



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Niko Kuismin

# Jauhemaalattujen teräspintojen maa- laus nestemaalilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

30.4.2021

Tekijä Otsikko	Niko Kuismin Jauhemaalattujen teräspintojen maalaus nestemaalilla
Sivumäärä Aika	85 sivua + 3 liitettä 30.4.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	materiaali- ja pinnoitetekniikka
Ohjaajat	yliopettaja Kai Laitinen päällikkö Tomi Kontunen tuotekehityskemisti Janne Posti
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia jauhemaalattujen teräspintojen maalausta erilaisilla nestemaaliyhdistelmillä. Tutkimuksessa selvitettiin, mitkä nestemaaliyhdistelmät soveltuvat parhaiten jauhemaalipinnoille. Tutkittavaan aineistoon kuului neljä jauhemaalityyppiä, jotka olivat sinkkiepoksipolyesteri, epoksipolyesteri ja kaksi polyestieriä. Nestemaaliyhdistelmiä oli kuusi kappaletta, jotka koostuivat epoksi-, alkydi-, akrylaatti-, uretaani-alkydi- sekä polyuretaanimaaleista. Jauhemaalipinnoilla oli neljä erilaista esikäsittelytilaa.</p> <p>Insinööriyö koostui standardisoitujen teräslevyjen (Q-panel) maalauksista ensin jauhe- ja sitten nestemaaleilla sekä maalattujen levyjen koestuksista. Nestemaaliyhdistelmien soveltuvuutta eri jauhemaalipinnoille tutkittiin kahdella tartuntakokeella, jotka olivat veitsi- ja hilaristikkokoe, sekä yhdellä ympäristöolosuhdetestillä, joka oli kondenssitestti. Veitsikoe suoritettiin Teknos Oy:n sisäisen menetelmän mukaisesti, hilaristikkokoe standardin SFS-ISO 2409 mukaan ja kondenssitestti 240 tunnin koestusajalla standardien SFS-ISO 6270-1 ja SFS-ISO 12944-6 mukaisesti. Kondenssitestattujen levyjen maalikalvon rakkuloitumista, ruostumista, halkeilua ja hilseilyä arvioitiin standardin SFS-ISO 4628 mukaan. Lisäksi levyille tehtiin veitsi- sekä hilaristikkokoe.</p> <p>Tutkimuksen tulokset osoittivat, että karhennettomilla jauhemaalialustoilla esiintyi enemmän tartuntaongelmia ja rakkuloitumista. Päällemaalauksia ei tulisi lähtökohtaisesti suorittaa esikäsittelemättömille alustoille. Parhaiten menestyivät liuotinhenteiset epoksipohjamaali- ja polyuretaanipintamaaliyhdistelmät, liuotinhenteinen alkydipintamaaliyhdistelmä sekä vesiohenteinen akrylaattipintamaaliyhdistelmä. Huonoiten menestyivät vesiohenteiset alkydipohjamaali- ja uretaani-alkydipintamaaliyhdistelmä sekä epoksipohjamaali- ja epoksi-pintamaaliyhdistelmä. Polyesterijauhemaalit osoittautuivat kokonaisvaltaisesti huonommiksi maalausaloiksi kuin epoksipolyesteri- ja sinkkiepoksipolyesterijauhemaalit.</p>	
Avainsanat	korroosionestomaalaus, jauhemaalalaus, nestemaalalaus

Author Title	Niko Kuismin Painting Powder Coated Steel Surfaces with a Liquid Paint
Number of Pages Date	85 pages + 3 appendices 30 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Materials Technology and Surface Engineering
Instructors	Kai Laitinen, Principal Lecturer Tomi Kontunen, Manager Janne Posti, Product Development Chemist
<p>The aim of this bachelor's thesis was to study over-coating of powder-coated steel surfaces with different liquid paint combinations. Different testing methods were used in the study to determine which liquid paint combinations would be best suitable for different powder painted surfaces. Materials used in this study were four different types of powder coatings, which were zinc epoxy polyester powder, epoxy polyester powder, and two polyester powders. Also, there were six liquid paint combinations consisting of epoxy, alkyd, acrylate, urethane-alkyd and polyurethane paints.</p> <p>This bachelor's thesis consisted of paintings of standardized steel plates (Q-panel) first with powder and then liquid paints and different tests for the painted test panels. The suitability of the liquid paint combinations for different powder paint surfaces was investigated by two different adhesion tests, which were the knife test and the cross-cut test, and one environmental condition test, which was the condensation test. The knife test was performed according to Teknos Oy's internal method, the cross-cut test was performed according to standard SFS-ISO 2409 and the condensation test with a test time of 240 hours according to the standards SFS-ISO 6270-1 and SFS-ISO 12944-6. Blistering, rusting, cracking and flaking of the paint film of the condensation tested plates were evaluated according to the standard SFS-ISO 4628. In addition, the knife test and the cross-cut test were performed on the plates.</p> <p>The results of this study showed that untreated powder coated substrates showed more adhesion problems and blistering. Repair paintings should not, in principle, be applied to untreated substrates. The most successful painting systems were the solvent-borne epoxy primer and polyurethane topcoat combinations, the solvent-borne alkyd topcoat combination, and the water-borne acrylate topcoat combination. The worst painting systems were the water-borne alkyd primer and urethane-alkyd topcoat combination and the epoxy primer and epoxy topcoat combination. Overall, polyester powder coated substrates proved to be inferior than epoxy polyester and zinc epoxy polyester powder coated substrates.</p>	
Keywords	anti-corrosive painting, powder coating, wet coating

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Korroosionestomaalit	2
2.1	Nestemaalit	4
2.2	Jauhemaalit	6
2.3	Maalikalvon muodostuminen	8
2.4	Kemiallisen ja mekaanisen rasituksen kestävyys	13
2.5	Sideaineiden yhteensopivuus	15
3	Maalausmenetelmät	16
3.1	Jauhemaalaus	19
3.1.1	Sähköstaattinen varausmenetelmä eli koronamenetelmä	21
3.1.2	Kitkavarausmenetelmä	23
3.1.3	Monikerrosmaalaus jauhemaaleilla	24
3.1.4	Päällemaalattavuus nestemaaleilla	25
3.2	Nestemaalaus	26
3.2.1	Suurpaineruiskutus	29
3.2.2	Ilma-avusteinen suurpaineruiskutus (airmix)	31
4	Tutkimuksessa käytettävät materiaalit ja niiden käsittelyt	32
4.1	Maalausjärjestelmät	32
4.2	Hionta	34
4.3	Tartuntapohjamaalaus	35
4.4	Koelevyjen maalaus	36
4.4.1	Jauhemaalaus	36
4.4.2	Nestemaalaus	40
5	Testausmenetelmät	43
5.1	Märkäkalvonpaksuuden mittaus	44
5.2	Kuivakalvonpaksuuden mittaus	45

5.3	Veitsikoe	48
5.4	Hilaristikkokoe	49
5.5	Kondenssitesti	52
6	Tutkimustulokset	55
6.1	Kuivakalvonpaksuudet	55
6.2	Veitsikoe	56
6.3	Hilaristikkokoe	60
6.4	Kondenssitesti	63
6.5	Veitsikoe kondenssitestin jälkeen	66
6.6	Hilaristikkokoe kondenssitestin jälkeen	70
7	Tulosten tarkastelu	73
7.1	Kuivakalvonpaksuudet	73
7.2	Veitsikoe	74
7.3	Hilaristikkokoe	76
7.4	Kondenssitesti	77
7.5	Veitsikoe kondenssitestin jälkeen	79
7.6	Hilaristikkokoe kondenssitestin jälkeen	80
8	Johtopäätökset	82
	Lähteet	83
	Liitteet	
	Liite 1. Jauhemaalien kalvonpaksuuksien mittaustulokset	
	Liite 2. Pohjamaalien kalvonpaksuuksien mittaustulokset	
	Liite 3. Pintamaalien kalvonpaksuuksien mittaustulokset	

## Lyhenteet

VOC	Volatile Organic Compound. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet.
NDFT	Maalin kuivakalvon nimellispaksuus.
MNOC	Maalattavien kalvojen vähimmäismäärä.
MΩ	Megaohmi. Sähköisen vastuksen eli resistanssin yksikkö. Yksi MΩ vastaa 1 000 000 Ω:a.
kV	Kilovoltti. Jännitteen yksikkö. Yksi kV vastaa 1 000 V:a.
VO	Vesiohenteinen maali.
LO	Liutinohenteinen maali.
1K	1-komponenttinen maali. Ei vaadi kovetetta kovettuakseen.
2K	2-komponenttinen maali. Vaatii kovetteen kovettuakseen.

## 1 Johdanto

Korjaus- ja päällemaalauksia suoritetaan joka vuosi eri teollisuuden osa-alueilla toimiville koneen osille, kuten esimerkiksi kaivosteollisuuden koneen osille. Korjaus- ja päällemaalaukset ja siihen liittyvä tutkimus on erityisen tärkeää eri teollisuuden aloille. Ilman kunnollista tutkimusta ja koestusdataa ei pystyittäisi luomaan tarpeeksi luotettavaa sekä kestäväää korjaus- tai päällemaalauksia halutulle kohteelle.

Jauhemaalattujen kohteen uudelleenmaalaus tulee kysymykseen silloin, kun halutaan maalata vanha ja likaantunut kohde samalla tai toisella sävyllä, kun kohteen väri halutaan muuttaa, kun kohteessa on asennusvaurioita, jotka täytyy korjata tai silloin, kun kohde on niin vanha, että se joudutaan huoltomaalaamaan.

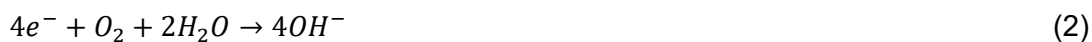
Tämän insinööriyön tarkoituksena on tutkia jauhemaalattujen teräspintojen päällemaalauksia erilaisilla nestemaaliyhdistelmillä. Insinööriyön tavoitteena on selvittää, mitkä nestemaaliyhdistelmät soveltuvat erilaisille jauhemaalatuille pinnoille. Tällä hetkellä Teknos Oy:n ohjeistus korjaus- ja päällemaalaukseen perustuu melko vanhaan koestusdataan, joten tarvitaan uudet koestussarjat. Koestussarjojen tuloksien pohjalta voidaan päivittää Teknos Oy:n korjaus- ja päällemaalauksen ohje palvelemaan nykyisiä tarpeita. Työ rajattiin jauhemaalattujen teräspintojen päällemaalauksen tutkimiseen erilaisilla nestemaaliyhdistelmillä.

Korjaus- ja päällemaalauksien tutkimista ja vaikutuksia on tehty kiitettävästi viime vuosina. Muun muassa Teknos Oy:ssä on tutkittu päällemaalattavuutta. Teknos Oy on aikaisemmin teettänyt tutkimukseen läheisesti liittyvän diplomityön, jossa tutkittiin erilaisien uunityyppien vaikutusta jauhemaalien päällemaalattavuuteen. Diplomityössä tutkittiin kaasu- sekä sähkölämmitteisten uunien vaikutuksia jauhemaalien päällemaalattavuuteen.

