvasarauskokeessa koekappale absorboi murtuessaan energiaa materiaalille ominaisen määrän, eli mitä helpommin koekappale murtuu, sitä ylemmäs vasara heilahtaa. Iskuenergia luetaan mitta-asteikolta, johon on laskettu heilahduskorkeutta vastaavat energiamäärät. Iskulujuus lasketaan absorboidun energian ja kappaleen poikkipinta-alan suhteena. (Jönkkäri 2004, 76.)

Heilahdusvasarauskumenetelmiä on käytössä kolmenlaisia, joista Lahden ammattikorkeakoulun muovitekniikan laboratoriossa oli mahdollista suorittaa Izod-iskulujuustesti. Izod-iskulujuus määritetään rikkomalla heilurivasaralla koekappale, joka on tuettu pystysuoraksi ulokepalkiksi (SFS-EN ISO 180:2001). Koekappale voi olla lovettu tai loveamaton. Izod-iskulujuuslaitteiston periaatekuva on esitetty kuviossa 12.

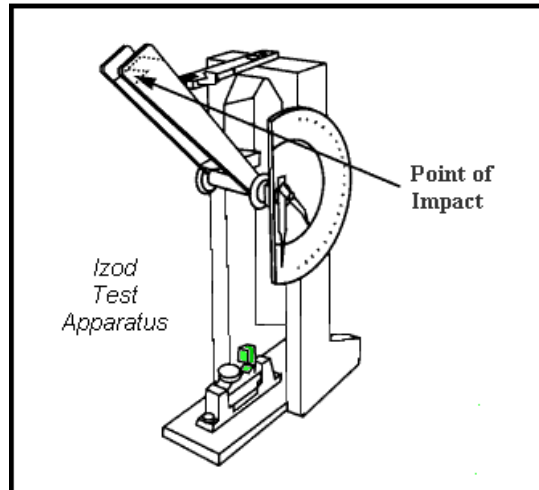
Iskulujuus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\text{Izod iskulujuus [kJ/m}^2\text{]} = W / (h * b) * 10^3$$

jossa W on koekappaleen absorboima iskuenergia [J]

h on koekappaleen paksuus [mm]

b on koekappaleen leveys (loven kohdalta) [mm].



KUVIO 12. Izod-iskulujuuslaitteiston periaatekuva (MatWeb 2011)

10.4 Pituussuuntainen muodonpysyvyys

Tutkimuksissa selvitettiin, onko titaanidioksidin määrällä vaikutusta vaahdotetun PVC-profiilin muodonpysyvyyteen. Pituussuuntaista muodonpysyvyyttä tutkittiin muovisten vaahdotettujen PVC-lasituslistojen standardin SFS 5814:1997 mukaisesti. Standardissa esitetään koemenetelmä, jonka avulla vaahdotetut PVC-lasituslistat voidaan jakaa kolmeen laatuluokkaan: A, B ja S.

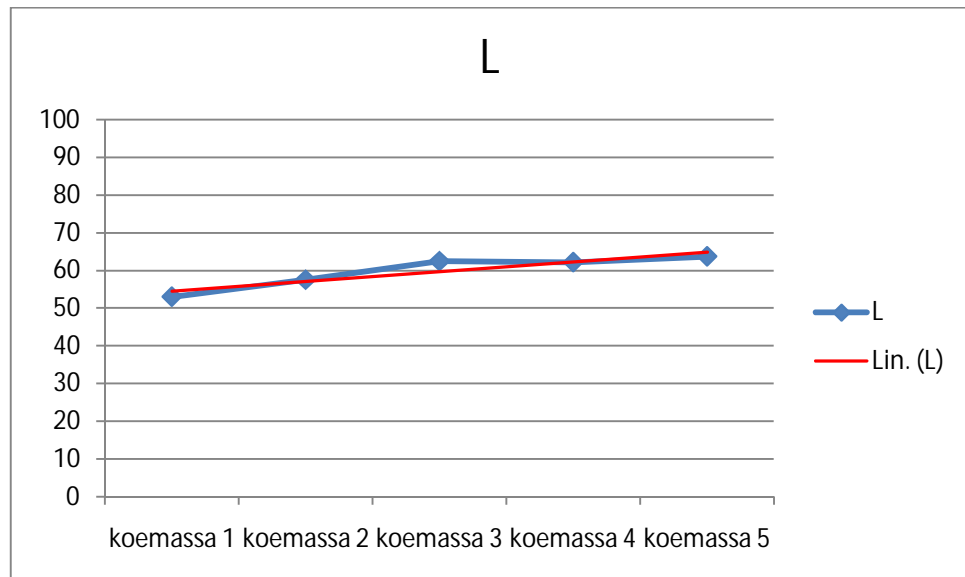
Standardin mukaan listojen muodonpysyvyyttä testataan kolmella sattumavaraisesti valitulla koekappaleella, joiden pituus on 300 ± 20 mm. Koekappaleita on vakioitava 23 ± 2 °C:n lämpötilassa vähintään 2 tuntia. Sen jälkeen jokaiseen koekappaleeseen merkitään merkkiviivat 200 mm:n päähän toisistaan. (SFS 5814 1997.)

Seuraavaksi koekappaleet asetetaan lasilevyille, jonka päälle on levitetty talkkia. Koekappaleita pidetään 85 °C:n lämpötilassa 1 tunti, jonka jälkeen koekappaleiden annetaan jäähtyä 23 °C lämpötilaan. Kappaleiden jäähtyttyä merkkiviivojen etäisyys toisistaan mitataan. Jokaisen koekappaleen suurin muodonmuutos ilmoitetaan prosentteina alkuperäisestä mittavälistä. Muodonmuutos luokassa A saa olla enintään 3 %, luokassa B enintään 5 % ja luokassa S enintään 2 %. (SFS 5814 1997.)

