

Monika Ovaska

Polttoparametrien vaikutus jauhemaalain visuaalisiin ominaisuuksiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Laboratorioanalyttikko (AMK)

Laboratorioala

Opinnäytetyö

05.12.2012

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Monika Ovaska Polttoparametrien vaikutus jauhemaalien visuaalisiin ominaisuuksiin 22 sivua + 4 liitettä 05.12.2012
Tutkinto	laboratorioanalyttikko (AMK)
Koulutusohjelma	laboratorioala
Suuntautumisvaihtoehto	kemiallinen analytiikka
Ohjaajat	lehtori Mia Ruismäki kemisti Tuukka Ryyänen
<p>Jauhemaalilla on liuotinvapaata maalijauhetta, joka koostuu sideaineesta, kovetteesta, väripigmenteistä, täyteaineista ja apuaineista. Yleensä jauhemaalit luokitellaan sideaineen perusteella. Jauhe varataan sähköstaattisella tai kitkavaraavalla ruiskulla ja ruiskutetaan maadoitetulle alustalle. Maalattu tuote uunitetaan 150–200 °C:ssa, jossa jauhe sulaa ja verkkoutuu maalikalvoksi. Tuote on käyttövalmis jäähtyttyään.</p> <p>Työssä esitellään yleisesti jauhemaalien koostumusta ja eri jauhemaalilaatujen eroja ja ominaisuuksia. Lisäksi työssä kuvataan jauhemaalien valmistusprosessi. Työssä esitellään myös laajasti jauhemaalien ominaisuuksien tutkimista.</p> <p>Työssä tutkittiin kiilto- ja sävyepölyisiä ylipoltetulta maalikalvolta laajasta sävyvalikoimasta. Kokeellinen osa kartoitti hyvin ongelmat, joista on vain hajanaisia kokemuksia ja tutkimustuloksia. Maalikalvojen sävyepölyisyyden tiedetään johtuvan maaleissa käytettyjen väripigmenttien ja pigmenttiyhdistelmien heikosta lämpöstabiilisuudesta. Työn tulokset osoittivat lämmönkestoltaan heikot pigmentoinnit ja antavat siten hyvät lähtötiedot niiden kehittämiseen. Työn kokeellisen osan perusteella voitiin todeta, että korkea poltto- ja lämpötila vaikuttaa pitkään polttoaikaan enemmän jauhemaalien visuaalisiin ominaisuuksiin.</p>	
Avainsanat	jauhemaalilla

Author Title Number of Pages Date	Monika Ovaska The Effect of Curing Parameters on the Visual Properties of the Powder Coatings 22 pages + 4 appendices 5th December 2012
Degree	Bachelor of Science
Degree Programme	Laboratory analyst
Specialisation option	Chemical analytics
Instructors	Mia Ruismäki, Senior Lecturer Tuukka Ryyänen, Scientist
<p>Powder coatings are solvent-free coating powders, which contain resin, hardener, color pigments, fillers and additives. Powder coatings are usually categorized by resin. Powder coatings are charged by an electrostatic or tribocharged spray-gun and sprayed to a grounded surface. The painted product is cured in an oven heated to 150–200 °C, where the powder melts and forms a netlike structure. After cooling, the product is ready to be used.</p> <p>This thesis presents compositions of powder coatings in general and differences and properties of different powder coating qualities. This thesis also describes the manufacturing process of powder coatings. The investigations of the properties of powder coatings are also widely presented in this thesis.</p> <p>This thesis focused on gloss and color difference of over-baked powder coatings from an extensive color selection. The practical part of this thesis pointed out problems that are only known from a few experiences and research results. The color difference in powder coatings is known to be from pigments and pigment combinations and their weakness for heat stability. This thesis pointed out the weakest pigmentation and gives good grounds to develop them further. After the practical part of this thesis it can be said that a high curing temperature has more of an effect than a long curing time on the visual properties of powder coatings.</p>	
Keywords	powder coatings

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Jauhemaali	2
2.1	Jauhemaalın koostumus	2
2.2	Jauhemaalın valmistus	4
2.3	Jauhemaalın poltto	5
3	Jauhemaalın ominaisuudet ja niiden tutkiminen	6
3.1	Yleisominaisuudet ja niiden tutkiminen	6
3.2	Mekaaniset ominaisuudet	9
3.3	Sään- ja korroosionkesto	10
4	Ruiskutustekniikat	12
4.1	Sähköstaattinen varaus	12
4.2	Kitkavaraus	13
5	Uunituskokeet	14
5.1	Työn tarkoitus ja menetelmien esittely	14
5.2	Laitteistot ja standardit	15
5.3	Työn suoritus	15
5.4	Tulosten käsittely	16
6	Yhteenveto	20
	Lähteet	21

Liitteet

Liite 1. Laitteistojen kuvat

Liite 2. Tulokset: visuaalinen arviointi

Liite 3. Tulokset: kiilto

Liite 4. Tulokset: sävyero

Lyhenteet

da	sävyero, punaisuus/vihreys
db	sävyero, sinisyys/keltaisuus
dE	kokonaissävyero
dL	sävyero, tummuus/vaaleus
DSC	differential scanning calorimetry
G60°	kiilto 60 asteen kulmassa
HAA	hydroksialkyyliamidi
MPa	megapascal
Tg	glass transition temperature, lasittumislämpötila

1 Johdanto

Työ on tehty Teknos Oy:lle (myöh. Teknos). Se on yksi maamme suurimmista perheyrittäjästä ja ainoa jauhemaalivalmistaja Suomessa. Yritys on perustettu vuonna 1948 ja sillä on henkilökuntaa noin 1000, joista Suomessa toimii noin puolet. Teknoksen päätoimipaikka sijaitsee Helsingin Pitäjänmäessä ja toinen maalitehdas Rajamäellä. Teknoksella on toimintaa myös Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa, Puolassa, Saksassa, Venäjällä, Iso-Britanniassa, Sloveniassa, Ukrainassa, Kiinassa, Valko-Venäjällä ja Vietnamissa. Tämän lisäksi vientiä on 25 maahan. [1; 2.]

Jauhemaalili on liuotinvapaata maalijauhetta, joka varataan sähköstaattisella tai kitkavaraavalla ruiskulla ja ruiskutetaan maadoitetulle alustalle (metalli). Ruiskutettu tuote uunitetaan 150–200 °C:ssa, jossa jauhe sulaa ja verkkoutuu maalikalvoksi. Tuote on käyttövalmis jäähtyään. Jauhemaalattuja tuotteita ovat esimerkiksi kodinkoneet, polkupyörät ja teräskalusteet. Jauhemaalien tuotanto on aloitettu vuonna 1971 Helsingissä ja siirretty Rajamäen tehtaalle vuonna 1977. [2; 3; 4; 8.]

Tässä työssä esitellään yleisesti jauhemaaliliä ja niiden ominaisuuksia. Työn kokeellisessa osassa tutkittiin, kuinka jauhemaalikalvon sävy ja pinnan laatu muuttuvat polttoparametrien muuttuessa. Polttoparametrit valittiin simuloimaan käytännön ylipolttotilanteita, joissa maalattu kappale saa liian pitkän polton tai polttolämpötila on liian korkea.

Salassapitosyistä työssä ei ole esitetty käytettyjen jauhemaalien tuotenimiä, ja sävyt on kuvattu yleisesti ilman varsinaisia sävykoodeja.

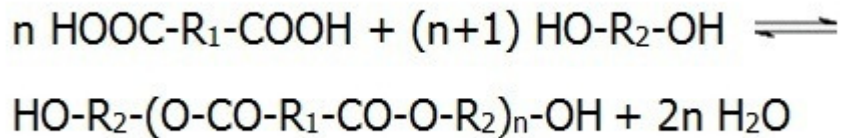
2 Jauhemaali

2.1 Jauhemaalien koostumus

Jauhemaali koostuu sideaineesta, kovetteesta, väripigmenteistä, täyteaineista ja apuaineista. Kaikki käytetyt raaka-aineet ovat kiinteässä muodossa, koska jauhemaalien valmistuksessa ei käytetä lainkaan nestettä. Yleisimmin käytetty jauhemaalien luokittelu perustuu sideaineisiin. [4; 8.]