## 2 Korroosionestomaalit

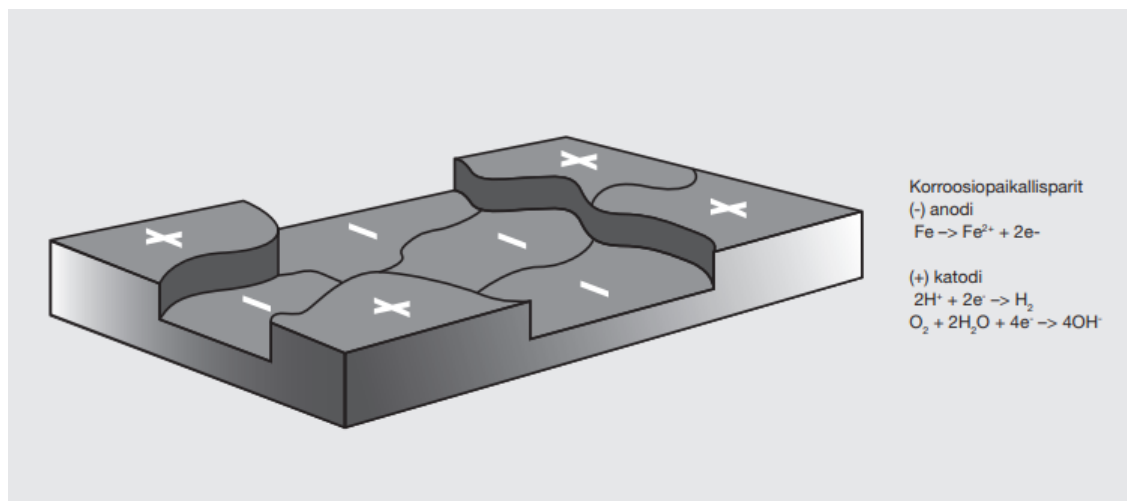
Korroosionestomaalaus on tärkeänä osana eri teollisuuden aloilla. Ilman kunnollista korroosionestomaalusta pinnoittamattomat koneen osat ruostumaan ajan myötä jo ilmankosteuden vaikutuksesta sekä ne voivat pahimmassa tapauksessa menettää toimintakykynsä korroosion edetessä. Tämän takia korroosionestomaaleja on kehitetty jatkuvasti, jotta ne pystyisivät estämään sekä hidastamaan korroosiota entistä tehokkaammin ja pidempään vaativimmissakin olosuhteissa. Pinnoittamattomilla metallipinnoilla korroosio on lähes varma lopputulos ajan kuluessa.

Korroosioilla eli syöpymisellä tarkoitetaan metallin fysikaalis-kemiallista reaktiota ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta. Korroosiossa on aina kyse metallien hapettumisesta. Metallit monien materiaalien joukossa pyrkii aina olotilaan, jossa sen sisäinen energia olisi mahdollisimman alhainen. Metallit pystyvät vähentämään sisäistä energiaansa hapettamalla, joka tarkoittaa elektronien luovuttamista. Raudan hapettuminen on yksi yleisimmistä korroosioreaktioista ja se voidaan esittää raudan ja veden välisenä sähkökemiallisena reaktiona. Reaktiossa metallinen rauta muuttuu vesiliukoiseksi rautaioneiksi  $Fe^{2+}$  samalla luovuttaen kaksi elektronia. Hapettumisreaktiossa (1) syntyvät vapaat elektronit täytyy saada kulutettua, jotta kemiallinen reaktio voisi jatkua. Hapetusreaktio tapahtuu korroosiokennossa anodilla, missä positiivisia metalli-ioneja liukenee liuokseen. Hapetusreaktion ylimääräiset elektronit saadaan kulutettua pelkistysreaktioissa (2, 3), jotka tarkoittavat elektronien vastaanottamista. Pelkistysreaktio tapahtuu korroosiokennossa katodilla. Happea sisältävä vesiliuos pelkistyy yhtälön (2) mukaisesti synnyttäen hydroksidi-ioneja. Nämä hydroksidi-ionit voivat reagoida  $Fe^{2+}$  -ionien ja veteen liuenneen raudan ja hapen kanssa muodostaen rautaoksidia (3 ja 4). [1.]





Yhdistämällä anodi- (1) ja katodireaktio (2) saadaan näiden kokonaisreaktiosta (3,4) tuotteena vesipitoista rautaoksidia  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , joka tarkoittaa arkikielessä ruostetta. Metallipinnalla voi esiintyä sähkökemiallisia anodi- ja katodipareja. Kuten kuvasta 1 nähdään, nämä paikallisparit voivat esiintyä joko vierekkäin, jolloin korroosio on tasaista, tai erillään, jolloin korroosio on voimakkaampaa. Kun tiedetään miten metallien korroosio tapahtuu, voidaan sitä pysäyttää joko estämällä anodi- ja katodireaktioita tai estämällä anodi- ja katodiparien muodostumista metallipinnalle. [2, s. 9–10.]



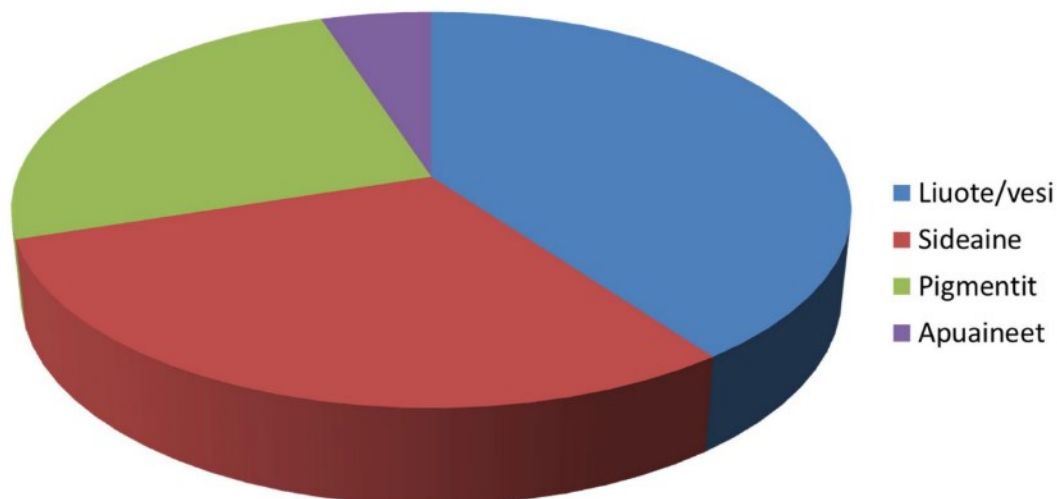
Kuva 1. Metallipinnalla sijaitsevat anodi- ja katodiparit sekä niiden väliset sähköjohtimet [2, s. 9].

Korroosionestomaalien tarkoituksena on suojata pinnoitettavaa kohdetta ympäristön rasituksilta, kuten korroosiolta. Korroosionestomaali on jauhemainen tai nestemäinen tuote, joka levitetään pinnoitettavalle kohteelle tietyn paksuiseksi kerrokseksi. Kun levitetty kerros on kovettunut, tämä kerros muodostaa yhtenäisen alustassa kiinni olevan kalvon. Nestemäiset korroosionestomaalit koostuvat sideaineista, liuottimista tai vedestä, pigmenteistä sekä apuaineista. Jauhemaalit eroavat nestemaaleista siinä, että ne eivät yleisesti sisällä liuotetta tai vettä. Tietyissä jauhemaaleissa saattaa kuitenkin esiintyä erittäin pieniä määriä liuottimia. Yleisesti vähäisetkin liuotinmäärät haihtuvat uunissa sulatuksen yhteydessä. Maaliin valikoiduilla komponenteilla voidaan vaikuttaa muun muassa korroosion kestävyteen, maalin kovettumiseen, mekaanisen sekä kemiallisen rasituksen kestävyteen sekä ulkonäköön. Esimerkiksi epoksimaalilla luotu tarpeeksi paksu, ehjä ja tiivis maalikalvo eristää maalatun metallialustan ympäristöstä ja siten estää korroosiossa esiintyvien anodi- ja katodiparien muodostumista. [2, s. 9–11, s. 25–28.]

Korroosionestomaaleihin lisätään eri korroosionestopigmenttejä estämään ja hidastamaan korroosioreaktioiden muodostumista. Korroosionestopigmentteinä käytetään yleisesti eri fosfaatteja ja boraatteja. Korroosionestopigmenttiä sisältävä maali hidastaa tai estää kokonaan metalli-ionien liukenemisen anodialueilta siten, että eri fosfaatit ja boraatit muodostavat anodialueille paksuja suojakerroksia, kun ne ovat reagoineet veden kanssa. Korroosionestopigmenttiä sisältävä maali on tarkoitettu ilmastorasitusolosuhteissa olevalle pinnoitettavalle kohteelle. Korroosioinhibiittejä käytetään yleisesti vesiohenteisissa maaleissa ja näiden tarkoituksena on estää ruostumista maalin kuivumisen aikana. Maalin rikastaminen sinkkipölyllä antaa maalille ominaisuuden suojata rautametallialustaa katodisesti. Sinkkipöly esiintyy teräsalustan ja maalikalvon välissä epäjalompana metallina ja täten estää itse teräksen ruostumisen. [2, s. 10.]

## 2.1 Nestemaalit

Nestemaalit ovat käytetyimpiä ja suosituimpia maalityyppejä varsinkin kuluttajapuolella niiden levityksen helppouden takia. Nestemaalien levityksessä ei tarvitse miettiä sähköisen varauksen aikaansaamista pinnoitettavan kappaleen ja ruiskutettavan maalin välille, mikä tuo merkittävän edun varsinkin kuluttajapuolelle. Nestemaali on nimensä mukaisesti levitysvaiheessa nestemäisessä muodossa. Kuten alla olevasta kuvasta 2 nähdään, nestemaalit koostuvat sideaineista, liuottimista tai vedestä, apuaineista sekä pigmenteistä. Kun halutaan valmistaa nestemäinen korroosionestomaali, maaliin lisätään aikaisemmin mainittuja korroosionestopigmenttejä tai muita korroosiota inhiboivia aineita. [3.]



Kuva 2. Nestemaalien koostumus [3].

Maalikalvo muodostuu sideaineesta sekä siihen dispergoituista pigmenteistä ja apuaineista. Jos maalikalvo ei sisällä pigmenttejä, sitä kutsutaan lakkakalvoksi. Nestemäiset maalit sisältävät yleisesti joko liuotetta tai vettä, jolloin ne voidaan luokitella vesiohenteisiksi tai liuteohenteisiksi maaleiksi. On myös olemassa liuotteettomia nestemaaleja, jotka eivät sisällä vettä tai liuotetta. Liuoteohenteisessa nestemaalissa sideaine on liuotettu tai dispergoitu liuotteeseen, kun taas vesiohenteisessä nestemaalissa sideaine on dispergoitu veteen. Liuotteen tai veden tehtävänä on antaa nestemaalille mahdollisimman hyvä viskositeetti, jolla parannetaan maalauksen suoritusta. Liuote tai vesi haihtuu maalikalvon kuivumisen aikana maalikalvosta pois. Liuote tai vesi vaikuttaa erityisesti maalattavuuteen sekä kalvonmuodostukseen. [4, s. 12.]