11 TULOKSET JA PÄÄTELMÄT

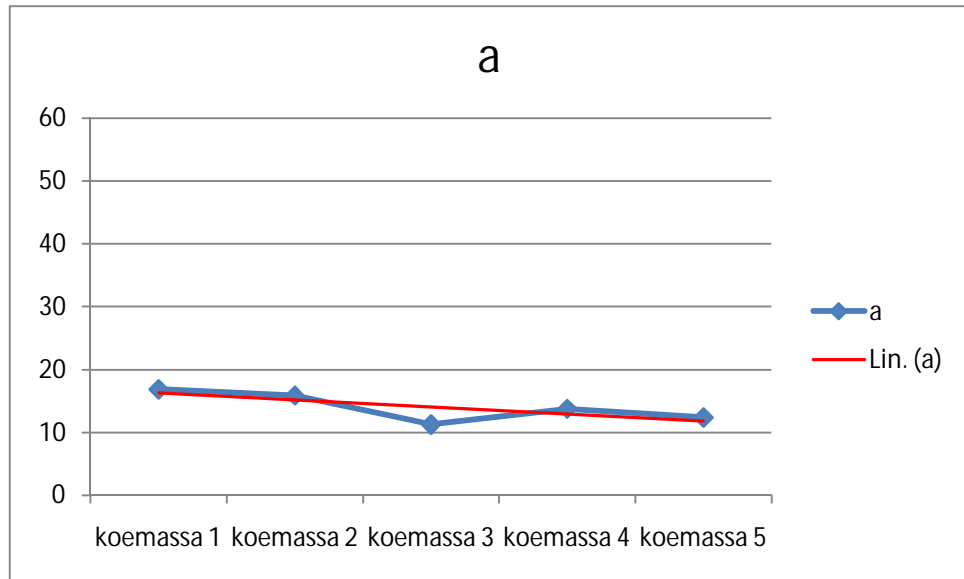
11.1 Muodostuva väri

Titaanidioksidin määrän kasvaessa koemassojen väri vaaleni. Kuviosta 13 nähdään, että vaalentava vaikutus oli suurin pienillä titaanidioksidipitoisuuksilla. Koemassa 3:n jälkeen titaanidioksidin vaalentava vaikutus pieneni hieman. Koemassa 3 poikkeaa vallitsevasta suuntauksesta, sillä koemassa 4 oli L-arvoltaan jopa joitain kymmenyksiä pienempi kuin koemassa 3.



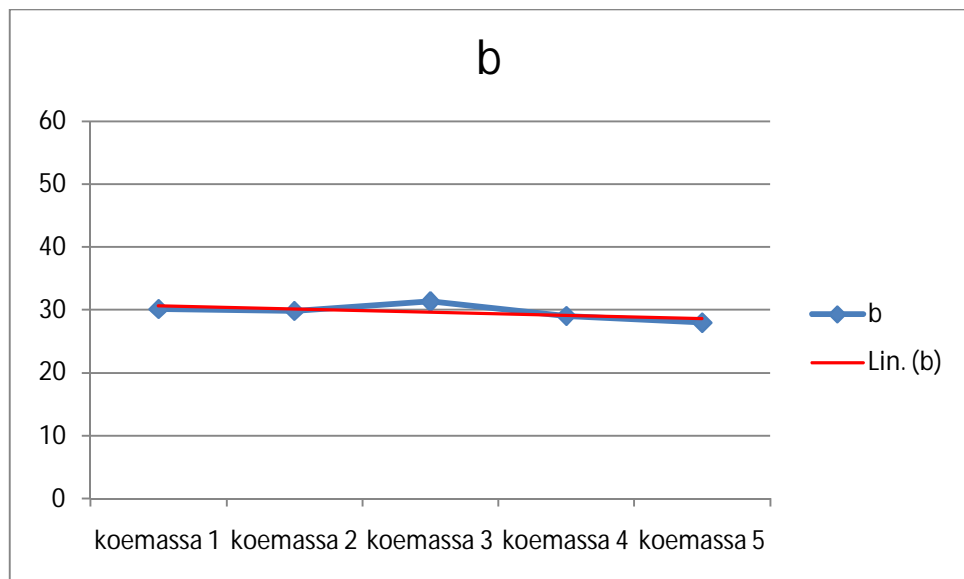
KUVIO 13. Koemassojen L-arvot

Kaikki koemassat olivat a-arvoiltaan positiivisia, eli vihreä-punainen -akselilla punaisen puolella. Kuviosta 14 havaitaan, että titaanidioksidin määrän kasvu muutti väriä hieman vihreämmäksi, eli pienensi a-arvoa. Koemassa 3 poikkesi a-arvoltaan trendistä ja se oli koemassoista vähiten punainen. Titaanidioksidin määrän vaikutus a-arvoon ei siis ole täysin lineaarinen.



KUVIO 14. Koemassojen a-arvot

Kaikki koemassat olivat b-arvoiltaan positiivisia, eli sininen-keltainen-akselilla keltaisen puolella. Titaanidioksidin määrän kasvu pienensi hieman b-arvoa, muutos oli kuitenkin melko pientä. Kuviosta 15 nähdään kuitenkin, että b-arvon muutos ei ollut täysin yhtenevä titaanidioksidin määrän kasvun suhteen. Koemassa 3 oli kaikista koemassoista keltaisin, se poikkesi suuntauksesta selkeästi.



KUVIO 15. Koemassojen b-arvot.

Jokaisen Lab-arvon kohdalla koemassa 3 poikkesi trendistä. Koemassojen värit on esitetty kuviossa 16. Myös kuvioista voidaan huomata se, että koemassa 3:n värisävy ei täysin ole linjassa muiden koemassojen sävyjen kanssa. Titaanidioksidin määrä ei siis muuttanut muodostuvaa väriä yksiselitteisesti. Titaanidioksidin todettiin muuttavan väriä tietyllä pitoisuudella yleisen suuntauksen vastaisesti. Tietyn pigmentin vaikutus väheni trendistä poikkeavasti, ja toisen pigmentin vaikutus lisääntyi trendistä poiketen. Tässä tapauksessa poikkeuksen aiheuttavan pitoisuuden todettiin olevan 10 g titaanidioksidia yhtä Naturalmassakiloa kohti.