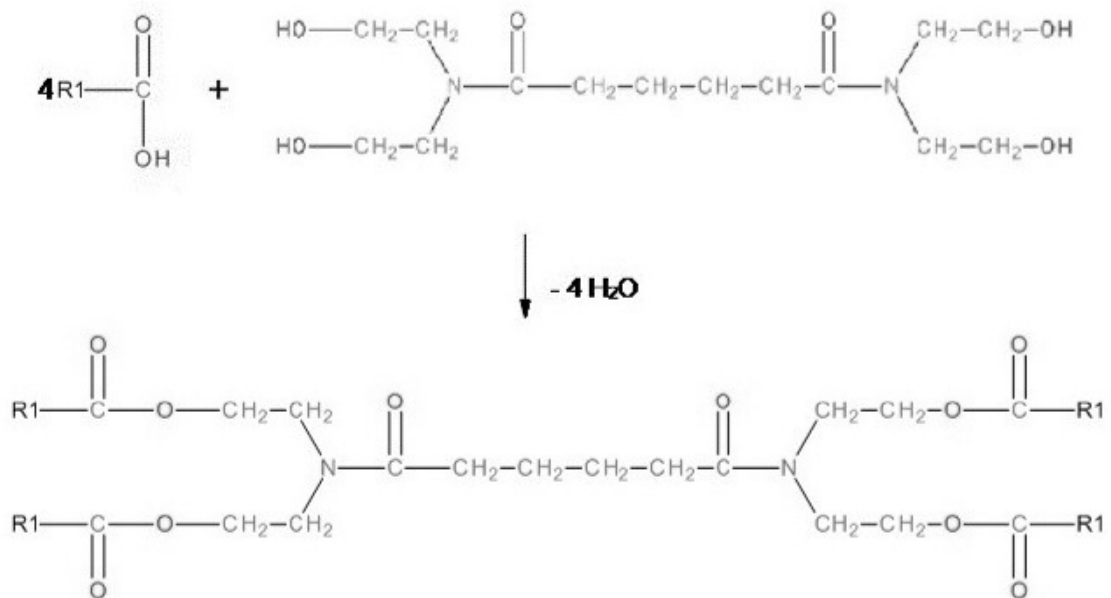
Sideaineita ovat epoksi, polyesteri, epoksi-polyesteri ja polyuretaani. Muita sideaineita ovat muun muassa akryyli ja silikoni. Epoksimaali soveltuu vain sisäkäyttöön, sillä ulkona maali liituuntuu helposti. Liituuntumisella tarkoitetaan maalikalvon hajoamista sideaineen pilkkoutuessa UV-valon vaikutuksesta. Epoksin kemikaalinkesto on erinomainen. Epoksi kestää kulutusta, ja sillä on hyvät korroosionsuojaominaisuudet, mutta se on herkkä värimuutoksille poltossa. Polyesterimaali sopii ulkokäyttöön, sillä se kestää sään vaihtelua ja UV-valoa. Polyesteri on mekaanisesti kestävä, mutta maalikalvo on herkkä neulanpistolle. Epoksi-polyesteriin on yritetty yhdistää molempien jauheiden hyvät ominaisuudet. Epoksi-polyesteri ei ole kuitenkaan kemikaalinkestoltaan ja kulutuskestävyydeltään epoksin tasoa. Polyuretaani on ominaisuuksiltaan polyesterin kaltainen, mutta sen ominaisuudet ovat laajemmin räätälöivissä. Polyuretaanin käyttöä rajoittaa sen kallis hinta. [3; 4; 6; 8.]

Kovete reagoi uunituksen aikana sideaineen kanssa luoden verkkomaisen rakenteen. Uunituksen aikana reaktion vaikutuksesta maalikalvo saavuttaa lopulliset ominaisuutensa. Maalikalvolla esiintyvää neulanpistomaista reikiintymistä voi syntyä polyesterimaalilla sideaineen ja kovetteen välisestä polykondensaatioreaktiosta, jossa lohkeaa vettä (kuva 1). Reikiintymistä ilmenee, jos maalikalvo ehtii kovettua ennen veden lopullista kaasuuntumista tai jos maalikalvosta kaasuuntuneen kondensaatioveden jättämät reiät eivät ehdi sulautua umpeen ennen kalvon kovettumista. [5; 6; 7; 8.]



Kuva 1. Polykondensaatioreaktio [5, s. 48].

Kuvassa 2 on esitetty HAA-kovetteen (hydroksialkyylimidi) ja karboksyyilifunktionaalisen polyesterin esteröintireaktio, jossa vapautuu vettä. Työssä tutkittujen polyesterijauhemaalien kovettumisreaktio tapahtuu kuvassa 2 esitetyn reaktioyhtälön mukaisesti.



Kuva 2. β -hydroksialkyylimidin (HAA) ja karboksyyilifunktionaalisen polyesterin esteröintireaktio, jossa vapautuu vettä [7, s. 80–81].

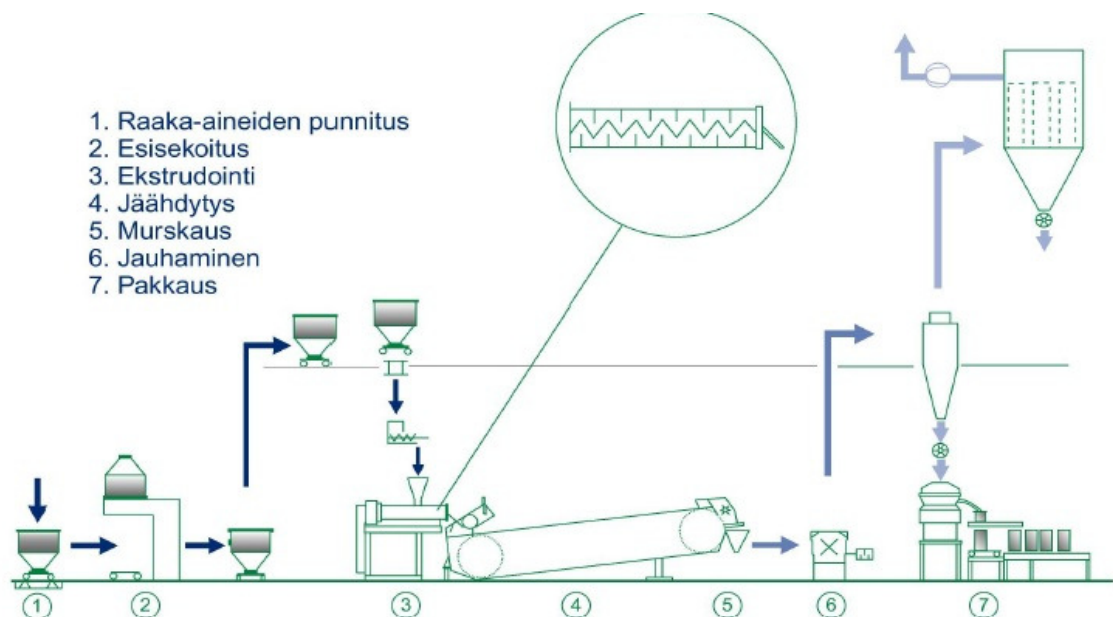
Väripigmentit voivat olla orgaanisia tai epäorgaanisia. Ne aikaansaavat maalin värin. Epäorgaanisia pigmenttejä ovat muun muassa synteettiset rautaoksidit, kromioksidivihreä, metallioksidit ja hiilimusta. Orgaanisia pigmenttejä ovat muun muassa atso-värit. [7.]

Täyteaineet ovat maalin halvin raaka-ainekomponentti. Täyteaineiden käyttö vaikuttaa jauhemaalien hintaan, kiiltoon ja kalvonrakenteeseen sekä siten tiiveyteen ja mekaanisiin ominaisuuksiin. Täyteainelaaduilla on vaikutusta myös säänkestoon, minkä takia sisä- ja ulkolaatuisissa jauhemaaleissa käytetään osittain eri täyteaineita.

Apuaineilla pyritään vaikuttamaan maalikalvolla ilmeneviin ongelmiin, joita ovat muun muassa appelsiinipinta, neulanpisto ja kellastuminen. Apuaineilla voidaan vaikuttaa myös maalattavuuteen. [3; 4; 5; 7.]

2.2 Jauhemaalain valmistus

Jauhemaalaa valmistetaan kuvan 3 mukaisella prosessilla seitsemässä vaiheessa. Vaiheessa 1 raaka-aineet punnitaan annetun jauhemaalireseptin mukaisesti. Vaiheessa 2 punnitut raaka-aineet esisekoitetaan keskenään. Vaiheessa 3 tapahtuu ekstrudointi eli raaka-aineet sulatetaan ja hierretään yhtenäiseksi massaksi [3]. Vaiheen 4 aikana sulatettu massa jäähdytetään ja vaiheessa 5 jäähtynyt massa murskataan pieniksi lastuiksi. Vaiheessa 6 lastut jauhetaan ja vaiheessa 7 jauheesta erotellaan sopivan kokoiset partikkelit tuotteeksi, joka seulotaan ja pakataan varastointia varten. Liian hienojakoinen jauhe voidaan kierrättää takaisin prosessiin tai se joudutaan hävittämään. [9.]