Jokaisella nestemaalilla on oltava sideaine. Sideaineen tehtävänä on muodostaa eräänlainen väliaine, joka on kosketuksissa alustan ja ympäristön kanssa. Maalin sideaine vaikuttaa siihen, miten maalikalvo tarttuu alustaansa ja miten maalikalvo kestää erilaisia rasituksia. Nestemaalien sideaineet ovat yleensä polymeerejä, orgaanisia tai lakkahartseja. [4, s. 10.] Nestemaalit jaotellaan niiden sideaineiden perusteella palautettaviin (reversiibelit) ja palautumattomiin (irreversiibelit) sideaineisiin. Palautettavissa olevan pinnoitteen sideaineena on yleisesti polymeeri. Palautettavissa oleviin sideaineisiin luokitellaan akryyli-, vinyyli- ja kloorikautsumaalit. [5, s. 2.] Palautumattomiin sideaineisiin luokitellaan muun muassa jauhemaalit, jotka ovat yleensä 2-komponenttisia,

muut 2-komponenttiset maalit sekä kaikki muut maalit, joita ei luokitella palautettavissa oleviin sideaineisiin. [5, s. 2–3.]

Nestemaalit, joita ei luokitella lakkamaaleiksi, sisältävät pigmenttejä. Pigmentit ovat jauheita, jotka dispergoidaan sideaineeseen maalinvalmistuksessa. Pigmenttien tarkoituksena on antaa maalille värisävy, korroosiosuojaus tai peittokyky. Pigmenttityyppejä ovat

- korroosionestopigmentit
- väripigmentit
- apupigmentit [4, s. 10.]

Nestemaalit sisältävät myös tietyn verran apuaineita (noin 5 %), jotka estävät muun muassa mikrobien kasvua maaleissa. Mikrobien kasvua maaleissa estetään muun muassa siihen tarkoitetuilla biosideillä. Muita hyötyjä apuaineiden lisäämisestä nestemaaliin on parempi maalikalvon kiilto sekä UV-säteily- ja naarmuuntumiskestävyys. [4, s. 12.]

## 2.2 Jauhemaalit

Jauhemaalit ovat käytetyimpiä ja suosituimpia maalityyppejä nestemaalien ohella varsinkin teollisuuspuolella. Jauhemaalit ovat laajasti korvanneet nestemaalien tarpeen pienten ja keskisuurten metallituotteiden maalauksissa. Suuret ja paksut kappaleet maalataan kuitenkin yleisesti nestemaaleilla. Teollisuudessa käytettävillä jauhemaaleilla maalataan muun muassa eri kodinkoneita, kuten jääkaappeja, pesukoneita ja mikroaaltouuneja. [6, s. 174.]

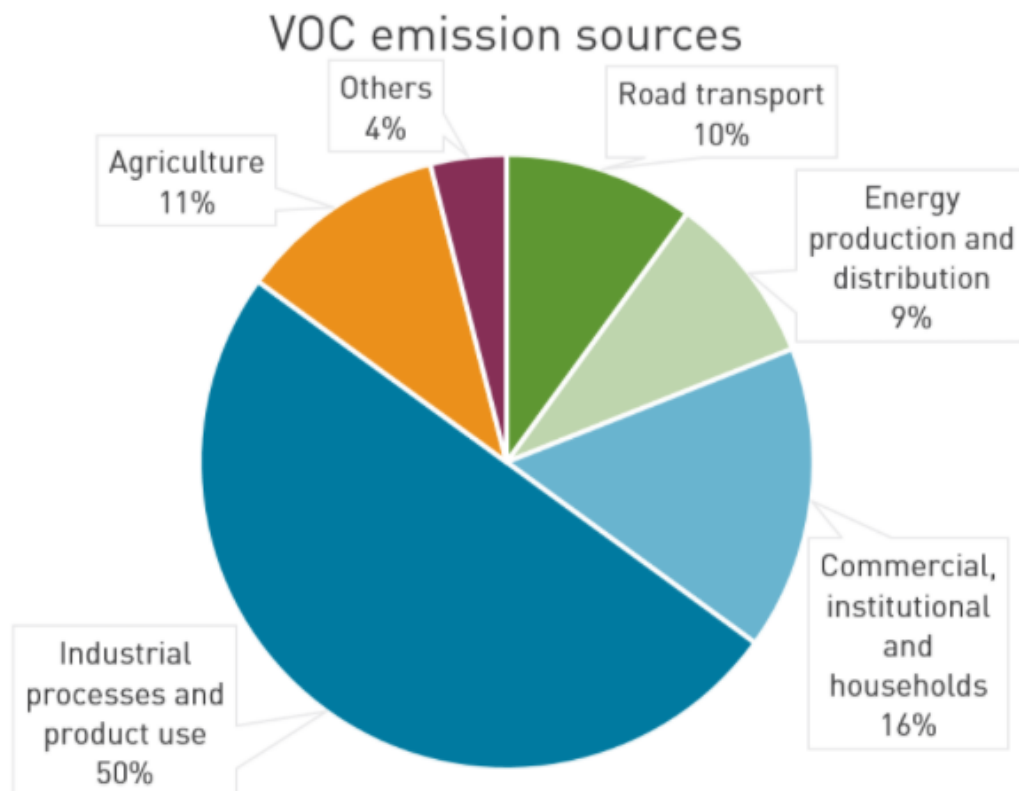
Jauhemaalit koostuvat sideaineesta, pigmenteistä, kovetteesta, täyteaineista sekä apuaineista. Ainoa ero jauhemaalien ja nestemaalien komponenttien välillä on liuotteen tai veden puuttuminen jauhemaalista. Muita eroja neste- ja jauhemaalien välillä on itse maalauksen suoritustapa sekä maalikalvon muodostuminen. Jauhemaalien valmistuksessa kaikki jauhemaalien ainesosat on sekoitettu keskenään seokseksi, minkä jälkeen seos sulatetaan nestemäiseksi uunissa. Seoksen jäähtyttyä jauheseos vielä jauhetaan tasalaatuisiksi. Tällöin jauhemaalien partikkelikoko on yleisesti noin 30–50 µm. Jauhemaalien

sideaineina käytetään yleisesti epoksia, polyesteriä ja polyuretaania. Yleisemmin käytettyjä jauhemaalityyppejä ovat polyesteri-, epoksi-, epoksipolyesteriseos- ja polyuretaanijauhe. Erikoistarpeisiin on olemassa myös erikoisjauhemaaleja, kuten metallihohto-, struktuuri- ja kuumankestojauhemaalit. Metallihohto- ja struktuurijauhemaalien sideaineina käytetään yleisesti polyesteriä, epoksi-polyesteriä tai epoksia. Metallihohtojauheemaalien erikoisefekti saadaan aikaan lisäämällä metallipigmenttejä metallihohtojauheemaalien valmistuksessa itse jauheeseen. Kuumankestävän jauhemaalien sideaineena käytetään kiinteää silikonihartsia. Kuumankestoiset jauhemaalit korroosionestomaalauksessa ovat uusi keksintö ja ne täyttävät jopa rasisluokan C4-H. [6, s. 182; 7.]

Jauhemaalien pigmentit ovat pitkälti samoja kuin nestemaaleissa käytettävät pigmentit sillä erotuksella, että jauhemaaleissa on käytettävä kuumuutta kestäviä pigmenttejä koska jauhemaalikalvo muodostuu vasta jauhemaalattun kappaleen uunituksen aikana noin 130–200 °C:ssa. Jauhemaalit sisältävät nestemaalien tapaan myös apuaineita, joita on alle 5 % kokonaismäärästä. [6, s. 182.] Nämä apuaineet parantavat muun muassa jauhemaalien toimivuutta ruiskutuksen aikana. Jauhemaaleissa käytettävät täyteaineet vaikuttavat jauhemaalien hintaan sekä maalikalvon kestävyys- ja eristysominaisuuksiin. [8, s. 3–4.] Jauhemaalit sisältävät yleensä myös kovetetta, jota tarvitaan erityisesti jauhemaalikalvon muodostuksen aikana uunituksessa. Kovetteen tehtävänä on yhdessä sideaineen kanssa muodostaa verkkomainen rakenne uunituksen jälkeen. [8, s. 2.] Jotta jauhemaalia voidaan kutsua korroosionestomaaliksi, siihen on lisättävä korroosiota ehkäiseviä ominaisuuksia. Korroosio-ominaisuudet saavutetaan sideaineiden, apuaineiden ja muiden korroosiota ehkäisevien aineiden avulla. [3.]

Jauhemaalien yksi suurimmista eduista on niiden VOC-päästöttömyys. VOC-päästöillä, eli haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä tarkoitetaan kemiallisia yhdisteitä, joilla on huoneenlämpötilassa korkea höyrynpaine. Kemiallisena yhdisteenä voi olla esimerkiksi hiilivedyt. VOC-päästöt aiheutuvat maaleissa haihtuvista ja kaasumaisesta muodossa olevista liuottimista. VOC-päästöt ovat ilmastolle ja ympäristölle haitallisia ja ne aiheuttavat ympäristöongelmia. [9.] Jauhemaalit eivät sisällä ollenkaan tai ainakin häviävän vähän haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, mikä on ympäristöystävällisyyden kannalta erinomaista. Teknoksen INFRALIT-sarjan jauhemaalit täyttävät kokonaan EU-direktiivin 1999/13/EC vaatimukset. [10.] Tämä EU-direktiivi on luotu estämään ja vähentämään VOC-päästöjen välittömiä ja epäsuoria vaikutuksia, jotka kohdistuvat ilmaan ja ympäristöön. Direktiivi tarjoaa toimenpiteitä VOC-päästöjen pienentämisen menettelyihin, jotka

on tarkemmin eroteltu direktiivin liitteissä 1 ja 2. [11.] VOC-päästöjen minimoiminen on erityisasemassa niissä teollisuuden osissa, joissa niitä on mahdollista syntyä. Kuten alla olevasta kuvasta 3 nähdään, teollisuusprosesseista ja niiden tuotteiden käytöstä aiheutuu noin 50 % kaikesta Euroopan alueen VOC-päästöistä. Muita merkittäviä VOC-päästöjen lähteitä ovat kotitaloudet sekä maatalous. [9.]