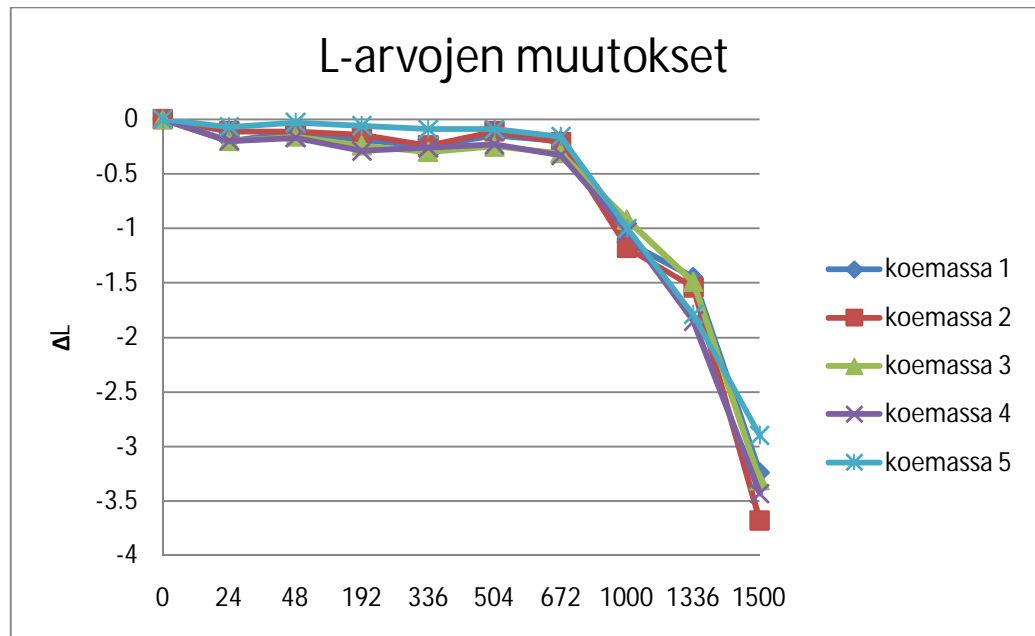
KUVIO 16. Koemassojen värit

11.2 UV-A-testi

UV-testin koekappaleita pidettiin UV-A-säteilylle altistettuna yhteensä 1500 tuntia. Testin kuluessa todettiin, että värin muutos oli suurinta koekappaleiden keski-osassa. Värimitaukset suoritettiin koekappaleista kolmesta kohdasta, läheltä koekappaleiden ylä- ja alapäätä sekä keskeltä. Jokaisesta koemassasta UV-säteilylle altistettuna oli 3 koekappaleita. Mittaustulokset jokaiselle koemassalle on laskettu näiden kolmen koekappaleen kaikkien mittauspisteiden keskiarvona.

Värimuutoksia tutkittiin L-, a- ja b-arvojen muutoksina sekä kokonaisvärimuutoksina. UV-A-testin tulokset on esitetty kuvioissa 17–20. Kokonaisvärimuutos ΔE on laskettu seuraavalla kaavalla:

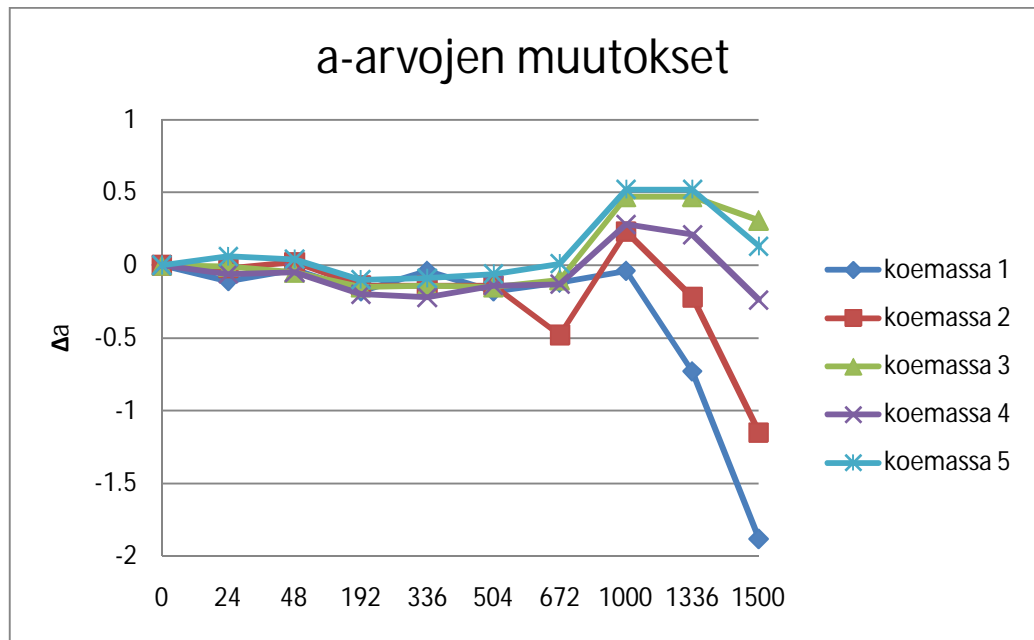
$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$



KUVIO 17. L-arvojen muutokset ajan funktiona

Kuviosta 17 voidaan havaita, että kaikki koekappaleet muuttuivat vaaleusasteikolla samaan suuntaan. L-arvo pieneni jokaisen koemassan kohdalla, eli koekappaleiden väri tummeni. Kaikki koemassat käyttäytyivät L-arvon muutoksen suhteen

hyvin samankaltaisesti. Testin lopussa, 1500 tunnin kohdalla on kuitenkin nähtävissä, että koemassa 5, jossa on eniten titaanidioksidia, on muuttunut L-arvon suhteen vähiten. Eniten L-arvo on muuttunut koemassa 2:n kohdalla. L-arvon muutokset eivät tulosten mukaan ole täysin riippuvaisia titaanidioksidin määrästä.



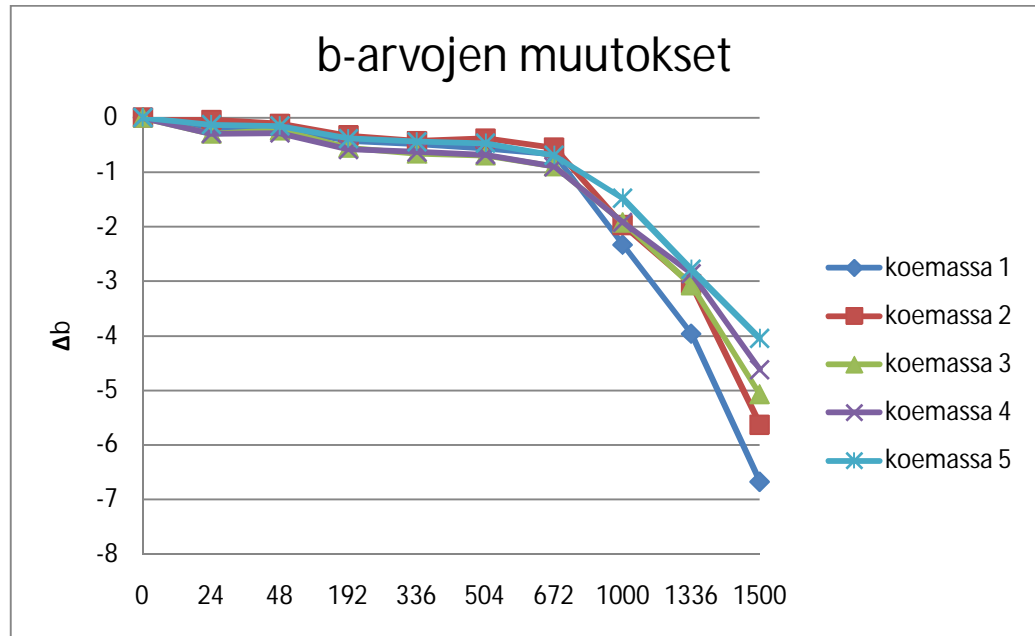
KUVIO 18. a-arvojen muutokset ajan funktiona