Kuva 3. Jauhemaalain valmistusprosessi [9].

2.3 Jauhemaalain poltto

Jokaiselle maalilaadulle on erikseen määritelty sopivat polttolämpötilat ja -ajat, jotka maalattavan alustan (metallin) tulee saavuttaa, jotta jauhemaalain kovettumisreaktio etenee loppuun saakka. Ylipoltolla tarkoitetaan tilannetta, jossa maalattua kappaletta pidetään uunissa pidempään ja/tai korkeammassa lämpötilassa kuin sen loppuun asti reagoimiseksi on tarpeellista. Alipoltossa maalattu kappale ei saa riittävän pitkää uunitusta ja/tai uunin lämpötila on liian alhainen. Alipoltettu maalikalvo ei ole mekaanisesti kestävä, eikä sitä voida päällemaalata. [4.]

Hitikko on maalikalvon virhe, jossa pinnan kiilto laskee ja pinnasta heijastuvasta kuvasta tulee epäselvä. Hitikko johtuu siitä, että jauhemaalain raaka-aineista haihtuvat komponentit eivät ehdi poistua kalvon pinnasta ennen kalvon lopullista verkkoutumista. Hitikoitumista tapahtuu esimerkiksi, jos kappale lämpenee liian nopeasti tai lämpötila on liian korkea. [6.]

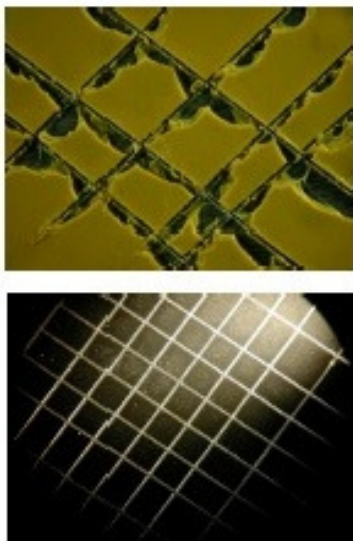
3 Jauhemaalain ominaisuudet ja niiden tutkiminen

3.1 Yleisominaisuudet ja niiden tutkiminen

Kalvonpaksuus ja *kiilto* voidaan mitata samalla mittarilla. Tyypillinen jauhemaalain tavoitekalvonpaksuus on 80–100 µm. Kiilto määräytyy kunkin maalityypin mukaan. Kiilto mitataan kolmessa kulmassa: 20°, 60° ja 85°, mutta yleensä käytetään 60° kulmalla mitattua arvoa. 20° kulmaa käytetään todella kiiltävillä maaleilla ja 85° kulmaa tulisi käyttää mattapintaisilla tuotteilla. [3.]





Sävyä voidaan arvioida visuaalisesti ja mitata sävymittarilla. Sävymittari mittaa spektrometrisesti sävyerot sävymalliin eli standardiin verraten: tummuus/vaaleus (dL), punaisuus/vihreys (da), sinisyys/keltaisuus (db) ja kokonaissävyero (dE). Kokonaissävyero lasketaan kaavan $dE = \sqrt{dL^2 + da^2 + db^2}$ avulla [7].

Maalikalvon tartunta alustaan määritetään hilaristikkomenetelmällä leikkaamalla maalikalvon ristikkokuvio testiin tarkoitetulla moniteräveitsellä. Leikkauksen tulee ulottua maalikalvon läpi alustaan asti. Testi ei sovellu yli 250 µm paksuisten maalikalvojen testaamiseen. Kuvassa 4 näkyy hilaristikkomenetelmän leikkausjälki huonolla ja hyvällä tartunnalla. [10.]



Kuva 4. Hilaristikkomenetelmän leikkausjälki huonolla ja hyvällä tartunnalla [10].

Tartuntatulokset arvioidaan hilaristikkomenetelmällä asteikolla 0-5 kuvan 5 mukaisesti. Hyvänä ja hyväksyttävänä tartuntatuloksena pidetään tartuntatuloksia 0 ja 1. [10.]

Luokitus	Kuvaus	Ulkonäkö leikkausalueella, josta hilseilyä on tapahtunut (Esimerkki kuudelle rinnakkaisleikkaukselle)
0	Leikkausurien reunat ovat täysin eileät, yksikään ristikon ruuduista ei ole irronnut	—
1	Pientä hilseilyä urien leikkauspisteissä. Leikkausristikon alueesta korkeintaan 5 % on vaurioitunut	
2	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta tai urien leikkauspisteissä. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 5 % mutta ei enempää kuin 15 %	
3	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina tai on hilseillyt osittain tai kokonaan ruutujen eri osista. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 15 % mutta ei enempää kuin 35 %	
4	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina tai joitain ruutuja on irronnut osittain tai kokonaan. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 35 % mutta ei enempää kuin 65 %	
5	Mikä tahansa hilseily, jota ei voida luokitella edes luokitteluasteen 4 mukaisesti	—

Kuva 5. Tulosalviointi hilaristikkomenetelmälle [12].

Paksujen maalikalvojen (> 250 µm) tartuntaa määritetään tyypillisesti vetokokeilla. Vetokokeessa maalikalvon pintaan liimataan vetonappula. Vetolaitteella vedetään nappulaa irti kalvosta vakiovetonopeudella, kunnes nappula irtoaa. Tuloksena ilmoitetaan vetolujuus megapascalina (MPa). Lisäksi arvioidaan murtumatyyppi: oliko irtoaminen adheesiosta johtuva vai koheesiosta (maalikalvon halkeamisesta) johtuva. [10.]

Jauhemaalain *partikkelikokojakauma* analysoidaan partikkelikokoanalyysointilaitteella ja keskipartikkelikoko on tyypillisesti noin 40–50 µm [4]. Partikkelikoko vaikuttaa maalattavuuteen siten, että runsaasti isoa partikkelia sisältävän jauheen ruiskutettavuus vaikeutuu ja tasaisen kalvonpaksuuden saavuttaminen on hankalaa. Isot partikkelit saattavat aiheuttaa myös maalipinnan karkeutta ja kiillon laskua. Liian suuri osuus pientä partikkelia heikentää myös maalin ruiskutettavuutta ja saattaa aiheuttaa maalauksilaitteiston tukkeutumista sekä heikentää ohiruiskutetun jauheen kierrätettävyyttä. Partikkelikokojakauman ollessa kapea ja optimoitu on maalattavuus hyvä ja maalikalvosta tulee tasainen.

Leijunta eli fluidisointiominaisuus kuvaa jauhemaalain irtonaisuutta, ja maalattavuutta arvioidaan leijuntatesteillä. Leijuntaa tarkoittavaa arvoa nimitetään R-arvoksi. R-arvo mitataan erityisellä laitteella, jolla jauheen alla olevan huokoisen alustan alle johdetaan ilmaa. Mittaaminen voidaan suorittaa lyhyen tai pitkän kaavan mukaan. Lyhyellä kaavalla mitattu R-arvo mitataan johtamalla ilmaa jauheelle 200 l/min 1–2 minuutin ajan. Tämän jälkeen mitataan jauheen pinnan korkeus huokoisesta alustasta millimetreissä. Sitten ilmavirtaus suljetaan ja odotetaan 1–2 minuuttia ja mitataan pinnan korkeus. Pitkällä kaavalla näiden lisäksi punnitaan jauheen massa, kun sitä on valutettu 30 sekuntia ulos laitteesta johdettaessa ilmaa jauheen alle 200 l/min. Valutus toistetaan kolmesti laittamatta jo valutettua jauhetta takaisin laitteeseen (massa pienenee). Massalle lasketaan kolmen punnitustuloksen keskiarvo. R-arvo lasketaan kaavalla

$$R = \frac{H1}{H0} \cdot m$$

jossa

R = leijunta

H1 = jauheen pinnan korkeus ilmavirtauksen kanssa, mm

H0 = jauheen pinnan korkeus ilman ilmavirtaa, mm

m = massojen keskiarvo, g

Varautuminen tarkoittaa jauheen tarrautumiskykyä maadoitetulle pinnalle. Varautuminen mitataan erillisellä ruiskulla, johon on liitetty suuri säiliö ja varautumista mittaavat anturit.