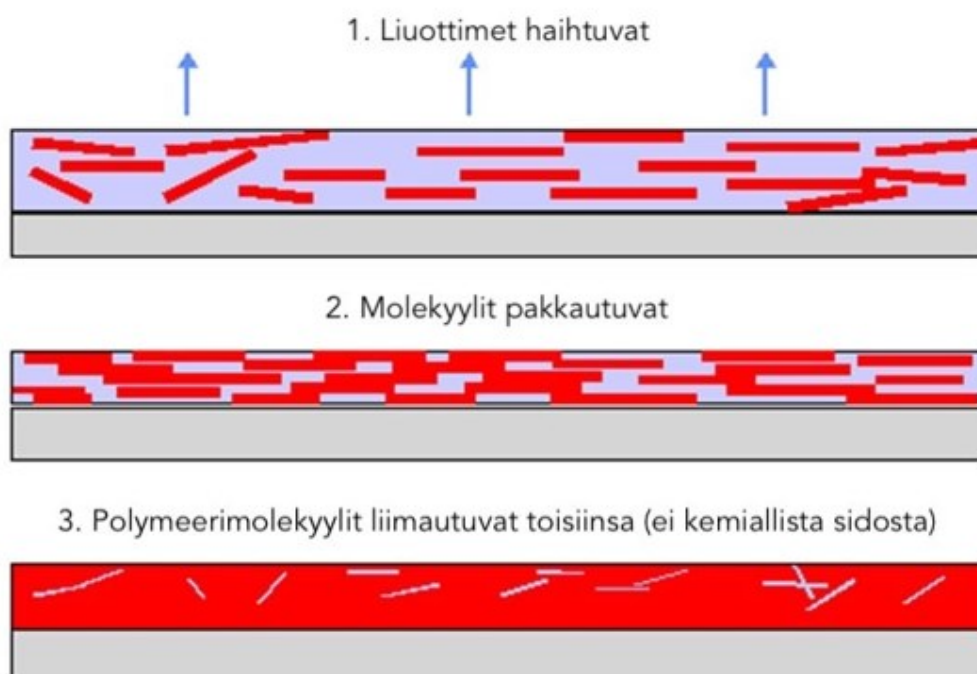


Kuva 3. Euroopan alueella olevien VOC-päästöjen lähteet [9].

### 2.3 Maalikalvon muodostuminen

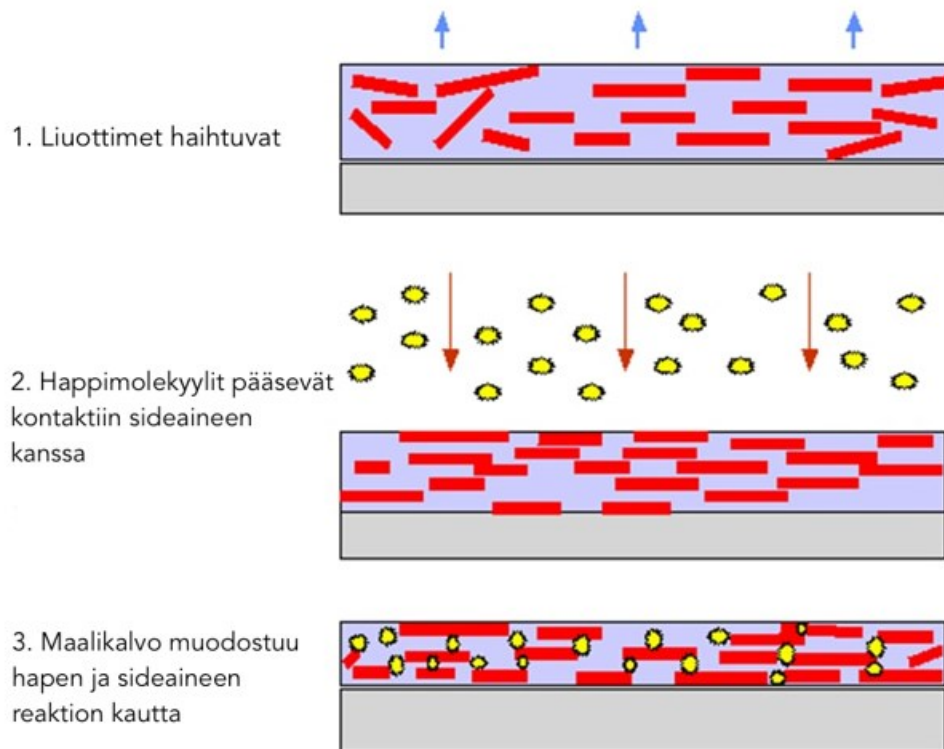
Maalikalvon muodostumisen edellytyksenä on ensiksi maalauksen suorittaminen joko nestemaalauksella tai jauhemaalauksella. Maalikalvon muodostuminen voidaan jakaa nestemaalien eri maalikalvon muodostumisille sekä jauhemalain maalikalvon muodostukseen, joka eroaa hieman nestemaalien maalikalvojen muodostuksesta.

Nestemaalien maalikalvojen muodostumiset ovat jaettavissa niiden sideaineiden perusteella, jotka luokitellaan palautettavissa oleviin sekä palautumattomiin sideaineisiin. Palautettavissa olevien eli reversiibelien pinnoitteiden maalikalvo muodostuu, kun sideaineen molekyylit liimautuvat toisiinsa ilman kemiallista reaktiota, samalla kun orgaaninen liuotin tai vesi haihtuu maalikalvosta. [3.] Reversiibeli pinnoite on nimensä mukaisesti palautettavissa oleva pinnoite, eli se voidaan liuottaa takaisin alkuperäiseen liuottimeensa [5, s. 2]. Prosessi reversiibelien sideaineiden maalikalvojen muodostumiselle on esitetty alla olevassa kuvassa 4.



Kuva 4. Palautettavissa olevan pinnoitteen maalikalvon muodostumisen periaate [3].

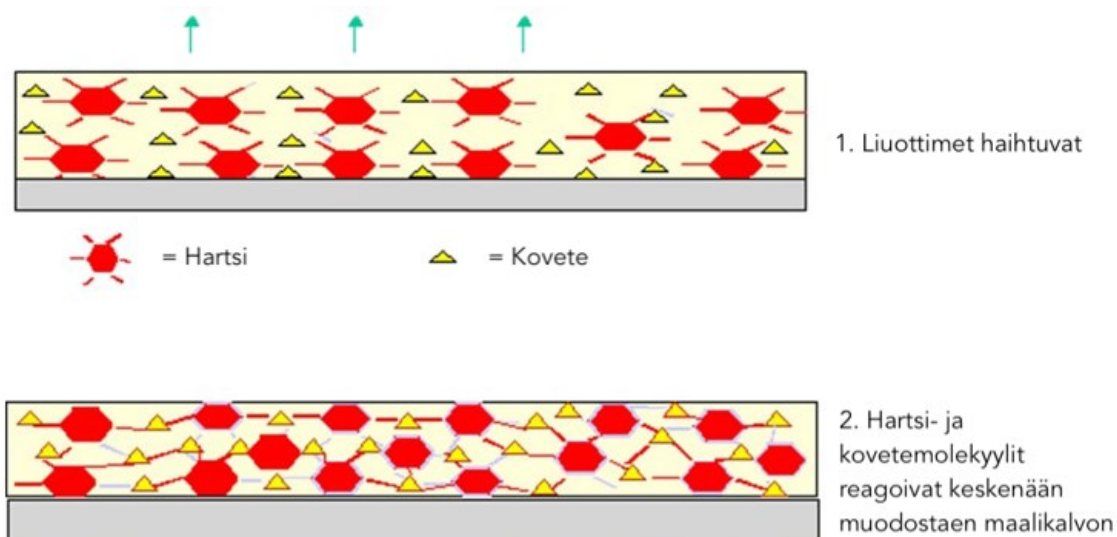
Palautumattomien eli irreversiibelien pinnoitteiden maalikalvo voi muodostua kolmella eri tavalla. Ensimmäisessä menetelmässä maalikalvo kuivuu liuottimien haihtuessa maalikalvosta pois, jonka jälkeen happimolekyylit tunkeutuvat sideaineeseen. Sideaineen ja happimolekyyliden välillä tapahtuu kemiallinen reaktio, jonka tuotteena muodostuu palautumaton maalikalvo. Tämä prosessi on esitetty alla olevassa kuvassa 5. [3.] Palautumattonta eli irreversiibeliä maalikalvoa ei voida enää liuottaa alkuperäiseen liuottimeensa [5, s. 3].



Kuva 5. Palautumattoman pinnoitteen maalikalvon muodostumisen periaate, jossa on mukana happi [3].

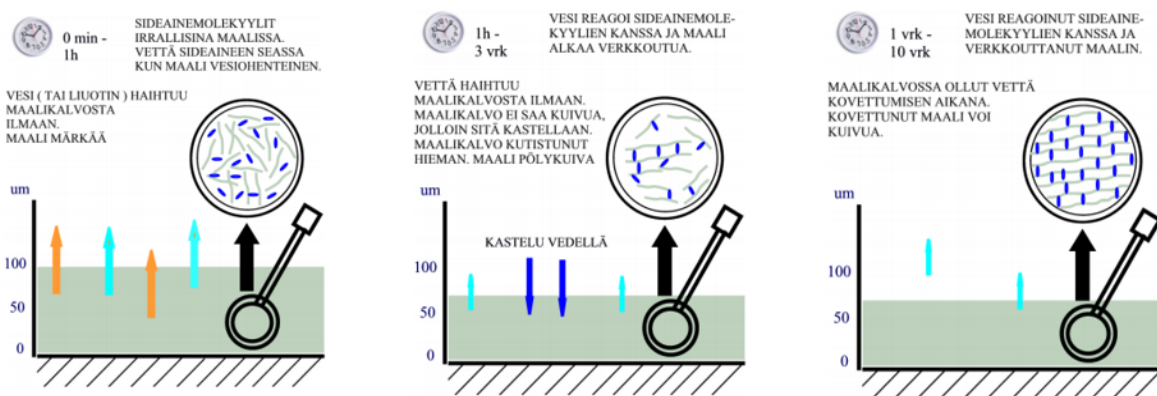
Palautumattoman eli irreversiibelin pinnoitteen toisessa maalikalvon muodostumisen menetelmässä maalikalvon muodostuminen alkaa myös liuottimien haihtumisella, jonka jälkeen sideainepartikkelit reagoivat keskenään muodostaen yhtenäisen maalikalvon. Maalikalvo kovettuu ilman kemiallista reaktiota hapen kanssa. Vain sideainepartikkelit reagoivat tässä prosessissa keskenään muodostaen yhtenäisen palautumattoman maalikalvon. Prosessi on kuvattu alla olevassa kuvassa 6. [3.]





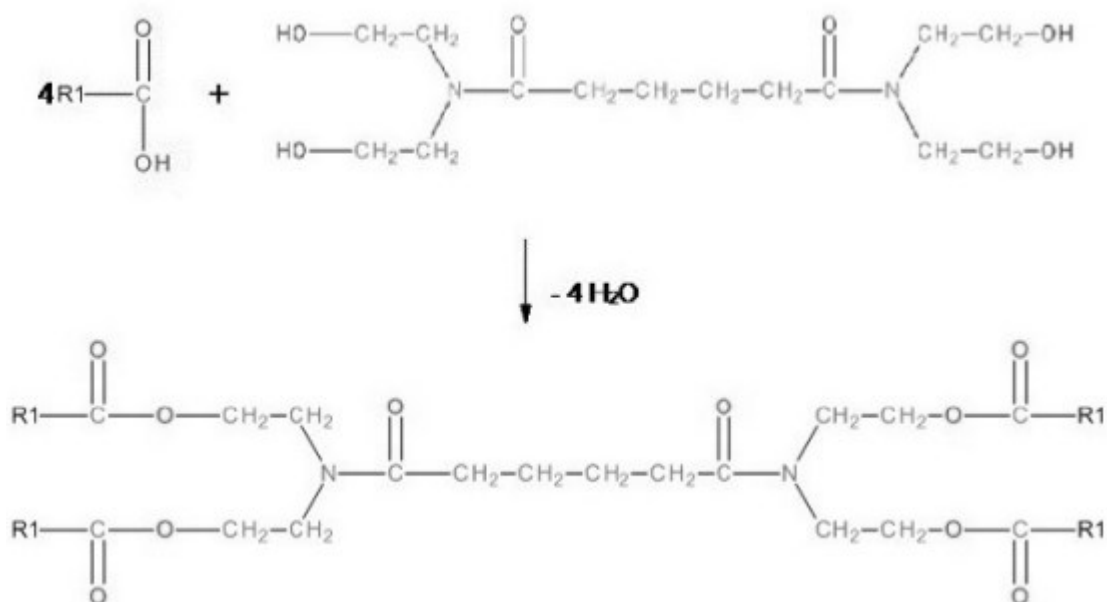
Kuva 6. Palautumattoman pinnoitteen maalikalvon muodostumisen periaate, jossa ei ole mukana happea [3].