Kuviosta 18 nähdään, että kaikki koemassat käyttäytyivät melko samanlaisesti 504 tunnin kohdalle saakka. Tämän jälkeen muutokset alkoivat erota toisistaan. a-arvon muutos positiiviseen suuntaan kertoo värin muuttumisesta punaiseen suuntaan ja muutos negatiiviseen suuntaan kertoo värin vihertymisestä.

1000 tunnin kohdalla kaikki muut koemassat, paitsi koemassa 1, ovat hieman punertuneet alkuperäisestä väristä. Kyseisessä kohdassa koemassa 1 on hyvin lähellä alkuperäistä a-arvoa, mutta tuhannen tunnin jälkeen koemassa 1:n väri muuttuu selvästi vihreämmäksi.

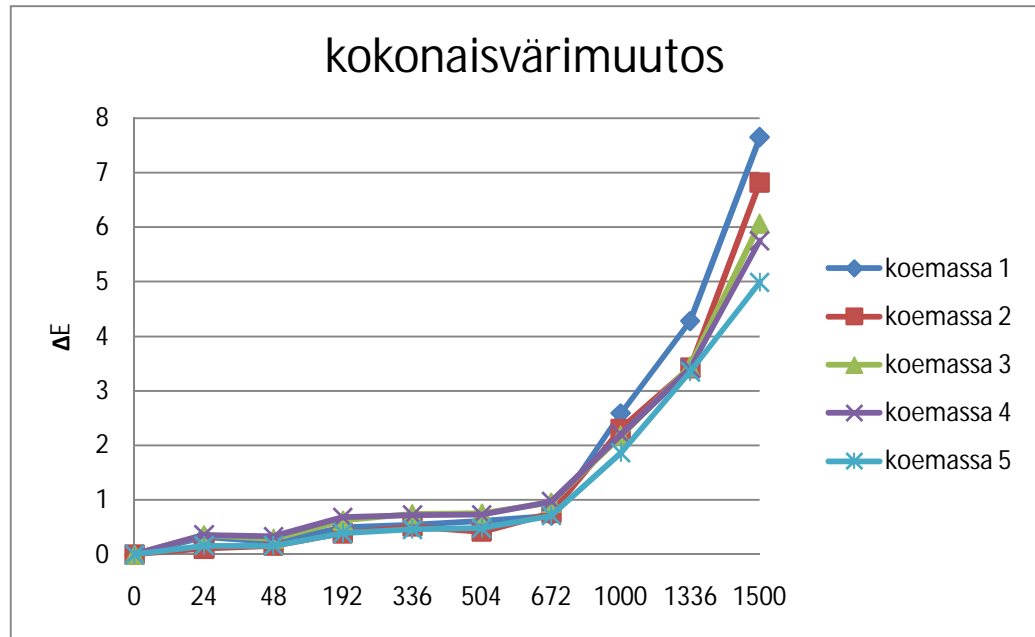
Testin lopussa erot a-arvojen muutoksissa ovat kuviosta hyvin havaittavissa. Koemassat 1, 2 ja 4 muuttuivat vihreään suuntaan, ja koemassat 3 ja 4 jäivät hieman lähtötilannetta punaisemmaksi. Pienin muutos 1500 tunnin kohdalla a-

arvossa oli koemassalla 5, eniten titaanidioksidia sisältäneellä massalla. Tuloksista on nähtävissä, että Δa on sitä pienempi, mitä enemmän titaanidioksidia massassa on.



KUVIO 19. b-arvojen muutokset ajan funktiona

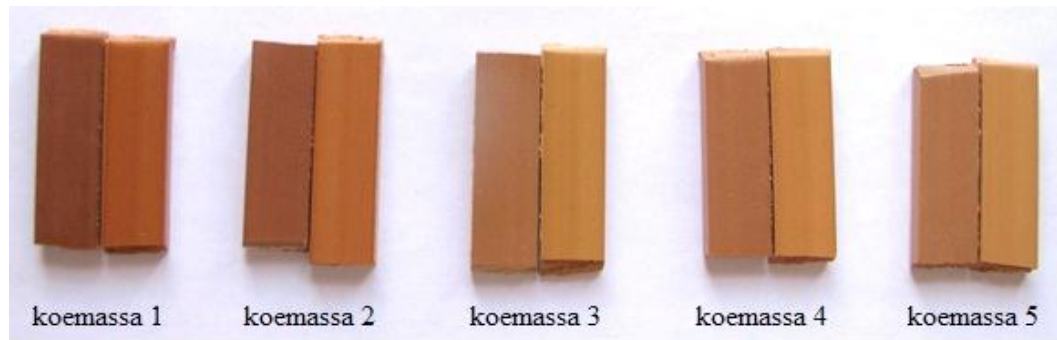
Myös b-arvojen suhteen koemassat käyttäytyivät hyvin yhtenevästi testin alussa (kuvio 19). Kaikkien koemassojen b-arvot pienenevät, eli värit muuttuivat sinisemmäksi. 1500 tunnin kohdalla koemassojen paremmuusjärjestys on vastaava kuin a-arvojen kohdalla: mitä enemmän titaanidioksidia koemassa sisältää, sitä pienempi on Δb .



KUVIO 20. Kokonaisvärimuutos ajan funktiona

Kuten a- ja b-arvojen muutokset, myös kokonaisvärimuutos (kuvio 20) käyttäytyi odotetulla tavalla: mitä enemmän massa sisälsi titaanidioksidia, sitä pienempi oli värin kokonaismuutos. Vaikka testin alussa muutokset olivat melko samankaltaisia kaikissa koemassoissa, on 1500 tunnin kohdalla koemassojen järjestys kuitenkin selkeästi jo nähtävissä.