Lasittumislämpötila (T_g , *glass transition temperature*) on lämpötila, jossa kova ja lasimainen maalikalvo pehmenee ja sen joustavuus kasvaa. Maalikalvon lasittumislämpötila riippuu etenkin maalin sideaineista ja maalin kovettumisessa syntyvästä kemiallisesta verkkorakenteesta. Lasittumislämpötilan perusteella voidaan arvioida jauhemaalain varastointistabiilisuutta, käyttäytymistä valmistuksen ja kalvonmuodostuksen aikana sekä valmiin kalvon ominaisuuksia eri lämpötiloissa.

Lasittumislämpötila määritetään tyypillisesti DSC-laitteella (*differential scanning calorimetry*). [10.]

3.2 Mekaaniset ominaisuudet

Iskunkestävyys on koestusmenetelmä, jolla arvioidaan maalikalvon mekaanista kestävyyttä. Iskunkestävyys testataan siten, että maalattun kappaleen päälle pudotetaan vakiomassainen punnus tietyltä korkeudelta. Iskukokeen yksikkönä käytetään kg·cm. Iskukokeen jälkeen tutkitaan, syntyikö iskukohtaan maalikalvon halkeamia tai irtoamista alustasta. Maalin iskulujuus on se arvo, jonka kalvo kestää iskua ilman halkeamista. [10.]

Kalvon kovuutta voidaan määrittää muun muassa kynäkovuustestillä ja Königin heilurikovuustestillä. Kynäkovuustestissä käytetään kovuudeltaan erilaisia lyijykyniä ja kovuus määritetään tyypillisesti niin sanottuna raapaisukovuutena. Raapaisukovuudessa määritetään se lyijykynäkovuus, joka ei riko kalvoa, kun tasapaisella lyijyllä työnnetään kalvoa 45° kulmassa. Testi aloitetaan kovimmalla lyijykynällä ja siirrytään pehmeämpään. Arviointi suoritetaan tarkasti visuaalisesti tai kynnen avulla. Königin heilurikovuustestissä vakiomassainen heiluri asetetaan kalvon päälle. Heiluri asetetaan heilumaan vakiolähtökulmassa, ja testissä mitataan aikaa, joka kuluu heiluriliikkeen vaimenemiseen tiettyyn arvoon asti. Lyhyempi vaimennusaika tarkoittaa pehmeämpää kalvoa. [10.]

Maalikalvon kulutuksenkestävyyttä määritetään Taber-testillä, jossa hankauspyörät hankaavat maalattua testipaneelia tietyllä nopeudella. Testipaneeli tulee punnita ennen ja jälkeen testiä, koska maalin kulutuksenkestävyyttä arvioidaan hankauksen aiheuttaman maalin massahäviön perusteella.

Taber-testin tulos lasketaan kaavalla

$$\textit{kulutuskestävyys} = \frac{(A - B)1000}{C}$$

jossa

A = paino ennen testiä, mg

B = paino testin jälkeen, mg

C = hankauspyörien pyörimisnopeus, rpm

Maalikalvon joustavuutta voidaan määrittää niin sanotulla Erichsenin kimmoisuustestillä, jossa maalatun testipaneelin takaa painetaan pyöreäpäisellä vastuksella tyypillisesti nopeudella 0,2 mm/s, kunnes maalikalvo murtuu. Painauman syvyys mitataan ja testitulokset ilmoitetaan millimetreinä joko minimisyvytenä, jossa kalvo murtuu tai irtoaa, tai arvosteluna hyväksytty/hylätty, jos testataan jokin ennaltamäärätty muodonmuutos. [10.]

Taivutustestillä määritetään *maalikalvon taivutuslujuus* ilman maalikalvon hajoamista. Testipaneelia taivutetaan paksuudeltaan erilaisten putkien ympärille ja määritetään ohuin putki, jonka ympärille testipaneeli taittuu ennen kuin maalikalvo kärsii vaurioita tai hajoaa. [10.]

3.3 Sään- ja korroosionkesto

Nopeutetuilla säätesteillä arvioidaan *maalikalvon säänkestoa*. Testejä suoritetaan muun muassa QUV-laitteella, joissa fluoresoivat UV-valot simuloivat auringon UV-säteilyä. Testi suoritetaan esimerkiksi siten, että testipaneeleita pidetään ensin 4 tuntia UV-valon vaikutuksessa (60 ± 20 °C) ja sitten jatkuvassa kosteusrasituksessa kondenssivaiheessa 4 tuntia (40–45 °C). Kondenssijän jälkeen mitataan kalvon kiilto ja sävy, ja verrataan niitä alkuperäisiin arvoihin. Lisäksi arvioidaan myös muita mahdollisia vaurioita maalikalvossa. [10.]

Kondensaatiotesterillä simuloidaan sateen ja kasteen aiheuttamia vaurioita. Kuuman vesihöyryn annetaan kondensoitua maalikalvolle. Tyypillinen koestuslämpötila on 40 °C. [10.]

Syklisellä korroosiotestillä arvioidaan *maalikalvon korroosionkestoa*. Syklinen korroosiotesti suoritetaan laitteella, jolla on mahdollisuus luoda kolme erillistä ympäristöä: suolasumu, korkea ilmankosteus ja kuiva ilma. Näiden kolmen ympäristön välille luodaan sykli, jota toistetaan. [10.]

Neutraalilla suolasumulla testataan *maalikalvon korroosionkestoa* jatkuvassa vakioituissa suolasumuolosuhteissa. Testikammioon sumutetaan esilämmitettyä suolavettä (50 g/l NaCl). Testikammiossa vallitsee 35 °C:n lämpötila. [10.]

Kosteuskammiossa maalikalvon pinnalle muodostuu pintakosteutta, joka aiheuttaa korroosiota. Testiolosuhteet ovat vakiot: lämpötila 40 ± 3 °C ja ilmankosteus 95–100 %. [10.]

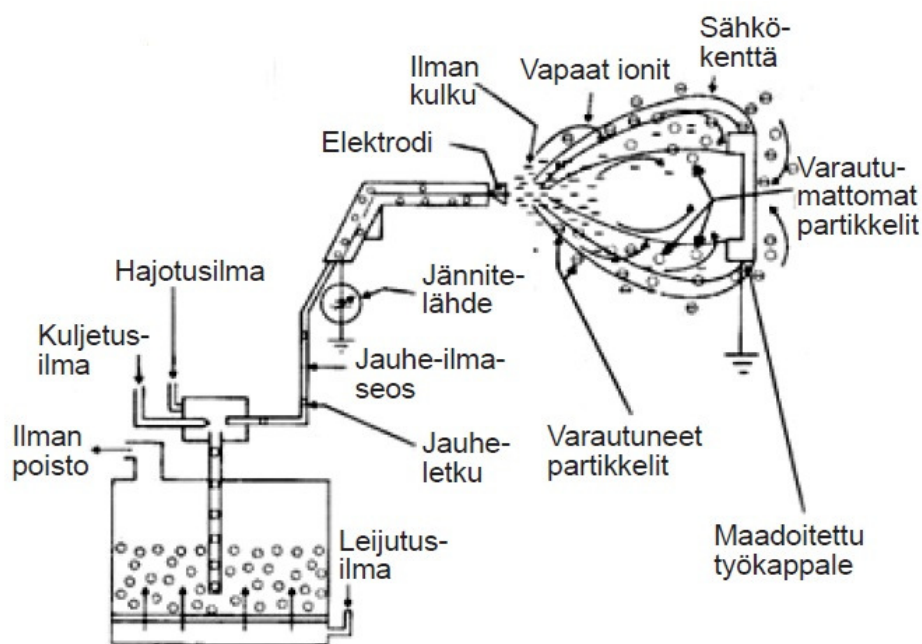
Edellä mainittujen korroosiokoestusten jälkeen maalikalvon vaurioita arvioidaan visuaalisesti standardien mukaan siten, että niistä arvioidaan erikseen muun muassa halkeilu, kuplinta ja ruostuminen. Lisäksi suolasumutestiin meneviin koestuslevyihin tehdään ennen koestuksia maalikalvon läpi viillot, joista arvioidaan koestusten jälkeen korroosion etenemistä millimetreinä.

4 Ruiskutustekniikat

Jauhemaaluspistoolin tarkoituksena on varata jauhe niin, että se tarttuu maalattavaan alustaan ja muodostaa tasalaatuisen jauhepilven, jotta maalausjäljestä tulee tasainen. Jauhemaaluspistooleita on kahdenlaisia: sähköstaattisesti varaavia ja kitkavaraavia. [11.]