Palautumattoman pinnoitteen kolmannessa maalikalvon muodostumisen menetelmässä maalikalvon muodostuminen alkaa kemiallisesta reaktiosta, jossa nestemäinen vesi yhdessä sideaineen kanssa reagoi keskenään muodostaen maalikalvon. Vesi toimii ikään kuin kovetteena. Tällä tavoin muodostuvia maaleja sanotaan kosteuskovettuviksi maaleiksi. Kosteuskovettuvat maalit tarvitsevat yleensä kosteutta (vettä) maalauslevityksen jälkeen melko pitkään, jotta maalikalvo saadaan kovetettua oikein. Prosessi kosteuskovettuville maaleille on esitetty alla olevassa kuvassa 7. [13.]



Kuva 7. Kosteuskovettuvan pinnoitteen maalikalvon muodostumisen periaate [13].

Jauhemaalien maalikalvon muodostuminen eroaa nestemaalien maalikalvojen muodostuksesta siinä, että jauhemaalit eivät sisällä ollenkaan liuottimia. Jauhemaalien maalikalvo muodostuu vasta sulamuodossa korkeassa lämpötilassa, noin 130–200 °C:ssa. [6, s. 182.] Jauhemaalien maalikalvo luokitellaan palautumattomaksi eli irreversiibeliksi pinoitteeksi [5, s. 5]. Jauhemaalien maalikalvon muodostus perustuu siihen, että jauheemaalien sideaine sekä kovete reagoivat keskenään uunituksen aikana, jolloin myös jauheemaalilla sulaa. Sideaine ja kovete tarvitsevat riittävän uunitusajan sekä lämpötilan, jotta niiden välinen reaktio ehtii muodostua. Kun reaktio on tapahtunut riittävässä lämpötilassa sekä ajassa, saadaan aikaan toivottu maalikalvo, jolla on halutut ominaisuudet. Yksinkertaisena esimerkkinä yhden jauheemaalien muodostuksesta on karboksyylifunktiomaalisen polyesterin (sideaine) sekä β-hydroksialkyylimidin (kovete) esteröintireaktio, joka on esitetty alla olevassa kuvassa 8. Tämä reaktio kuvastaa polyesterijauhemaalien kovettumista. Reaktiossa vapautuu myös vettä. [8, s. 3.]



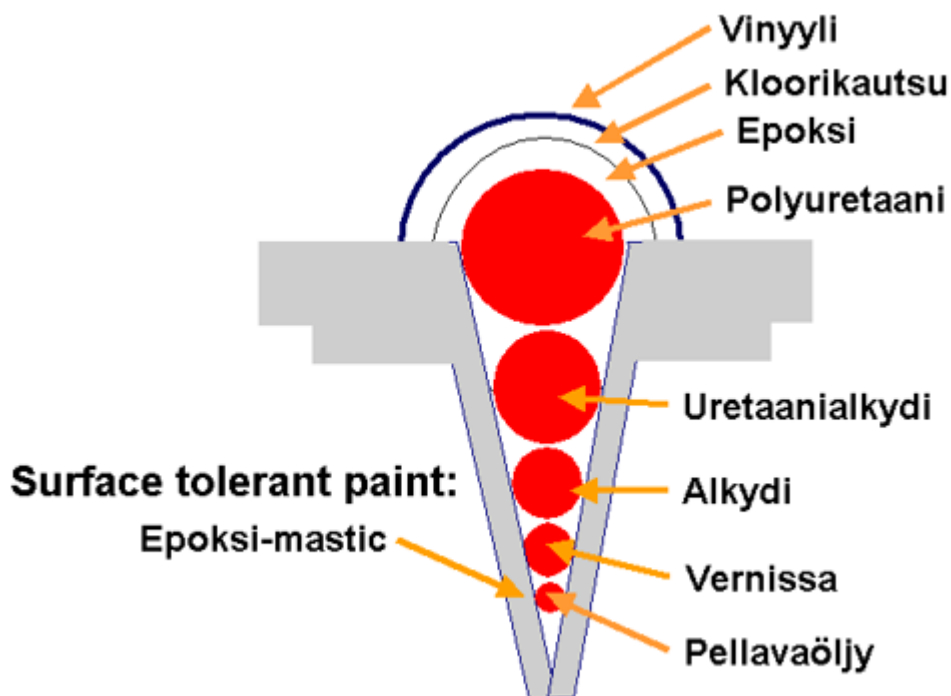
Kuva 8. Polyesterijauhemaalien kovettumisreaktio [8, s. 3].

Jauhemaalikalvon muodostuksessa voi myös ilmetä ongelmia. Jokaisella jauhemaalityypillä on olemassa tietty uunitusaika ja -lämpötila, jotka valmistaja on ilmoittanut. Nämä parametrit ovat riippuvaisia materiaalin paksuudesta sekä maalityypistä. Esimerkiksi ohuen teräslevyn ja paksun teräslevyn uunitusajat eroavat merkittävästi. Ohuempi

teräslevy lämpenee nopeammin kuin paksumpi teräslevy. Uunitusaikaa mitattaessa on huomioitava se, että ajan otto alkaa vasta silloin kun jauhemaalaton kappaleen lämpötila on valmistajan ilmoittamassa polttolämpötilassa. Paksumpi teräslevy saavuttaa hitaasti metallin lämpötilan, jolloin uunitusaika täytyy miettiä tarkasti. Jauhemaalikalvoja voidaan ali- ja ylipolttaa. Alipoltolla tarkoitetaan sitä, että uunitusaika on ollut liian lyhyt ja jauhemaalikalvo ei ole kerennyt verkkoutua. Tätä virhettä ei suositella korjattavaksi uudelleenpoltolla, koska ei voida olla varmoja siitä, onko jauhemaalikalvo verkkoutunut oikein. Ali-poltetulla jauhemaalikalvolla on rajoitetut mekaaniset ominaisuudet verrattuna oikein poltettuun kalvoon, jonka takia sitä ei tulisi koskaan käyttää. Ylipoltolla tarkoitetaan nimensä mukaisesti sitä, että uunitusaika on ollut liian pitkä. Jauhemaalikalvo on kerennyt verkkoutua mutta värisävy saattaa muuttua tuotteessa. Ylipoltettu jauhemaalikalvo ei ole niin suuri ongelma kuin alipoltettu jauhemaalikalvo. Ylipoltetun jauhemaalikalvon sävyvirhe voidaan korjata maalaamalla se uudelleen. [6, s. 208.]

## 2.4 Kemiallisen ja mekaanisen rasituksen kestävyys

Jokaisella maalilla on omat maalikalvon kestävyteen liittyvät ominaisuudet. Korroosiosuojauskyvyn lisäksi maaleilla on myös muita tärkeitä kestävyysominaisuuksia, kuten lujuusominaisuudet. Tärkeimpinä voidaan pitää kemiallisen ja mekaanisen rasituksen kestävyttä. Jokaisen maalin sideaineella on tietty molekyylikoko. Molekyylikoko vaikuttaa erityisesti maalin tarttuvuuteen alustaansa nähden sekä maalikalvon kemiallisen ja mekaanisen rasituksen kestävyteen. Mitä suurempi sideaineen molekyylikoko on, sitä paremmin maalikalvo kestää kemiallista rasitusta sekä maalikalvon lujuus on huomattavasti parempi kuin pienemmän molekyylikoon omaavalla maalikalvolla. Suuren molekyylikoon haittapuoli on huonompi tarttuvuus alustaansa nähden. Mitä pienempi sideaineen molekyylikoko on, sitä parempi tarttuvuus maalilla on alustaansa nähden. Maali tunkeutuu tällöin erittäin hyvin alustan eri huokosiin osiin. Maalikalvo kestää kemiallista ja mekaanista rasitusta huonommin silloin, kun sideaineen molekyylikoko on pienempi. Kuten alla olevasta kuvasta 9 nähdään, vinyyli-, kloorikautsu-, epoksi- ja polyuretaanimaaleilla on suurimmat molekyylikoot, jolloin ne suojaavat teräsalustaa suuren molekyylikoon ansiosta parhaiten ja täten kestävät kemiallista sekä mekaanista rasitusta paremmin kuin pienemmän molekyylikoon maalit. [3.]



Kuva 9. Eri sideaineiden molekyylikokoja [3].

Epoksi- ja epoksipolyesterijauhemaaleilla on parhaimmat maalikalvon pinnan kovuudet, joten ne kestävät parhaiten mekaanista kulutusta. Epoksi- ja epoksipolyesterijauhemaalit omaavat myös suuren molekyylikoon ansiosta hyvän kemiallisen kestävyuden, joten ne ovat suosittuja kohteissa, jossa tarvitaan kemikaalinkestävyyttä sekä mekaanista kulutusta suojaava pinnoite. Epoksi- ja epoksipolyesterijauhemaaleja käytetään erityisesti sisärasituskohteissa liituuntumisen takia, mutta niitä on mahdollista käyttää myös ulkorasituskohteissa pohjamaalina. Polyesterijauhemaali on elastista jauhemaalaa, joten se kestää erityisesti erilaisia voimakkaita kulutusrasituksia. Polyesterijauhemaalilla on myös hyvä UV-valon- ja säänkestävyys, jonka ansiosta niitä käytetään erityisesti ulko-kohteissa. Polyuretaanijauhemaalilla on kahden edellä mainitun jauhemaalityypin ominaisuudet, eli hyvä mekaanisen ja kemiallisen rasituksen kestävyys sekä UV-valon- ja säänkestävyys. Polyuretaanijauhemaalaa käytetään yleisesti ulko-kohteissa, mutta sitä on myös mahdollista soveltaa sisäkäyttöön. [12.]

## 2.5 Sideaineiden yhteensopivuus

Jokaisen maalin sideaineella on tietyt ominaisuudet. Nämä ominaisuudet eivät välttämättä sovellu keskenään toisten sideaineiden kanssa, joten vanhojen tai uusien pintojen päällemaalaus on suunniteltava huolellisesti, jotta saadaan rasituksia kestävä huolto-maalattu pinta aikaiseksi. Sideaineiden soveltuvuutta keskenään voidaan tarkastella eri valmistajien antamien taulukoiden tai tuoteselosteiden mukaan. Eri sideaineiden soveltuvuutta metallipintojen huoltomaalaukseen voidaan tarkastella alla olevan taulukon 1 mukaisesti. Huomataan, että helpoiten soveltuva päällemaalaus metallipinnoilla onnistuu huoltomaalauksella samalla sideaineella tai sinkkiepoksimaalin tapauksessa käyttämällä epoksi-, polyuretaani- tai akryylimaalaa. [14.]