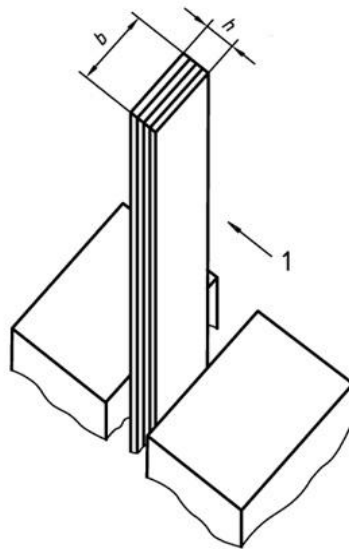
Kaikkiaan UV-A-testin koekappaleet käyttäytyivät tavalla, joka oli odotettavissa lähdekirjallisuuden perusteella. Mitä pidemmälle testi eteni, sitä paremmin oli nähtävissä se, että titaanidioksidin määrä pienensi UV-säteilyn aiheuttamia värimuutoksia. Jokaisesta koemassasta on kuvattu yksi UV-valolle altistettu kappale UV-valolle altistumattoman vieressä kuviossa 21.



KUVIO 21. Koemassojen UV-säteilyn aiheuttamat muutokset. Jokaisen koemassan UV-säteilylle altistunut koekappale on vasemmalla puolella ja altistumaton oikealla.

11.3 Iskulujuus

Iskulujuustestejä ei suoritettu standardin mukaisesti, sillä koekappaleina olleet profiilit eivät mitoiltaan sopineet standardiin. Tästä syystä tulokset eivät ole hyödynnettävissä muuhun kuin testimateriaalien keskinäiseen vertailuun. Koska iskulujuuksia määritettiin myös UV-säteilylle altistetuille koekappaleille, tehtiin iskukoe lappeellaan oleville koekappaleille (kuvio 22). Tällöin iskulujuus pystyttiin mittaamaan sivulle, joka on saanut UV-säteilyä.



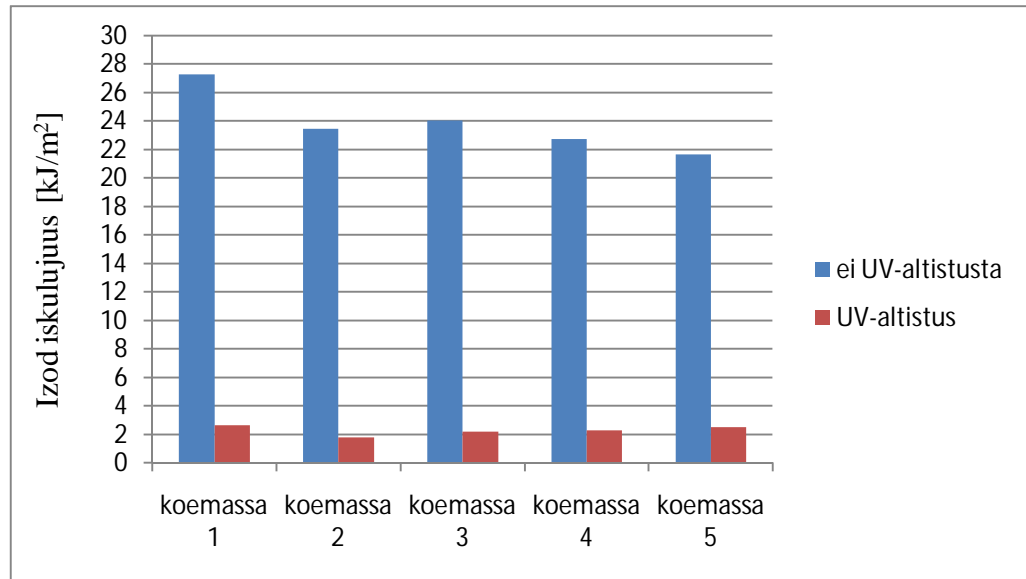
KUVIO 22. Iskulujuuden määrittämissuunta. Suunta 1 kuvaa iskun suuntaa (SFS-EN ISO 180:2001)

Iskulujuustestin alussa todettiin, että vasaran iskuvoima ei riitä katkaisemaan profiilista katkaistua koekappaletta, joka oli mitoiltaan $5 \times 20 \text{ mm}^2$. Koekappaleet päätettiin jyrsiä kapeammiksi, jolloin koekappaleiden mitoiksi saatiin noin $5 \times 12 \text{ mm}^2$.

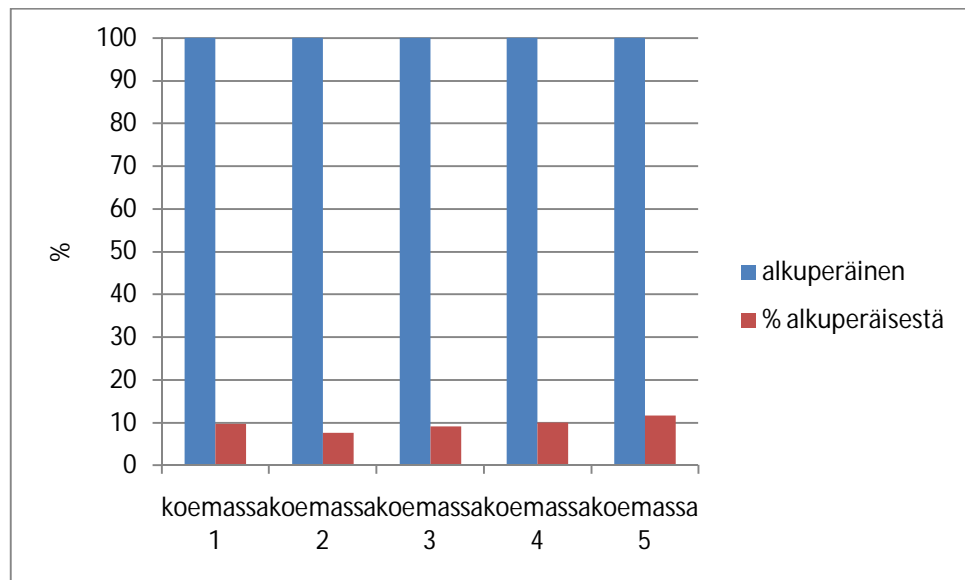
Vaikka koekappaleita kavennettiin jyrsimällä, muodostui iskukokeissa ongelmaksi se, että kaikki koekappaleet eivät katkenneet. Ongelma koski UV-säteilylle altistumattomia koekappaleita. Osa koekappaleista taittui vasaran iskuvoimasta, mutta katkesi vasta heilurivasaran palatessa takaisinpäin. Yksi koekappale UV-säteilylle altistumattomasta koemassa 1:stä ei katkennut lainkaan. Katkeamisongelmat aiheuttivat tuloksiin epätarkkuutta. Katkeamattomia koekappaleita ei otettu tuloksissa huomioon vaan jokaisen koemassan iskulujuus laskettiin keskiarvona katkenneista koekappaleista.