4.1 Sähköstaattinen varaus

Jauhemaalari varautuu sähköstaattisesti erillisten elektrodien ansiosta. Elektrodit muodostavat sähkökentän, jossa on vapaita elektroneja, jotka varaavat sähkökentän läpi menevät jauhehiukkaset. Jauhe varautuu negatiivisesti, jolloin se tarttuu maadoitettuun alustaan. Sähköstaattista varausmenetelmää kutsutaan myös koronamenetelmäksi. Koronamenetelmän toimintaperiaate on esitetty kuvassa 6. [4; 5; 11.]



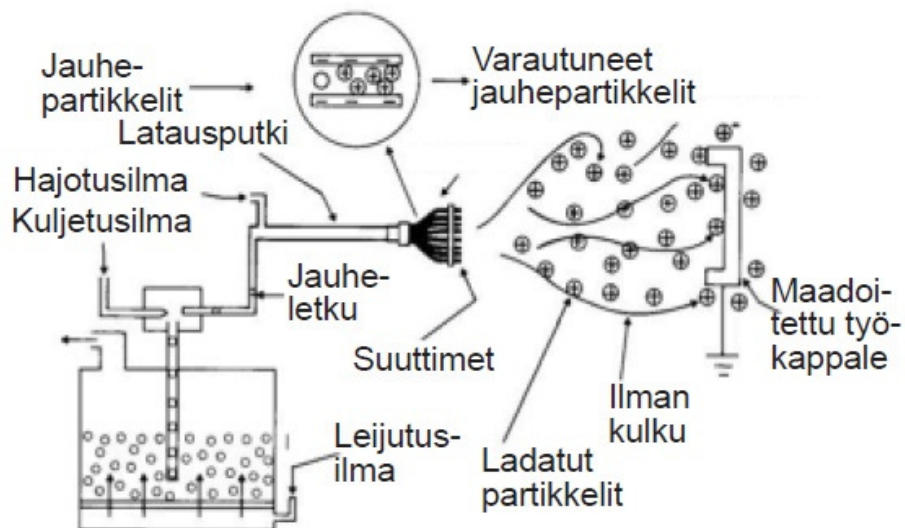
Kuva 6. Koronamenetelmän toimintaperiaate [4; 11].

Koronamenetelmällä on monia etuja: monipuoliset säätömahdollisuudet, sopiminen kaikille jauhetypeille, jauheen kertyminen teräviin reunoihin ja suuri

maalauksen kapasiteetti. Koronamenetelmällä on myös huonoja ominaisuuksia: Faradayn häkki-ilmiö, uudelleenmaalauksen hankaluus ja runsaampi ohiruiskutus kuin kitkavaraavalla menetelmällä. Faradayn häkki-ilmiössä sähkökentän suuruus vaihtelee kappaleen eri kohdissa, jolloin sisäkulmien maalaminen on vaikeaa ja ulkokulmiin ja ulkoreunoihin voi kertyä liikaa jauhemaalaa. [4; 5; 11.]

4.2 Kitkavaraus

Kitkavaraavassa laitteistossa jauhe varautuu hankautuessaan ruiskutuspuistoolin latausputken sisäpinnalla. Varautuminen perustuu elektronegatiivisuuseroon jauheen ja latausputken muovi-laatujen välillä. Kitkavaraavassa laitteistossa jauhe varautuu positiivisesti, jolloin se tarttuu maadoitettuun alustaan. Kitkavaraavan laitteiston toimintaperiaate on esitetty kuvassa 7. [4; 5; 11.]



Kuva 7. Kitkavaraavan laitteiston toimintaperiaate [4; 11].

Kitkavaraavan menetelmän etuja ovat sähkökentän puuttuminen (ei Faradayn häkki-ilmiötä), automaattimaalausmahdollisuus, uudelleenmaalauksen helppous sekä se, ettei tarvita erillistä jännitelähdettä. Huonoja ominaisuuksia ovat pieni kapasiteetti, jauheen varautumiseen ei voi vaikuttaa kuin virtausnopeutta säätämällä, kaikki maalit eivät sovi kitkalle, kierrätetty jauhe ei varaudu enää yhtä hyvin ja laitteiden puhdistus on työlästä. [4; 5; 11.]

5 Uunituskokeet

5.1 Työn tarkoitus ja menetelmien esittely

Työn tarkoituksena oli määrittää polttoparametrien vaikutusta jauhemaalain visuaalisiin ominaisuuksiin simuloimalla käytännön ylipolttotilanteita, joita voi tulla vastaan maalatessa jauhemaaleilla. Työn avulla pyrittiin selvittämään erityisesti eri sävyjen herkkyyttä sävy- ja kiiltopoikkeamiin ylipolttotilanteissa.

Työssä käytetyt jauhemaalit olivat puolikiiltäviä polyesterijauhemaaleja, joita käytetään tyypillisesti ulkokohteissa alumiini- ja teräsrakenteissa. Työssä käytettiin neljää eri lämpötilaa, joissa maalattua mallilevyä pidettiin ennaltamäärätyn ajan. Maalatuista levyistä mitattiin kiilto ja sävy-poikkeama sekä suoritettiin visuaalinen arviointi pintavirheiden havaitsemiseksi.

Työssä käytetyt polttoajat ja -lämpötilat olivat 15 min/190 °C, 30 min/205 °C, 8 min/220 °C ja 6 min/240 °C. 15 min/190 °C poltetu levy on niin sanottu standardilevy, johon muita levyjä on verrattu. 15 min/190 °C on suosituspoltto polyesterimaalille ja 30 min/205 °C kuvaa tilannetta, jossa jauhemaali saa liian pitkän polton. Vastaava ylipolttotilanne voi toteutua käytännössä esimerkiksi tilanteessa, jossa jatkuvatoiminen maalaus- ja uunituslinja pysähtyy kesken tuotannon. 8 min/220 °C ja 6 min/240 °C kuvaavat tilanteita, joissa jauhemaalain polttolämpötila on liian korkea. Ongelma voi toteutua käytännössä tilanteessa, jossa maalattava kappale koostuu sekä paksuista että ohuista metalliosista. Paksujen rakenteiden takia joudutaan käyttämään korkeita asetustilanteita, jolloin ohuiden rakenteiden lämpötila voi nousta liian korkeaksi. Lisäksi liian korkea polttolämpötila voi johtua häiriöstä tai laiteviasta uunin lämpötilan ohjauksessa. Myös epätasaiset lämpötilaolosuhteet uunissa voivat aiheuttaa korkeita ”piikkilämpötiloja” eri kohtiin maalattua kappaletta.

5.2 Laitteistot ja standardit

Työssä käytetyt laitteistot on esitetty taulukossa 1. Työssä käytettyjen laitteiden kuvat ovat liitteessä 1.

Taulukko 1. Työssä käytetyt laitteistot.

Laite	Malli	Valmistaja
uuni 1	Heratherm OMS100	Thermo Heraeus
uuni 2	UT 12	Thermo Heraeus
uuni 3	UT 6 P	Thermo Heraeus
kitkaruisku	EKM+Z1	EST+®
sävy mittari	600	Datacolor®
kiilto-/kalvonpaksuusmittari	micro-TRI-gloss μ	BYK
iskunkestävyyslaite	IP2000-ISO	TQC

Työssä käytetyt koestusmenetelmät ja standardit on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Työssä käytetyt koestusmenetelmät ja standardit.