Taulukko 1. Sideaineiden yhteensopivuus metallipintojen huoltomaalauksessa [14].

Uusi pintakäsittelyaine	Alkydi	Kloorikautsu	Vinyyli	Epoksi	Sinkkisilikaatti	Sinkkiepoksi	Polyuretaani	Akryyli
Alkydi	++			+ <sup>1)</sup>				
Kloorikautsu		++						
Vinyyli			++					
Epoksi	+			++				
Epoksiterva				+				
Sinkkisilikaatti		+	+	++	+		+	
Sinkkiepoksi		+	+	++		++	++	++
Polyuretaani	+			+			++	+
Polyuretaaniterva				+			+	
Akryyli							+	++

++ = suositeltava  
 + = mahdollinen  
 tyhjä ruutu = ei suositella

Sideaineiden yhteensopivuus täytyy olla tiedossa, kun halutaan toteuttaa korroosionestoon tarkoitettu suojamaaliyhdistelmä pinnoitettavalle kohteelle. Jos vanhan maalikerroksen päälle maalataan väärällä sideaineella, maalausyhdistelmästä tulee epäonnistunut ja se ei kestä rasituksia. Korroosionestomaalaukseen on luotu standardi SFS-EN ISO 12944. Tämä jakaantuu vielä osiin 1–9. Standardin viidennettä osaa voidaan käyttää apuna, kun halutaan suunnitella ja toteuttaa monikerroksinen suojamaaliyhdistelmä. Standardissa SFS-EN ISO 12944-5 on esitetty selkeästi taulukoituna

suojamaaliyhdistelmät eri metallipinnoille sekä korroosiorasitusluokille C2–C5, jossa C2 tarkoittaa heikointa korroosiorasitusta ja C5 suurinta korroosiorasitusta. Eri rasitusluokat kertovat kuinka nopeasti metalli syöpyy vuoden aikana tietyssä ympäristössä. Taulukoissa on myös esitetty suojamaaliyhdistelmien kestävyysluokat, jotka jaetaan alhaiseen (l), kohtalaiseen (m), suureen (h) sekä hyvin suureen (vh) riippuen siitä kuinka pitkäksi ajaksi suojamaaliyhdistelmä on suunniteltu kestävänsä kohteessa. Standardissa olevissa taulukoissa on selkeästi ohjeistettu millä sideaineilla voidaan maalata pohjamaalin päälle, kuten taulukosta 2 nähdään. [15.]

Taulukko 2. Suojamaaliyhdistelmien valinta eri korroosiorasitus- ja kestävyysluokkiin raesuihkupuhalletuilla teräsalustoilla. Lyhenne MNOC tarkoittaa maalattavien kalvojen vähimmäislukumäärää. Lyhenne NDFT tarkoittaa kullekin kalvolle tai kokonaiselle maaliyhdistelmälle määriteltyä kuivakalvon paksuutta. [15.]

Kestävyys		Alhainen (l)			Kohtalainen (m)			Suuri (h)			Hyvin suuri (vh)		
Pohjamaalin tyyppi		Zn (R)	sek.		Zn (R)	sek.		Zn (R)	sek.		Zn (R)	sek.	
Pohjamaalin sideaines		ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY
Seuraavien kalvojen sideaines		EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY
C2	MNOC	a			—	—	1	1	1	1	2	2	2
	NDFT	a			—	—	100	60	120	160	160	180	200
C3	MNOC	—	—	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	NDFT	—	—	100	60	120	160	160	180	200	200	240	260
C4	MNOC	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	2	—
	NDFT	60	120	160	160	180	200	200	240	260	260	300	—
C5	MNOC	2	2	—	2	2	—	3	2	—	3	3	—
	NDFT	160	180	—	200	240	—	260	300	—	320	360	—

Lyhenteet on kuvattu [taulukossa A.1](#). Yksittäiselle kalvolle sideaineellinen pohjamaali on suosituksena. Lisäksi polyuretaaniteknologialle voivat olla muut pinnoiteteknologiat soveltuvia esim. polysiloksaanit, polyaspargiini ja fluoripolymeeri [fluorieteeni/vinyylieetteri kopolymeeri (FEVE)].

<sup>a</sup> Jos halutaan pinnoitetta, käytetään yhdistelmää korkeammasta korroosiorasitusluokasta tai kestävydestä esim. C2 suuri tai C3 kohtalainen.

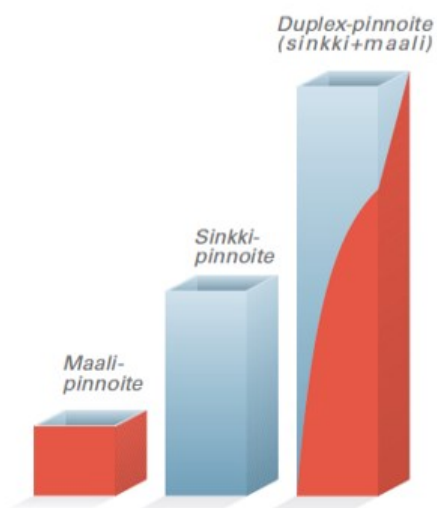
### 3 Maalausmenetelmät

Kun pinnoitettava tuote on valittu pinnoitettavaksi, on mietittävä millä maalausmenetelmällä tuote kannattaa maalata niin, että se olisi sekä taloudellisesti, tuotannollisesti ja kestävyydellisesti kannattavaa. Maalausmenetelmät voidaan jakaa karkeasti jauhemaalaukseen sekä nestemaalaukseen, jotka eroavat melko paljon keskenään. Suurin ero jauhe- ja nestemaalauksen välillä on maalauksen suoritus sekä maaliruiskun

käyttäminen. Jauhe- sekä märkämaalaukseen sisältyy erityyppisiä pinnoitusmenetelmiä, joita käydään läpi alla olevissa alaluvuissa. [6, s. 177.]

Teräspintojen maalausmenetelmien jako jauhe- sekä nestemaalauksiin on karkea koska teräspintojen suojaukseen käytetään yleisesti myös galvanointia suojaamaan pinnoitettavaa kohdetta eri ympäristörasituksilta. Galvanointi tarjoaa teräspinnalle korroosiota kestävä, taloudellisen ja tehokkaan suojausvaihtoehdon perinteisten jauhe- ja neste- maalauksien ohella. Galvanoinnin idea perustuu korroosionestomaaleista tuttuun sinkkiin. Galvanoinnissa käytetään sinkkiä, joka uhrautuu epäjalompana metallina ja täten antaa katodisen suojauksen teräkselle. Galvanoinnissa yleisin käytetty sinkkipinnoitusmenetelmä on kuumasinkitys, joka rantautui Suomeen jo vuonna 1903. [17.] Kuumasinkitysprosessissa pinnoitetaan esikäsiteltyä teräskappaletta noin 450-asteisessa sulassa sinkkialtaassa. Pinnoitusaikana teräksen ja sulan sinkin välillä alkaa muodostua diffuusion välityksellä Fe-Zn (rauta-sinkki) -faaseja, joita voi olla neljä erilaista. [3.]

Galvanoidun teräspinnan päälle voidaan myös päällemaalata duplex-menetelmällä, jossa esikäsitelty teräspinta pinnoitetaan ensiksi kuumasinkittämällä. Kuumasinkitetyn teräspinnan päälle maalataan ensiksi ruosteenestomaali lisäämään korroosionestosuojauskykyä. Duplex-menetelmä viimeistellään vielä maalaamalla ruosteenestomaalikerroksen päälle niin sanottu suojakerros, joka suojaa kohdetta mekaanisilta ja kemiallisilta rasituksilta. [16.] Duplex-menetelmällä maalattu kohde lisää pinnoitettavan tuotteen käyttöikä jopa sadalla vuodella. Alla olevassa kuvassa 10 on havainnollistettu kuinka suuri ero tuotteen kestoiällä on duplex-pinnoitusmenetelmästä maali- ja sinkki-pinnoitteeseen. [3.]



Kuva 10. Eri pinnoitteiden suhteellinen kestoikä [3].

Duplex-pinnoitetun kohteen suhteellinen kestoikä voidaan laskea alla olevan yhtälön mukaisesti:

$$L_T = K (L_{Z_n} + L_F) \quad (5)$$

$L_T$  on duplex – käsittelyn kestoikä vuosina

$K$  on ympäristöolosuhteista riippuva kerroin

$L_{Z_n}$  on sinkkipinnoitteen kestoikä vuosina

$L_F$  on maalipinnoitteen kestoikä vuosina

Yhtälössä 5 oleva muuttuja  $K$  saa kertoimen riippuen siitä, esiintyykö kohteessa ilmastokorroosiorasitusta vai upotusrasitusta. Kerroin  $K$  saa arvon 1,5–1,6 upotusrasitusluokissa Im1–Im2. Korroosiorasitusluokissa C2–C3 kerroin  $K$  saa arvon 2,1–2,3. Kovimmissa korroosiorasitusluokissa C4–C5 kerroin  $K$  saa arvon 1,8–2,0. [3.]



### 3.1 Jauhemaalaus

Jauhemaalaus on melko uusi maalausmenetelmä, sillä se on rantautunut Suomeen vasta noin 1970-luvulla. Jauhemaalauksessa maalin koostumus on pulverimainen. Jauhemaalain tarttuvuuden edellytys on siinä, että huolehditaan maalattavan kappaleen pinnan puhtaudesta ennen jauhemaalauksen suorittamista. Maalattavalla pinnalla ei saa esiintyä epäpuhtauksia, kuten ruostetta tai rasvoja. Rasvat haittaavat erityisesti jauhemaalain tarttumista maalattavalla pinnalla koska rasvan esiintyminen kappaleen pinnalla estää jauheen tarttumisen pinnalle. Jauhemaalauksen aikana jauhe varataan sähköisesti joko jauhemaalipistoolissa tai heti pistoolin ulkopuolella sähkökentässä. Jauheen sähköistämisen lisäksi pinnoitettava kappale on maadoitettava. Kun jauhemaaliala lopulta ruiskutetaan pinnoitettavan tuotteen läheisyyteen, jauhepilvestä siirtyy jauhetta pinnoitettavan kappaleen pinnalle sähkövarauksen ansiosta. [6, s. 176–181.] Jauhemaalaukseen tarvittava maalauslaitteisto on laajempi ja monimutkaisempi kuin perinteinen nesteemaaluslaitteisto. Jauhemaaluslaitteistoon kuuluu vähintään jauheen syöttö- ja ohjauslaitteisto, jauhemaalauskaappi, jauhepistooli, kuljetin sekä uuni. Ohiruiskutettavan jauhemaalain talteenottoon tarvitaan myös talteenotto- sekä seulontalaite. Toimivan jauhemaaluslaitteiston edellytys on kuivattu paineilma. [6, s. 187.]