Koekappaleita oli jokaisesta koemassasta yhteensä 8: UV-säteilylle altistumattomia kappaleita 5 ja UV-säteilylle altistettuja kappaleita 3. UV-säteilylle altistettuja koekappaleita ei ollut mahdollista saada enempää, sillä UV-kaapissa olleet koekappaleet eivät olleet saaneet säteilyä tasaisesti koko koekappaleen matkalta vaan, värinmuutosten perusteella, säteilyn vaikutus oli suurin keskellä koekappaletta. Tästä syystä iskukoetta varten koekappaleet leikattiin UV-koekappaleiden keskikohdalta.

Koemassojen iskulujuudet on esitetty taulukkomuodossa liitteessä 1. Graafisessa muodossa iskukokeiden tulokset on esitetty kuviossa 23 ja 24.



KUVIO 23. Koemassojen Izod-iskulujuudet



KUVIO 24. UV-säteilyn jälkeiset iskuljuudet prosentteina alkuperäisestä

UV-säteilylle altistumattomien koekappaleiden osalta suurin iskuljuus oli koemassa 1:llä, jossa oli vähiten väripigmenttejä, massa ei sisältänyt lainkaan titaani-dioksidia. Vaikka koemassa 2 on iskuljuudeltaan heikompi kuin koemassa 3, on iskukokeen tuloksista nähtävissä, että pääsääntöisesti pigmenttimäärän kasvu heikentää iskuljuutta. Syytä koemassa 2 iskuljuuden heikkouteen ei osata sanoa.

UV-säteilylle altistettujen koekappaleiden iskulujuus oli laskenut kolmen koemassan osalta alle kymmenesosaan alkuperäisestä (kuvio 24). Kahden muun koemassan iskulujuus oli heikentynyt lähes kymmenesosaan alkuperäisestä. Myös UV-säteilylle altistettujen koekappaleiden osalta suurin iskulujuus oli koemassa 1:llä. Muiden koemassojen osalta pienin pudotus iskulujuudessa, ja toiseksi suurin iskulujuus, oli koemassa 5:llä. Tuloksista on nähtävissä, että iskulujuus oli heikentynyt alkuperäisestä sitä vähemmän, mitä enemmän titaanidioksidia koemassassa oli, poikkeuksena koemassa 1.

Tuloksista voidaan vetää johtopäätös, että pigmenttimäärän kasvu heikentää iskulujuutta, mikäli UV-säteilylle altistumista ei ole tapahtunut. UV-säteilylle altistettuna suuresta titaanidioksidin määrästä voidaan todeta olevan hyötyä, iskulujuus on parempi kuin pienemmällä titaanidioksidin määrällä. Paras iskunkesto, UV-säteilystä riippumatta, saatiin tässä tapauksessa kuitenkin massalla, jossa oli mahdollisimman vähän pigmenttejä eikä lainkaan titaanidioksidia.

Iskulujuustestien tuloksiin tulee suhtautua varauksella, erityisesti UV-säteilylle altistettujen koekappaleiden osalta. Vaikka iskulujuudet jokaisen koemassan sisällä olivat melko tasaisia, on kuitenkin huomioitava, että koekappaleiden määrä jokaista koemassaa kohti oli todella pieni. Suuremmalla otoksella tulos olisi luotettavampi. Myös UV-säteilylle altistumattomien koekappaleiden osalta tulos on epävarma, sillä kaikki koekappaleet eivät katkenneet oikein. Katkeamattomuus pienensi otoksen määrää kyseisten koemassojen kohdalla.

11.4 Pituussuuntainen muodonpysyvyys

Jokaisesta koemassasta testattiin standardin määräämät 3 koekappaletta. Testi suoritettiin standardin SFS 5814:1997 mukaisesti Lahden Ammattikorkeakoulun muovilaboratoriossa. Ainoa poikkeus standardiin tehtiin, kun testiä varten ei löytynyt sopivan kokoista lasilevyä. Testissä käytettiin puhdistettua, ruostumattomasta teräksestä valmistettua, melko kiiltävää levyä. Talkki, joka levitettiin levyn päälle, esti koekappaleiden tarttumista teräslevyyn.

Koekappaleet käyristyivät uunissa jonkin verran. Mittaviivojen etäisyys päätettiin mitata suoraviivaisesti eli ei kaarta myötäillen. Kaarevuuden todettiin olevan niin pieni, että sillä ei juuri ole vaikutusta mittaukseen, rullamitalla mitattaessa. Kaarevuuden vaikutuksen laskettiin olevan noin 0,33 mm, mikäli kaaren poikkeama suoralta olisi 5 mm. Koekappaleet on esitetty kuviossa 25. Kuvioista nähdään koekappaleiden kaarevuuden olevan kohtalaisen pieni.



KUVIO 25. Pituussuuntaisen muodonpysyvyyden testikappaleet

Koekappaleiden mittaviivojen välisen etäisyyden muutos mitattiin molemmilta sivuilta. Jokaiselle koekappaleelle ilmoitettiin suurempi muodonmuutos prosentteina alkuperäisestä mittavälistä. Jokaiselle koemassalle laskettiin keskimääräinen

muodonmuutosprosentti. Luokitus A-, B- tai S-luokkaan tehtiin keskiarvon perusteella. Tulokset on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Pituussuuntaisen muodonpysyvyyden -testin tulokset

	koekappaleen numero	suurin muodonmuutos [%]			luokitus
koemassa 1	1	5	keskiarvo [%]	3,67	B
	2	3			
	3	3			
koemassa 2	1	4,5	keskiarvo [%]	4,67	B
	2	5			
	3	4,5			
koemassa 3	1	4,5	keskiarvo [%]	4,50	B
	2	4,5			
	3	4,5			
koemassa 4	1	4	keskiarvo [%]	4,17	B
	2	4			
	3	4,5			
koemassa 5	1	4	keskiarvo [%]	4,33	B
	2	4,5			
	3	4,5			

Kaikilla koemassoilla muodonmuutos oli kutistumaa, ja kaikki koemassat saivat muodonmuutosluokituksesi luokan B. Koemassa 1, joka ei sisältänyt lainkaan titaanidioksidia, kutistui keskimääräisesti vähiten. Kyseisen koemassan kohdalla herätti huomiota se, että massan koekappaleilla oli sekä suurin että pienin kutistuma. Koekappaleiden 2 ja 3 perusteella koemassa 1 olisi yltänyt jopa A-luokkaan. Muut koemassat kutistuivat selvästi tasaisemmin. Toiseksi vähiten kutistui koemassa 4, joka sisälsi koemassoista toiseksi eniten titaanidioksidia.