Testi	Standardi
kalvonpaksuus	SFS-EN ISO 2808
kiilto	SFS-EN ISO 2813
sävy poikkeama	ISO 7724-2:1984
iskunkestävyys	ASTM D2794; 15,9 mm kuula
visuaalinen arvio	-

5.3 Työn suoritus

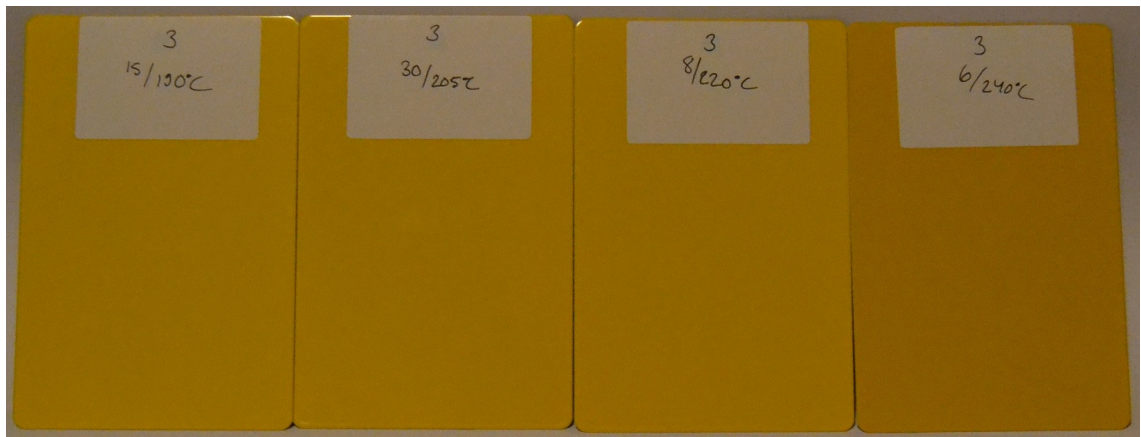
Työ aloitettiin ruiskuttamalla jokaisesta näytteestä 8 alumiinilevyä. Neljään eri lämpötilaan asetettuun uuniin laitettiin kaksi levyä ja odotettiin, että uuni saavuttaa asetetun lämpötilan. Laitettiin kello päälle ja levyt otettiin uunista testisuunnitelman mukaisen polttoajan täytyttyä. Levyistä mitattiin kiilto 60° kulmalla ja kalvonpaksuus

(liite 3). Kahdesta rinnakkaisesta valittiin kalvonpaksuudeltaan lähempänä tavoitekalvonpaksuutta (80–100 µm) oleva levy jatkokäsittelyä varten.

Jokaista levyä verrattiin ensin visuaalisesti 15 min/190 °C -polttoiseen levyyn ja kirjoitettiin huomiot ylös (liite 2). Tämän jälkeen 15 min/190 °C -poltoista levyä käytettiin sävymittauksen standardina ja muiden levyjen sävyt mitattiin siihen. Tulokset taulukoitiin liitteen 4 mukaiseen taulukkoon. Näytteille suoritettiin myös iskukoe pudottamalla punnus siten, että iskun kovuudeksi tuli 20 kg·cm ja 40 kg·cm.

5.4 Tulosten käsittely

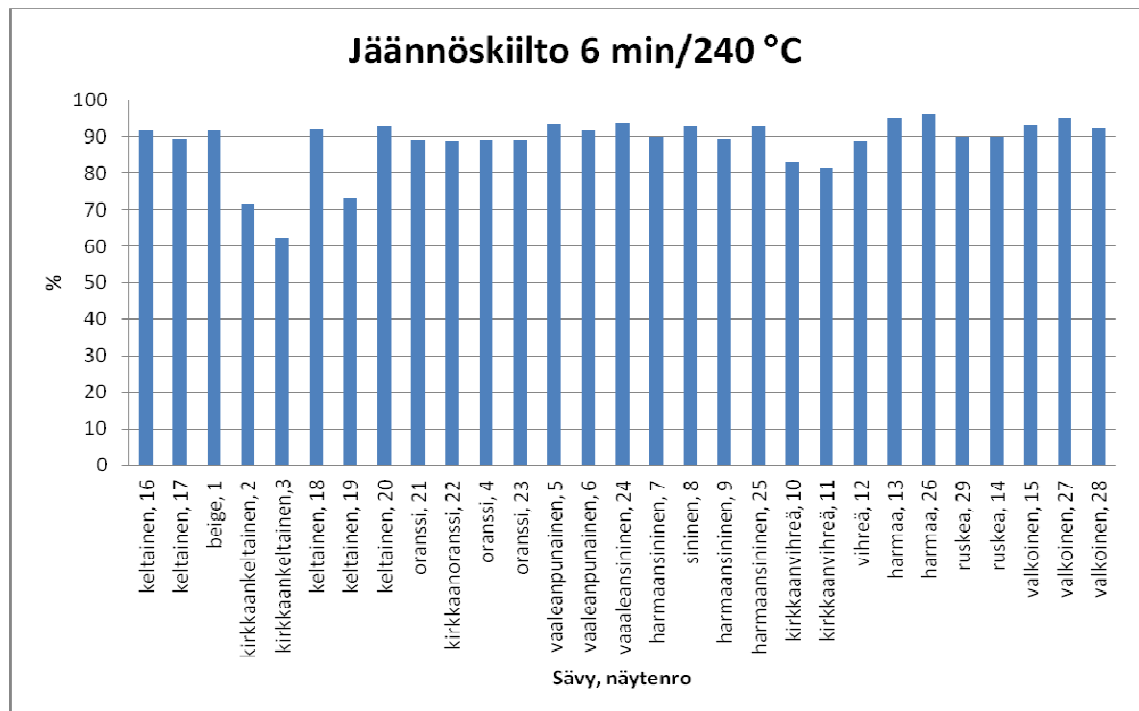
Visuaalisellakin arviolla oli huomattavissa suuria eroja joidenkin näytteiden kohdalla (kuva 8). Pinnan laatu oli hitikkoinen kovimman polton saaneissa levyissä. Joihinkin sävyihin polttolämpötila ei aiheuttanut hitikon lisäksi muita silmällä havaittavia eroja. Kuvassa 8 on havaittavissa visuaalisesti selkeä sävypoikkeama standardilevyn ja kovimman polton välillä. Pidempi polttoaika ei juuri vaikuta visuaalisesti sävyyn, jos lämpötila ei nouse liian korkeaksi.



Kuva 8. Näytteen 3 (kirjakaankeltainen) levyt valokuvattuna.

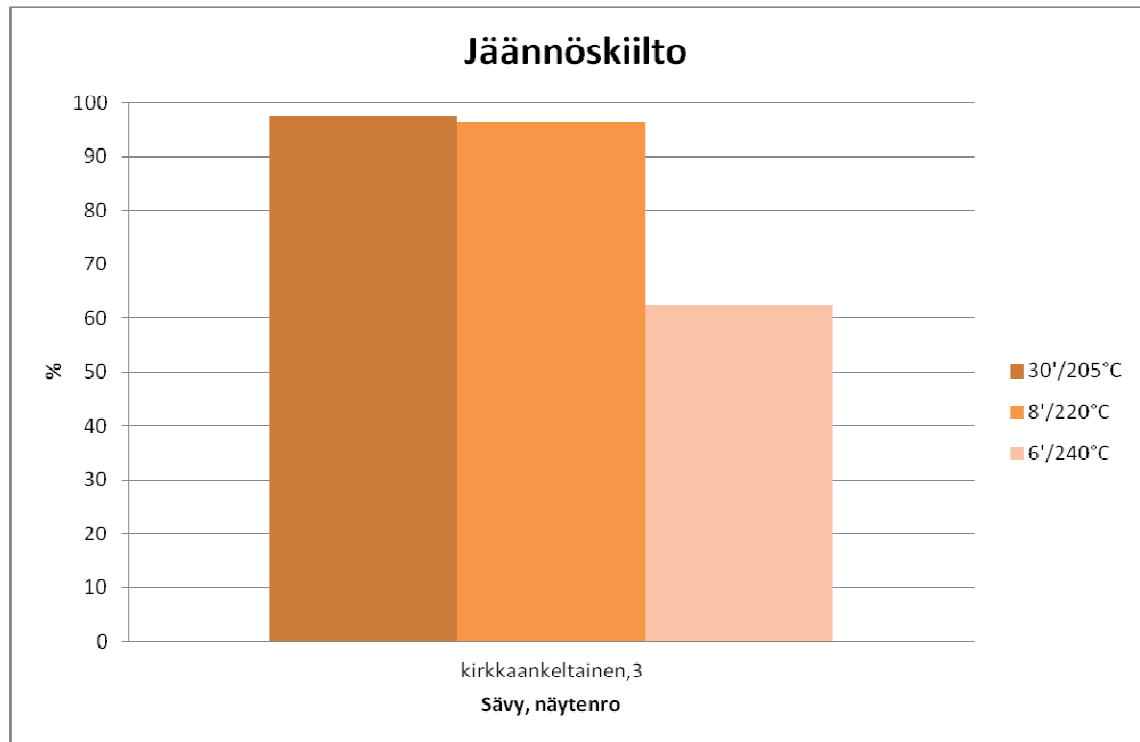
Kiiltopoikkeamat olivat huomattavia korkeammassa lämpötilassa poltetuissa levyissä varsinkin kirkaankeltaisissa sävyissä. Kuvassa 9 on esitetty jäännöskiilto prosentteina, kun on verrattu 6 min/240 °C -polttoista levyä 15 min/190 °C -polttoiseen levyyn. Jäännöskiilto on laskettu yhtälöllä

$$\text{Jäännöskiilto} = \frac{G60^{\circ}_{6/240\text{ }^{\circ}\text{C}}}{G60^{\circ}_{15/190\text{ }^{\circ}\text{C}}} \cdot 100\%$$