Jauhemaalaus on monivaiheinen prosessi, joka koostuu useista eri työvaiheista. Jauhemaalauksen prosessi alkaa maalattavien tuotteiden ripustamisesta sekä esikäsittelystä. Yleisissä jauhemaaluslinjastoissa maalattavat tuotteet ripustetaan niin, että esikäsittelystä aiheutuvat nesteet pääsevät valumaan pois tuotteiden pinnoilta. Tuotteiden ripustusvaiheessa on huolehdittava erityisesti maadoituksesta. Maadoituskohdat yleisesti hiotaan ja suojataan. Ripustuskoukkujen pintojen sekä kuljettimien koukkujen on oltava puhtaita maalista, jotta maadoitus toimii. Kuljettimen ja pinnoitettavien esineiden välillä oleva sähkövastuksen suuruus täytyy pysyä alle raja-arvon 1 MΩ. Ripustuksen jälkeen maalattavat tuotteet viedään esikäsittelyyn, jos tuotteita ei ole valmiiksi esikäsitelty. Tavanomainen esikäsittely jauhemaalattavalle tuotteelle on konversiokäsittely tai raesuihkupuhdistus. Esikäsittelyn jälkeen maalattavat tuotteet kuljetetaan kiskoilla tai vaunuilla jauhemaalattaviksi. Jauhemaalauksessa käytetään yleisesti kitkavarauks- tai koronamenetelmää varaamaan jauhetta sähköisesti. Jauhemaalauksen jälkeen maalattut tuotteet kuljetetaan linjastossa uuniin, minkä tarkoituksena on saada jauhemaalali kovetettua. Kun jauhemaalattut tuotteet ovat saatu kovetettua uunissa oikein, niiden

annetaan jäähtyä ennen kuin ne voidaan ottaa pois kuljetinlinjastosta. Jäähtyneistä jauhemaalatuista tuotteista tarkastetaan lopuksi tilaajan vaatimusten mukaisesti tietyt parametrit, kuten esimerkiksi kalvonpaksuus ja tartunta. [6, s. 203–210.] Jauhemaalituotteiden tyypillinen kalvonpaksuus vaihtelee 60–140 µm [18]. Suurimmat kalvonpaksuudet jauhemaalatuilla tuotteilla voivat vaihdella 150–500 µm. Jauhemaalatun tuotteen kalvonpaksuus määräytyy suurimmaksi osaksi jauheen partikkelikoon mukaan. Kalvonpaksuus kasvaa nopeammin suuremmalla noin 50 µm:n partikkelikoolla. Jauheen partikkelikoon vaikutus maalatun tuotteen kalvonpaksuuteen on suoraan verrannollinen. [19.]

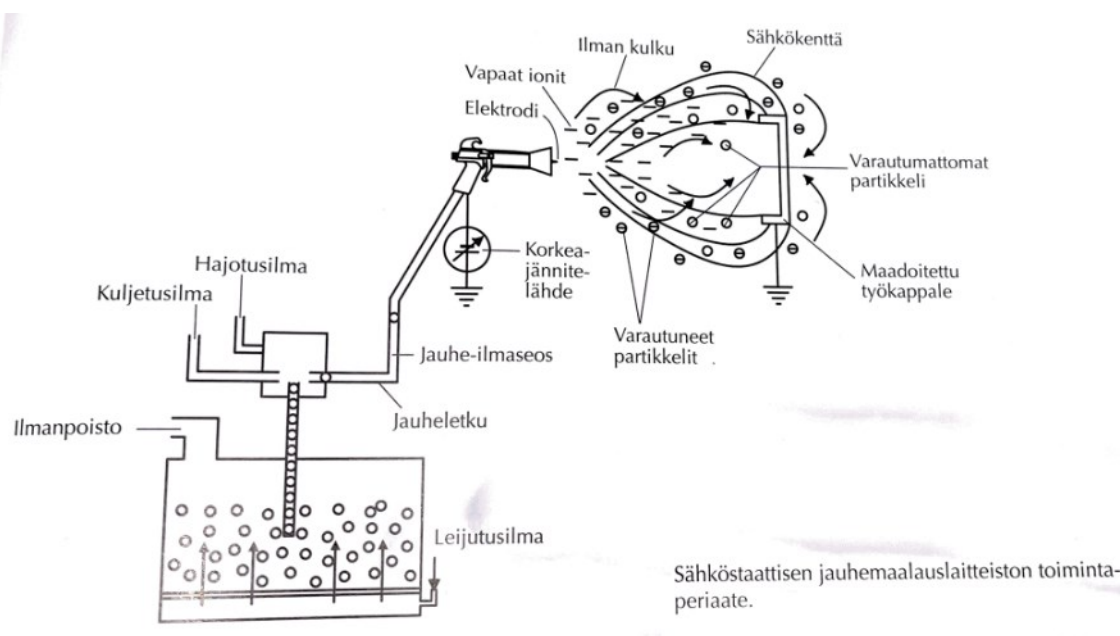
Jauhemaalauksella on nestemaalaukseen verrattuna parempi vaihtoehto, kun mietitään työturvallisuutta. Jauhemaalauksessa ei esiinny liuottimille altistumista, jota esiintyy nestemaalauksessa. Myös jauhemaalaukseen liittyy kuitenkin tiettyjä työturvallisuusriskejä. Jauhemaalauksen aikana syntyy hienoa jauhepölyä, jonka partikkelikoko on yleensä alle 5 µm. Tämä hieno jauhepöly on haitallista ihmisten keuhkoille, sillä se tunkeutuu helposti keuhkorakkuloihin ja jää sinne pysyvästi. Tietyt epoksi- ja polyesterijauhemaalit voivat aiheuttaa herkistymistä allergisille ihmisille. Jauhemaalit saattavat muodostaa räjähtäviä seoksia, jos niiden pitoisuus ilmassa ylittää 5 g/m<sup>3</sup>. Nämä räjähdykset ovat kuitenkin äärimmäisen harvinaisia, vaikka pitoisuus ylittäisikin raja-arvon. Eri jauhemaalien pitoisuusrajat on ilmoitettu niiden tuoteselosteissa. Tällöin jauhemaalien on mahdollista syttyä ja lopulta aiheuttaa pölyräjähdysten vaara. Pölyräjähdysten esiintyminen on kuitenkin harvinaisempaa kuin nestemaalien liuotinhöyryjen syttyminen. Pölyräjähdystä varten on olemassa ATEX-räjähdysuojadirektiivi 94/9/EC, joka suojaa työntekijöitä ja yritysten omaisuutta mahdollisilta pölyräjähdysten aiheuttamilta vahingoilta. [6, s. 201–202.] Jauhemaalauksella on monia hyviä ominaisuuksia, jonka takia jauhemaalauksella on korvannut osan nestemaalattavista tuotteista. Jauhemaalauksen hyviä ja huonoja ominaisuuksia on esitetty alla olevassa taulukossa 3.

Taulukko 3. Jauhemaalauksen etuja ja haittoja [6, s. 177–180].

Hyvät ominaisuudet	Huonot ominaisuudet
Jauhemaalien hinta on sama tai edullisempi kuin nestemaalien.	Pienet jauhemaalierät ovat kalliita. Normaali jauhemaalierä toimitetaan 20 kg pakkauksessa.
Jauhemaalauslinjaston automatisointi on taloudellista sekä jauhemaalain voi käyttää aina uudelleen, edellyttäen talteenotto- ja seulon- talaitteiston.	Erikoisjauhemaalit ovat kalliita, mukaan lukien erikoisvärjävyt. Koskee myös nestemaaleja.
Hyvä mekaanisen ja kemiallisen rasituksen kestävyys. Mekaaninen kestävyys parempi jauhemaalatulalla pinnalla kuin nestemaalatulalla.	Jauhemaalaukseen tarvitaan erillinen uuni, joka lisää kustannuksia varsinkin pienillä maa- laustarpeilla.
Jauhemaalaukset on VOC-päästötöntä, joten se on ympäristöystävällisempi ja työturvallisempi ratkaisu verrattuna nestemaalaukseen.	Korjaus- ja huoltomaalaukset on hankalampaa tehdä jauheella verrattuna nestemaalaukseen, koska koko kappale pitäisi uunittaa uudelleen.

### 3.1.1 Sähköstaattinen varausmenetelmä eli koronamenetelmä

Sähköstaattinen varausmenetelmä on yksi kahdesta jauheenvarausmenetelmästä. Sähköstaattisen varauksen pistooli sisältää erilliset elektrodit, joiden avulla saadaan muodostettua sähkökenttä varauselektrodin etupuolelle. Kuten alla olevasta kuvasta 11 nähdään, varauselektrodin etupuolella nähdään vapaita elektroneja ( $e^-$ ) sähkökentässä. Jauheen tullessa ulos sähköstaattisesta pistoolista, vapaat elektronit sähkökentässä varaa-  
vaavat jauhepartikkelit, jolloin saadaan sähköisesti varattuja jauhehiukkasia aikaiseksi. Koronamenetelmään tarvitaan aina erillinen korkeajännitelähde, jonka avulla jauhetta varataan. Tyypillinen jännitteen suuruus vaihtelee 30–115 kV. [6, s. 190.]

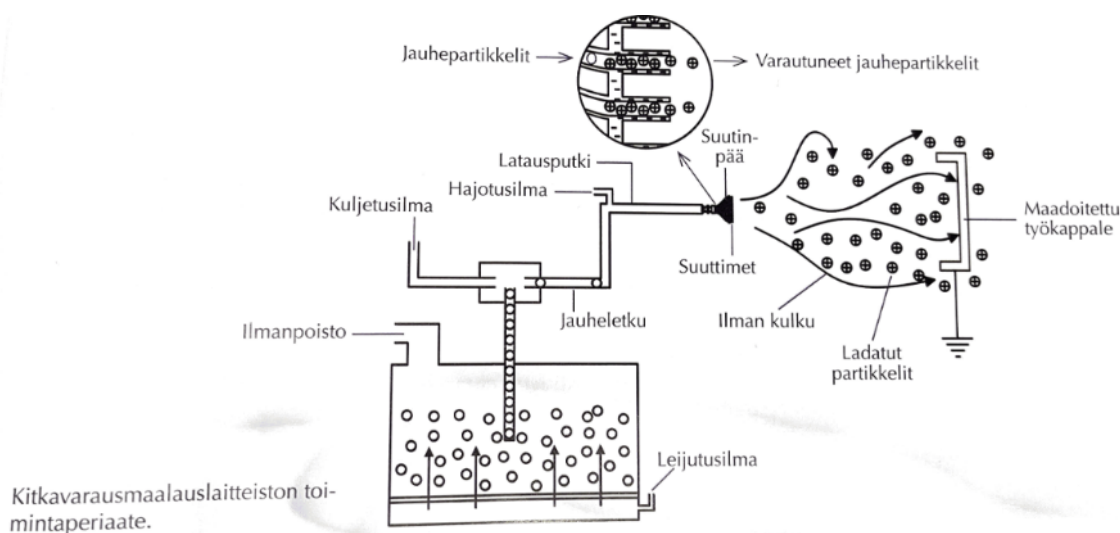


Kuva 11. Sähköstaattinen varausmenetelmä eli koronamenetelmä [6, s. 191].