Testin tuloksista ei ole havaittavissa, että titaanidioksidin määrällä olisi juuri vaikutusta muodonpysyvyyteen, ainakaan testattujen koemassojen titaanidioksidipitoisuuksilla. Ainoa johtopäätös, joka voidaan tehdä on se, että massa, jossa ei ole lainkaan titaanidioksidia, saattaa kutistua vähemmän kuin titaanidioksidia sisältävät massat.

12 YHTEENVETO

Työssä tutkittiin titaanidioksidin vaikutusta vaahdotetun PVC-profiilin ominaisuuksiin. Työn tarkoituksena oli antaa tietoa muovien värjäamisestä sekä titaanidioksidin määrän vaikutuksista väriin ja kappaleen ominaisuuksiin.

Työn teoriaosuudessa käsiteltiin PVC:tä, väriä tieteenä sekä sen syntymistä. Lisäksi työssä perehdyttiin muovien värjäämiseen, erityisesti pigmenttivärjäykseen ja titaanidioksidipigmentteihin. Työssä tutkittiin titaanidioksidin määrän vaikutusta muodostuvaan väriin ja värinkeston UV-säteilylle altistettuna. Lisäksi tutkittiin iskulujuutta pigmenttimäärän kasvaessa ja sitä, säilyttääkö runsaasti titaanidioksidia sisältävä kappale paremmin iskulujuutensa UV-säteilylle altistettuna. Työssä tutkittiin myös titaanidioksidin määrän vaikutusta sekä profiilin muodonpysyvyyteen.

Koemassoja oli 5, joista yhdessä ei ollut lainkaan titaanidioksidia. Muut koemassat sisälsivät 5, 10, 15 tai 20 grammaa titaanidioksidia jokaista Naturalmassakiloa kohti. Titaanidioksidin määrä vaikutti kaikkiin tutkittuihin ominaisuuksiin, paitsi muodonpysyvyyteen. Vaikutukset eivät kaikissa ominaisuuksissa kuitenkaan olleet yksiselitteisiä.

Titaanidioksidin määrän vaikutus koemassan väriin oli pääsääntöisesti lineaarista. Kuitenkin kaikissa väriarvoissa koemassa 3, joka sisälsi 10 grammaa titaanidioksidia yhtä Naturalmassakiloa kohti, poikkesi trendistä. Koemassa 3:n kohdalla titaanidioksidi vähensi punaisuutta ja lisäsi keltaisen väripigmentin vaikutusta. Titaanidioksidin määrä saattaa siis tietyllä pitoisuudella muuttaa muodostuvaa väriä poikkeukselliseen suuntaan. Tietyn pigmentin vaikutus saattaa vähentyä trendistä poikkeavasti ja toisen pigmentin vaikutus lisääntyä trendistä poiketen.

Uusia tuotevärejä etsittäessä voidaan suuntaviivoina pitää kuitenkin sitä, että titaanidioksidin määrä vaalentaa väriä lineaarisesti, sekä muuttaa a- ja b-arvoja lähemmäksi akselin keskustaa. Koeajot ovat uusia värejä mietittäessä kuitenkin erittäin tärkeitä, sillä pigmenttien keskinäisvaikutusta on vaikea arvioida etukäteen.

UV-A -testissä todettiin titaanidioksidin pienentävän UV-säteilylle altistuvien profiilien värimuutoksia.

Iskulujuuskokeissa todettiin pigmenttimäärän kasvun heikentävän iskulujuutta. Tulokset eivät kuitenkaan olleet täysin yhdensuuntaisia, sillä koemassa 2:n iskulujuus oli pienempi kuin koemassa 3:n. UV-säteilylle altistuneiden koekappaleiden iskulujuuskokeissa todettiin suuren titaanidioksidimäärän edistäneen hieman iskulujuuden säilymistä. Suurin iskulujuus oli kuitenkin molemmassa iskulujuuskokeissa koemassa 1:llä, joka ei sisältänyt lainkaan titaanidioksidia.

Pituussuuntaiseen muodonpysyvyyteen titaanidioksidin määrällä ei todettu olevan vaikutusta. Tutkimuksesta voitiin tehdä ainoastaan varovainen johtopäätös, että massa, joka ei sisällä lainkaan titaanidioksidia, saattaa kutistua vähemmän kuin titaanidioksidia sisältävät massat.

Työ antoi lisää tietoa väristä ja sen ominaisuuksista, muovien värjäyksestä sekä erilaisista väriaineista sekä tekijälle että työn teettäjälle. Teoriaosuus on hyödyllinen, sillä muovien värjäamisestä ja väriaineista ei suomen kielellä ole juurikaan kirjallisuutta. Työssä tehdyt tutkimukset lisäsivät Viamont Oy:n tietoa titaanidioksidin vaikutuksesta ja merkityksestä yrityksen valmistamissa tuotteissa. Tutkimusten avulla yritys pystyy tulevaisuudessa kehittämään tuotteitaan ja tuotevärejään ominaisuuksiltaan paremmiksi ja kestävämmiksi. Saadut tulokset ovat hyödyllisiä myös uusien tuotevärejä mietittäessä.

Työssä saadut tulokset eivät ole yleistettävissä kovin hyvin. Pigmenttien ilmeneminen tuotteessa riippuu hyvin paljon käytetyistä pigmenteistä sekä käytetystä titaanidioksidista. Jatkotutkimuksina titaanidioksidin vaikutuksia orgaanisiin ja epäorgaanisiin pigmentteihin voisi tutkia erikseen. Näin vaikutukset olisivat helpommin yleistettävissä erilaisiin tapauksiin.

LÄHTEET

BASF. 2011. Mono-pigment concentrates for PVC. Esite.