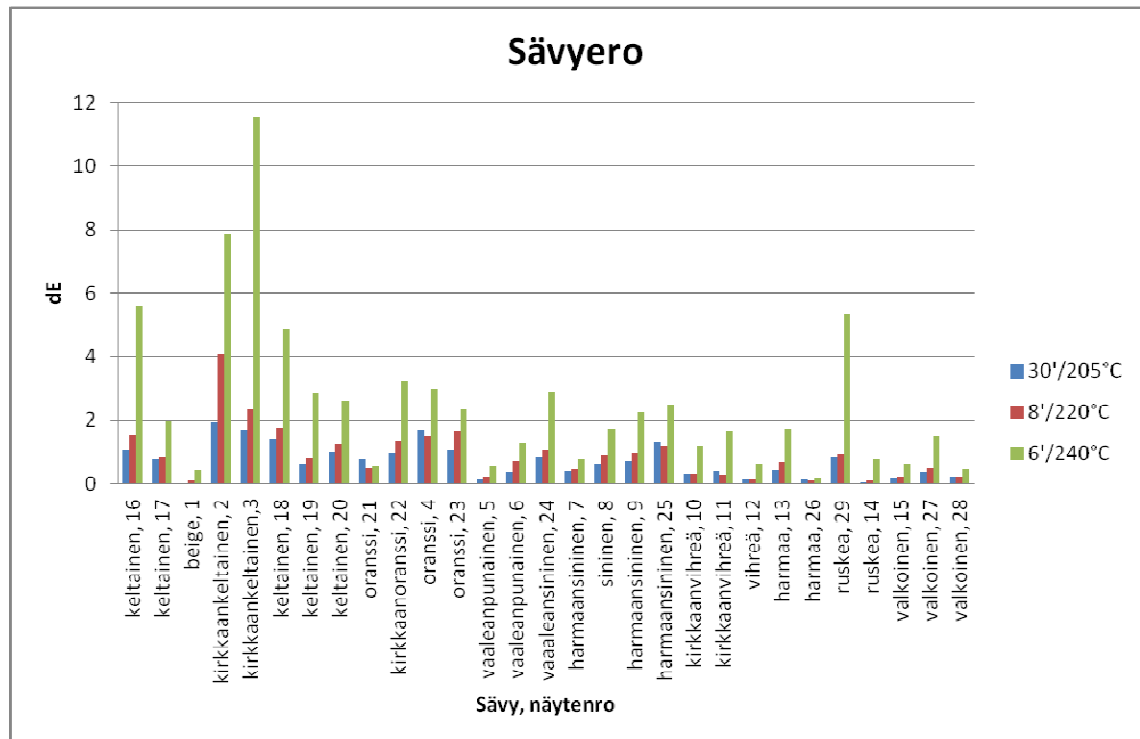
Kuva 9. Jäännöskiilto prosentteina 6 min/240 °C -poltolla.

Kuvassa 10 on esitetty näytteen 3 jäännöskiilto kolmella ylipoltolla. Jokaisella ylipoltolla on havaittavissa kiillon laskua. Kiiltoero on huomattava vain korkeimmalla polttolämpötilalla, sillä jäännöskiilloksi jää noin 60 %. Pitkäaikainen ylipoltto matalammalla lämpötilalla ei vaikuta kiiltoon yhtä paljon jäännöskiillon ollessa yli 95 %.



Kuva 10. Näytteen 3 (kirkkaankeltainen) jäännöskiilto kolmella ylipoltolla.

Kuvassa 11 on esitetty kokonaissävyopikkeama eri sävyissä. Suurin kokonaissävyopikkeama on kirkkaankeltaisissa sävyissä, varsinkin kovassa poltossa. Kuvasta 11 nähdään myös, että kovimman polton saaneissa levyissä on sävyopikkeamaa lähes kaikissa sävyissä. Sävyllisesti sävyopikkeamat ilmenivät tummempina sävyinä ylipoltossa varsinkin keltaisissa sävyissä. Tämä voidaan todeta myös sävymittaustuloksista sävyissä 2 ja 3 liitteessä 4.



Kuva 11. Kokonaissävyero eri poltoilla.

Iskukokeiden tuloksissa ei todettu merkittäviä eroja eri polttolämpötiloilla, eikä niitä siksi käsitellä työssä tämän laajemmin. Kalvon mekaaniset ominaisuudet heikkenevät vasta huomattavassa ylipolttilanteessa, kun sideainerakenne hajoaa korkean ja pitkäaikaisen lämpörasituksen vaikutuksesta. Työssä käytetyt lämpötilat eivät olleet riittävän korkeita ja polttoajat olivat liian lyhyitä, jotta ne olisivat aiheuttaneet maalikalvon mekaanisten ominaisuuksien heikkenemistä.

6 Yhteenveto

Jauhemaaleja on ominaisuuksiltaan ja raaka-aineiltaan erilaisia ja niitä voidaan tutkia monin eri menetelmin. Työssä keskityttiin polyesterijauhemaaliin ja tutkittiin polttoparametrien vaikutusta jauhemaalien ominaisuuksiin polttamalla maalinäytteitä eri lämpötiloissa eri ajan. Polton jälkeen maalatuista levyistä tutkittiin kalvonpaksuus, kiilto, sävy ja iskunkestävyys eri menetelmin. Eri polttoisia levyjä verrattiin standardilevyyn ja erot kirjattiin ylös. Apuna käytettiin myös visuaalista arviointia.

Työssä tutkittiin ylipolton vaikutusta jauhemaalikalvon ominaisuuksiin perusteellisesti laajalla sävyvalikoimalla, jolla pyrittiin saamaan ongelmasta kattava kokonaiskäsitys. Työllä pyrittiin siten täydentämään ja varmistamaan hajanaisia kokemuksia ja tutkimustuloksia. Kokeellinen osa kartoitti hyvin ongelmat etenkin keltaisten sävyjen suhteen. Maalikalvojen sävypoikkeamien tiedetään johtuvan maaleissa käytettyjen väripigmenttien ja pigmenttiyhdistelmien osittain heikosta lämpöstabiilisuudesta. Työn tulokset osoittavat siten lämmönkeston suhteen heikommät pigmentoinnit ja antavat hyvät lähtötiedot niiden kehittämiseen. Työn kokeellisen osan perusteella voitiin todeta, että korkea polttolämpötila vaikuttaa pitkää polttoaikaa enemmän jauhemaalien visuaalisiin ominaisuuksiin.

Lähteet

- [1] Teknos Oy. 2012. Tervetuloa Teknokseen -esite.
- [2] Teknos Oy. 2009. Jauhemaalit metalliteollisuudelle -esite.
- [3] Alén, Holger - Opetushallitus. 1999. Maalit ja niiden käyttö. 2. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.
- [4] Jokinen, Isto - Kuusela, Asko - Nikkari, Tapani. 2012. Pinnalla 2: Metallituotteiden maalaus. Tampere: Juvenesprint.
- [5] de Lange, Pieter Gillis. 2004. Powder Coatings: Chemistry and Technology. Chichester, Englanti: John Wiley and Sons Ltd.
- [6] Pietschmann, Judith. 2004. Virheet jauhemaalipinnoitteissa. Hannover, Saksa: Primedia Th. Schäfer GmbH.
- [7] Howell, David M. 2000. Powder Coatings Volume I: The Technology, Formulation and Application of Powder Coatings. Chichester, Englanti: John Wiley and Sons Ltd.
- [8] The Powder Coating Institute. 1997. Powder Coating: The Complete Finisher's Handbook. Alexandria, Virginia, USA: The Powder Coating Institute.
- [9] Ryyänen, Tuukka. 2011. Kemisti, Teknos Oy, Helsinki. Luento 12.9.2011.
- [10] Tokoi-Abrosimova, Evgenia. 2012. Kemisti, Teknos Oy, Helsinki. Luento 10.1.2012.
- [11] Jokinen, Isto – Opetushallitus. 2012. Jauhemaalaus. Verkkodokumentti. <<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/metallituotemaalaus/osa5.pdf>> Luettu 30.11.2012.

- [12] Suomen standardoimisliitto SFS. 2007. SFS-EN ISO 2409: Maalit ja Lakat: hilaristikkokoe.

Laitteistojen kuvat



Kuva 1. Uuni, Thermo Heraeus, Heratherm OSM100



Kuva 2. Uuni, Thermo Heraeus, UT 12



Kuva 3. Uuni, Thermo Heraeus, UT 6 P



Kuva 4. Kitkaruisku, EST+@, EKP M+Z1



Kuva 5. Sävy mittari, Datacolor 600@



Kuva 6. Iskunkestävyyslaite, TQC, IP2000-ISO



Kuva 7. Kiilto-/kalvonpaksuusmittari, BYK, micro-TRI-gloss μ

Tulokset: visuaalinen arviointi

Näyte	Sävy	Visuaalinen arviointi*		
		30'/205°C	8'/220°C	6'/240°C
1	beige		hitikko	hitikko
2	kirkkaankeltainen			sävy, hitikko
3	kirkkaankeltainen			sävy, hitikko
4	oranssi			sävy, hitikko
5	vaaleanpunainen			hitikko
6	vaaleanpunainen			sävy, hitikko
7	harmaansininen		sävy	sävy, hitikko
8	sininen			sävy, hitikko
9	harmaansininen			sävy, hitikko
10	kirkkaanvihreä		hitikko	sävy, hitikko
11	kirkkaanvihreä			sävy, hitikko
12	vihreä		hitikko	hitikko
13	harmaa			sävy, hitikko
14	ruskea			hitikko
15	valkoinen		hitikko	hitikko
16	keltainen		hitikko	sävy, hitikko
17	keltainen			sävy, hitikko
18	keltainen		hitikko	sävy, hitikko
19	keltainen		hitikko	sävy, hitikko
20	keltainen	sävy	sävy	sävy, hitikko
21	oranssi			hitikko
22	kirkkaanoranssi		hitikko	sävy, hitikko
23	oranssi		hitikko	sävy, hitikko
24	vaaaleansininen	sävy	sävy	sävy, hitikko
25	harmaansininen	sävy	sävy, hitikko	sävy, hitikko
26	harmaa		hitikko	hitikko
27	valkoinen		hitikko	sävy, hitikko
28	valkoinen			hitikko
29	ruskea			sävy, hitikko

* Verrataan pinnanlaatua 15'/190 °C -polttoiseen levyyn. Kirjataan mahdolliset poikkeamat sanallisesti.

Tulokset: kiilto

Näyte	Sävy	G60°			
		15'/190°C	30'/205°C	8'/220°C	6'/240°C
1	beige	84	82	80	77
2	kirkkaankeltainen	84	82	80	60
3	kirkkaankeltainen	80	78	77	50
4	oranssi	81	79	76	72
5	vaaleanpunainen	78	77	75	73
6	vaaleanpunainen	83	81	79	76
7	harmaansininen	79	77	74	71
8	sininen	82	81	78	76
9	harmaansininen	75	73	71	67
10	kirkkaanvihreä	82	80	78	68
11	kirkkaanvihreä	81	78	76	66
12	vihreä	79	76	74	70
13	harmaa	79	79	77	75
14	ruskea	78	76	75	70
15	valkoinen	86	84	84	80
16	keltainen	83	82	81	76
17	keltainen	84	81	80	75
18	keltainen	85	82	81	78
19	keltainen	85	83	81	62
20	keltainen	83	79	78	77
21	oranssi	83	80	78	74
22	kirkkaanoranssi	80	75	73	71
23	oranssi	82	80	78	73
24	vaaaleansininen	82	79	78	77
25	harmaansininen	82	79	78	76
26	harmaa	80	79	77	77
27	valkoinen	82	82	81	78
28	valkoinen	77	74	72	71
29	ruskea	79	75	74	71

Tulokset: sävyero

Näyte	Sävy	dL			da		
		30'/205°C	8'/220°C	6'/240°C	30'/205°C	8'/220°C	6'/240°C
1	beige	0,02	-0,05	-0,35	0,01	0,05	0,21
2	kirkkaankeltainen	-0,74	-1,63	-2,64	0,24	-0,51	-3,63
3	kirkkaankeltainen	-0,60	-0,90	-5,67	-0,12	-0,34	-0,39
4	oranssi	-0,43	-0,31	-0,80	-1,22	-1,14	-2,26
5	vaaleanpunainen	0,03	0,06	0,11	-0,09	-0,17	-0,44
6	vaaleanpunainen	0,10	0,17	0,29	-0,29	-0,55	-1,12
7	harmaansininen	0,15	0,15	0,25	0,25	0,32	0,48
8	sininen	0,27	0,43	0,77	0,25	0,45	0,80
9	harmaansininen	0,20	0,28	0,62	0,42	0,63	1,42
10	kirkkaanvihreä	-0,16	-0,13	-0,45	0,23	0,27	0,95
11	kirkkaanvihreä	-0,22	0,01	-0,53	0,32	0,29	1,39
12	vihreä	-0,04	-0,01	-0,11	0,11	0,10	0,59
13	harmaa	0,12	0,20	0,13	0,30	0,45	1,10
14	ruskea	-0,01	-0,03	-0,44	0,03	0,09	0,49
15	valkoinen	-0,01	-0,04	-0,16	0,01	0,00	0,01
16	keltainen	-0,46	-0,71	-2,84	-0,05	0,10	0,62
17	keltainen	-0,36	-0,36	-0,94	-0,26	-0,34	-0,47
18	keltainen	-0,66	-0,78	-2,33	-0,28	-0,34	-1,42
19	keltainen	-0,24	-0,33	-1,33	0,16	-0,20	-0,78
20	keltainen	-0,02	0,03	-0,02	-0,96	-1,23	-2,63
21	oranssi	-0,14	-0,06	-0,19	-0,44	-0,04	-0,10
22	kirkkaanoranssi	-0,70	-0,86	-2,08	-0,59	-0,40	-1,47
23	oranssi	0,25	0,29	0,48	-1,00	-1,52	-2,19
24	vaaaleansininen	0,30	0,40	0,70	0,45	0,55	1,03
25	harmaansininen	0,47	0,43	0,89	0,85	0,82	1,69
26	harmaa	0,00	-0,02	-0,04	-0,02	-0,03	-0,04
27	valkoinen	0,01	0,04	-0,11	-0,02	-0,12	-0,04
28	valkoinen	-0,07	-0,15	-0,35	-0,02	-0,09	-0,09
29	ruskea	-0,55	-0,60	-3,44	0,16	0,29	1,83

Näyte	db			dE		
	30'/205°C	8'/220°C	6'/240°C	30'/205°C	8'/220°C	6'/240°C
1	-0,10	0,04	0,12	0,03	0,08	0,43
2	-1,79	-3,74	-6,46	1,95	4,11	7,86
3	-1,53	-2,13	-10,06	1,65	2,34	11,55
4	-1,06	-0,92	-1,74	1,67	1,50	2,96
5	0,08	0,10	0,33	0,13	0,21	0,56
6	-0,20	-0,39	-0,56	0,37	0,70	1,28
7	0,26	0,31	0,54	0,39	0,47	0,77
8	0,46	0,63	1,35	0,59	0,88	1,75
9	0,52	0,68	1,65	0,70	0,97	2,26
10	-0,20	-0,14	-0,51	0,34	0,33	1,17
11	0,04	0,02	-0,64	0,39	0,29	1,62
12	0,06	0,06	-0,01	0,13	0,12	0,60
13	0,27	0,47	1,33	0,42	0,68	1,73
14	0,02	0,08	0,40	0,04	0,09	0,77
15	0,18	0,22	0,60	0,18	0,22	0,62
16	-1,08	-1,36	-4,81	1,10	1,54	5,62
17	-0,65	-0,70	-1,68	0,79	0,85	1,99
18	-1,18	-1,56	-4,07	1,38	1,78	4,90
19	-0,55	-0,72	-2,43	0,62	0,82	2,88
20	-0,30	-0,17	-0,11	1,00	1,25	2,63
21	-0,62	-0,48	-0,53	0,78	0,49	0,57
22	-0,33	-0,99	-2,00	0,98	1,37	3,24
23	0,36	0,48	0,69	1,09	1,62	2,35
24	0,67	0,87	2,63	0,86	1,10	2,91
25	0,88	0,76	1,62	1,32	1,19	2,50
26	0,11	0,09	0,15	0,12	0,10	0,16
27	0,37	0,48	1,48	0,37	0,50	1,49
28	0,23	0,15	0,28	0,24	0,23	0,46
29	-0,64	-0,69	-3,62	0,86	0,96	5,32