Charvat, R. 2004. Introduction to Colorants. Teoksessa Charvat, R. Coloring of Plastics Fundamentals. 2. painos. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 85–99.

Computer Science Lab. 2008. Direct3D 8 Tutorial #1 [viitattu 23.12.2010].
Saatavissa: <http://www.computersciencelab.com/Direct3DTut1.htm>

Heucobatch. 2007. Dust-free Color Solutions: Online Coloring of rigid PVC. Esite.

Holtzen, D & Reid, A. 2004. Titanium Dioxide Pigments. Teoksessa Charvat, R. Coloring of Plastics Fundamentals. 2. painos. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 146–158.

Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Söderkulla: Muovifakta Oy.

Jönkkäri, I. 2004. Polymeerien tutkimus- ja testausmenetelmät. Teoksessa Kylmä-
lä, M. (toim.) Muovialan perustietoutta. Tampere: Tampereen Teknillinen Yli-
opisto, 68–87.

Kasa, S. 2011. Titaanidioksidin fysiikkaa ja kemiaa maaleissa, muoveissa, kui-
duissa, kosmetiikassa ja itsepuhdistuvissa pinnoissa [viitattu 19.3.2011]. Saatavis-
sa:
http://www.ketek.fi/tiedostot/Seppo_Kasa.pdf

Lewis, P. 2004. Organic Colorants. Teoksessa Charvat, R. Coloring of Plastics
Fundamentals. 2. painos. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 100–
126.

Martin, W. & Weadon, C. 2004. Soluble Dyes. Teoksessa Charvat, R. Coloring of Plastics Fundamentals. 2. painos. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 175–184.

Mathew, W. & Hanlin, C. 2004. Color as a Science. Teoksessa Charvat, R. Coloring of Plastics Fundamentals. 2. painos. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 4–22.

MatWeb. 2011. Izod Impact Strength Testing of Plastics [viitattu 4.3.2011]. Saatavissa: <http://www.matweb.com/reference/izod-impact.aspx>

Opetushallitus. 2011. Analyysimenetelmät: Spektrometriset menetelmät [viitattu 29.3.2011]. Saatavissa:
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_5-1_yleista_spektroskopiasta.html

Parikka, T. 2008. Värimittaus. Luento Lahden ammattikorkeakoulussa 5.12.2008.

Philips. 2007. Kasvuvalo [viitattu 31.3.2011]. Tiedote. Saatavissa:
www.lighting.philips.com/fi_fi/.../role_of_light_finnisch.pdf

Polymeerimateriaalien perusteet osa 1. 2010. [viitattu 3.1.2011]. Saatavissa:
http://www.tut.fi/plastics/polyko/materiaalit/TTY/Perus/Polymeerimateriaalien_perusteet_osa1.pdf

Rangos, G. 2004. Inorganic Colored Pigments. Teoksessa Charvat, R. Coloring of Plastics Fundamentals. 2. painos. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 127–145.

Rihlana, S. 1992. Värioppi. 5. painos, neljännen tarkistetun painoksen muuttamaton painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

SAP Design Guild. 2003. Color Glossary A-C [viitattu 1.3.2011]. Saatavissa:
http://www.sapdesignguild.org/resources/glossary_color/index1.html

Seppälä, J. 2008. Polymeeriteknologian perusteet. 6. painos. Helsinki: Otatieto.

SFS 5814. 1997. Muovinen vaahdotettu PVC-lasituslista. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 180. 2001. Muovit. Izod-iskulujuuden määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

Shepherd. 2011. Inorganic pigments. Esite.

Sormanen, A. 2008. Valonlähteiden toisto-ominaisuuksien kuvaaminen. Teknillinen korkeakoulu, Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto [viitattu 23.12.2010].

Mittaustekniikan erikoistyyökurssin erikoistyyö. Saatavissa:

http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.erikoistyyo/reports/web/etyo_Sormanen.pdf

Viamont Oy 2011a. Tuotteet [viitattu 29.3.2011]. Saatavissa:

<http://www.viamont.fi/tuotteet>

Viamont Oy 2011b. Viamont Oy [viitattu 29.3.2011]. Saatavissa:

<http://www.viamont.fi/yritys>

Wikipedia. 2011. CIE 1931 color space [viitattu 1.3.2011]. Saatavissa:

http://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space

Wypych, G. 2010. Handbook of Fillers. Toronto : ChemTec Pub.

Zeus Industrial Products Inc. 2005. Coloring of Plastics [viitattu 6.12.2010].

Tekninen White Paper -julkaisu. Saatavissa:

http://www.zeusinc.com/UserFiles/zeusinc/Documents/Zeus_Coloring.pdf

LIITTEET

LIITE 1 Iskulujuuksien mittaustaulukot

Iskulujuuksien mittaustaulukot (koemassat 1-3)

	koekappale ei UV	Izod iskulu- juus [kJ/m ²]		koekappale UV	Izod iskulu- juus [kJ/m ²]
koemassa 1	1	ei katken- nut	ei katkennut en- sin	1	2,50
	2	25,06		2	2,91
	3	42,37		3	2,50
	4	26,05		ka	2,64
	5	30,70		% alku- peräisestä	9,67
	ka	27,27			
koemassa 2	1	20,51	ei katkennut en- sin	1	1,68
	2	27,97		2	2,03
	3	33,33		3	1,68
	4	22,22		ka	1,80
	5	23,08		% alku- peräisestä	7,66
	ka	23,45			
koemassa 3	1	19,66	ei katkennut en- sin	1	2,18
	2	26,15		2	2,22
	3	24,14		3	2,20
	4	28,21		ka	2,20
	5	24,14		% alku- peräisestä	9,15
	ka	24,04			

Iskulujuuksien mittaustaulukot (koemassat 4 ja 5)

	koekappale ei UV	Izod iskulu- juus [kJ/m ²]
koemassa 4	1	24,79
	2	22,03
	3	21,37
	4	22,41
	5	23,08
	ka	22,74

koekappale UV	Izod iskulu- juus [kJ/m ²]
1	2,17
2	2,17
3	2,52
ka	2,29
% alku- peräisestä	10,06

	koekappale ei UV	Izod iskulu- juus [kJ/m ²]
koemassa 5	1	23,08
	2	19,83
	3	23,28
	4	20,69
	5	21,37
	ka	21,65

koekappale UV	Izod iskulu- juus [kJ/m ²]
1	2,50
2	2,52
3	2,52
ka	2,51
% alku- peräisestä	11,61