Koronamenetelmän yksi isoimmista hyödyistä on se, että sillä voidaan jauhemaalata jauhemaalalityypistä riippumatta. Sähköstaattisen varausmenetelmän jauhemaalaukslaitteiston säätömahdollisuudet ovat myös laajat. Korkeajännitelähteen jännitettä voidaan säätää sähköstaattisen jauhemaalaukslaitteiston ohjauksyksiköstä. Hyvät säätömahdollisuudet ja jännitteen säätäminen antavat suuren kapasiteetin menetelmälle. Yksi tunnetuimmista ja suurimmista heikkouksista sähköstaattisella varausmenetelmällä on Faradayn häkki-ilmiö. Tämä ilmiö johtuu koronapistoolin ja pinnoitettavan kappaleen välille muodostuvasta sähkökentästä. Tämä sähkökenttä ei esiinny kuvan 11 mukaisesti tasaisesti, vaan suurinta se on maalattavan kappaleen ulkoreunoissa, ulkokulmissa sekä ulokkeissa. Pienin sähkökentän suuruus on kappaleen sisäkulmissa. Koska sähkökentän suuruus on pienintä maalattavan tuotteen sisäkulmissa, jauhetta ei saada menemään tuotteen sisäkulmiin riittävästi, mikä näkyy hyvin kuvassa 11. Sähköstaattisella varausmenetelmällä kertaalleen maalattua tuotetta ei voida helposti uudelleen maalata samalla menetelmällä, koska kertaalleen maalattu maalikalvo toimii sähköisenä eristeenä, joka estää täydellisen sähkökentän luomisen pinnoitettavan kappaleen ja koronapistoolin välille. Sähköstaattisessa varausmenetelmässä voidaan pitää myös suurta ohiruisikutusta heikkoutena. [6, s. 191–192.]

### 3.1.2 Kitkavarausmenetelmä

Jauhemaalauksessa käytettävä toinen jauheenvarausmenetelmä eli kitkavarausmenetelmä on yleisin käytetty autoteollisuudessa käytettävien pienosien sekä muiden pienempien kappaletavaroiden pinnoituksissa. Kitkavarausmenetelmä on kuitenkin harvinaisempi kuin koronamenetelmä. Kitkavarausmenetelmässä jauhe kulkeutuu pistoolille asti samalla tavalla kuin koronamenetelmässä, kuten kuvasta 12 nähdään. Suurin ero korona- ja kitkavarausmenetelmän välillä aiheutuu kitkavarauspistoolin luona, jossa jauhe saadaan varattua kitkapistoolin sekä jauheen virtausnopeuden ja -profiilin ansiosta. Jauheen tullessa kitkavarauspistooliin alkaa se hankautua paineilman virran vaikutuksesta kitkavarauspistoolin seinämiin turbulenttisella virtauksella. Jauheen varautuminen syntyy kitkavarauspistoolin putken seinämän ja jauheen välillä olevan elektronegatiivisuus-eron avulla. Jauheen varaus putkessa ilmenee plusmerkkisenä, jolloin maadoitettu kappale vastaanottaa positiivisesti varautuneet jauhepartikkelit. Kitkavarausmenetelmä eroaa koronamenetelmästä suuresti siinä, että kitkavarausmenetelmässä ei tarvita erillistä korkeajännitelähdettä tuottamaan sähkökenttää pistoolin ja pinnoitettavan maadoitetun kappaleen välille. Tämän takia kitkavarausmenetelmässä ei myöskään synny Faradayn häkki-ilmiötä, koska sähkökenttää ei muodostu kitkavarauspistoolin ja pinnoitettavan kappaleen välille. [6, s. 192.]



Kuva 12. Kitkavarausmenetelmä [6, s. 193].

Kitkavarausmenetelmän suurimpana hyötynä pidetään pinnoitettavien kappaleiden sisäkulmien helpompaa jauhemaalattavuutta. Tämä on mahdollista, koska kitkavarausmenetelmässä ei esiinny sähkökenttää kitkavarauispistoolin etupuolella sekä tästä johtuvaa Faradayn häkki-ilmiötä. Tästä samasta syystä kitkavarausmenetelmällä voidaan myös päälle- tai uudelleenmaalata jo kertaalleen jauhemaalatuille alustoille, koska kertaalleen jauhemaalattu kappale ei toimi eristeenä niin kuin se toimisi koronamenetelmässä. Muita hyötyjä kitkavarausmenetelmällä maalattaessa on korkeajännitelähteen puuttuminen sekä helpommin automatisoitavissa oleva jauhemaalauslaitteisto. Kitkavarausmenetelmän jauhemaalauslaitteistoa voidaan pitää myös taloudellisempänä vaihtoehtona. Kitkavarausmenetelmän huonona puolena pidetään pienempää kapasiteettia verrattuna koronamenetelmään, joka aiheutuu korkeajännitelähteen puuttumisesta jauhemaalauslaitteistossa. Säättömahdollisuudet ovat rajattu vain paineilman ja tästä johtuvan jauheen virtausnopeuden säätämiseen. Kitkavarausmenetelmällä ei myöskään voida maalata jauhemaalatyypistä riippumatta. Kitkavarausmenetelmän jauhemaalauslaitteiston ylläpito ja puhdistaminen on vaikeampaa kuin koronamenetelmän laitteistolla. Kitkavarausmenetelmällä ei suositella käyttämään ohiruiskutettua jauhemaalaa uudelleen, koska talteenotettu ja kierrätetty jauhe ei välttämättä varaudu riittävän hyvin kitkapistoolissa. [6, s. 192–194.]

### 3.1.3 Monikerrosmaalaus jauhemaaleilla

Jauhemaalauksia suoritetaan normaalisti yksikerrosmaalauksina pinnoitettaville kohteille. Yksikerroksisen jauhemaalipinnoitteen huonona puolena on rajoitettu korroosion-suojauskyky, jonka takia ne eivät kestä rasituksia yhtä hyvin kuin monikerrosjauhemaalilyhdistelmät. Eri sidosryhmien vaatimukset kohteiden rasituskestävyyksistä ovat myös lisänneet tarvetta tuoda monikerrosmaalauksyhdistelmät jauhemaalauksen puolelle. Monikerrosjauhemaalauksella, tässä yhteydessä kaksikerrosjauhemaalauksella ja sitä edeltävillä oikein tehdyillä esikäsitteilyillä voidaan parantaa kohteen korroosiosuojaa merkittävästi verrattuna yksikerrosjauhemaalaukseen. [20.] Kaksikerrosjauhemaalauksella voidaan suojata pinnoitettavaa alustaa jopa ankaraan merikorroosiorasitusluokkaan CX asti [21]. Merkintä CX tarkoittaa äärimmäisiä korroosiovaikutuksia, joita esiintyy offshore-alueilla. Offshore-alueilla suolapitoisuus on korkea. Teollisuusalueilla kosteus on jatkuvaa ja ilmatila syövyttävää. Offshore-alueiksi luokitellaan myös subtrooppiset ja trooppiset ilmastot. [31.] Kaksikerrosjauhemaalauksella saatu toinen suuri hyöty verrattuna

yksikerrosjauhemaalattuun pinnoitteeseen on riittävän kalvonpaksuuden kerryttäminen kohteen ongelmakohtiin, joita on esimerkiksi terävät reunat ja sisäkulmat. Tämän ansiosta kaksikerrosjauhemaalattu kohde kestää paremmin rasituksia ja antaa paremman kestoiän suojamaaliyhdistelmälle. [20.]

Kaksikerrosjauhemaalalausprosessi voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla, jotka eroavat lähinnä verkkouttamisen suhteen. Ensimmäisessä menetelmässä jauhemaalataan esikäsitellylle pinnalle pohjamaali, joka verkkoutetaan uunissa loppuun, eli verkkoutumista ei jätetä vajaaksi. Pohjamaalin uunitusajan tulee olla oikea, sillä ylipoltettua pohjamaalipintaa ei voida onnistuneesti päällemaalata. Kun jauhemaalattu pohjamaali on jäähtynyt, voidaan jauhemaalata pohjamaalattulle pinnalle pintamaali. Kun pintamaali on jauhemaalattu, se myös verkkoutetaan lopullisesti uunissa. Kaksikerrosjauhemaalauksen toisessa menetelmässä jauhemaalataan myös pohjamaali esikäsitellylle pinnalle, jonka jälkeen se verkkoutetaan uunissa vain osittain niin, että tulevan pintamaalin jauheseos ei sekoitu osittain kovettuneen pohjamaalin kanssa. Osittain kovettuneen pohjamaalin päälle jauhemaalataan pintamaali, jonka jälkeen maalausyhdistelmän pohja- sekä pintamaalit kovetetaan loppuun asti uunissa. Kaksikerrosjauhemaalauksen viimeisessä menetelmässä pohjamaalille ei tehdä verkkouttamista ennen pintamaalia, vaan pohjamaalin päälle jauhemaalataan heti pintamaali, jonka jälkeen maaliyhdistelmä verkkoutetaan uunissa lopullisesti. Tässä menetelmässä pohja- ja pintamaalijauheseokset sekoittuvat keskenään maalauksen aikana, joten jauhemaalattun pinnan laatu kärsii laadullisesti. [20.]

#### 3.1.4 Päällemaalattavuus nestemaaleilla

Jauhemaalattujen pintojen päällemaalauksia suunniteltaessa on huomioitava jauhemaalipinnan sekä nestemaalipinnan tekniset eroavaisuudet sekä yhtäläisyydet. Jauhemaalattujen pintojen päällemaalattavuuteen eri nestemaaleilla vaikuttaa erityisesti adheesiovoimat, sideaineiden yhteensopivuus, alustan esikäsitteilyt ja pinnan puhtaus. [22; 23.]. Adheesiovoimilla tarkoitetaan kahden eri materiaalin välisiä vuorovaikutuksia. Adheesiovoimiksi luokitellaan muun muassa Van der Waals -voimat ja kapillaari-ilmiö. Kun jauhemaalattuja pintoja suunnitellaan päällemaalattavaksi, on adheesiovoimien oltava mahdollisimman suuria kahden kemiallisesti erilaisen materiaalin välillä, jotta jauhemaalipinnan päällemaalauksesta tulisi onnistunut monikerrosmaaliyhdistelmä. Liian heikot

adheesiovoimat jauhemaalipinnan ja nestemaalipinnan välillä voivat aiheuttaa heikkoa tartuntaa nestemaalilla pinnoitettaessa, mikä voidaan todeta eri adheesiokestuksilla. Maalikalvo kestää myös heikommin eri rasituksia, kuten mekaanisia rasituksia. [19.]

Suurin osa eri pinnoitteista tarttuvat fyysisten vetovoimien vaikutuksesta. Esimerkiksi suurin osa pinnoitteista tarttuvat metallipinnoille vetysidosten kautta. Pinnoitteet, jotka sisältävät polaarisisidosryhmiä (-OH, -COOH) omaavat parhaimmat kostutusominaisuudet sekä fysikaaliset tarttumisominaisuudet. Näitä pinnoitteita ovat muun muassa epoksit, alkydit ja öljymaalit. [22.] Jauhemaalipinnan päällemaalauksen onnistumiseen vaikuttaa myös teräsalustan kunto. Metallinen substraatti täytyy olla puhdas korroosiosta, jotta jauhemaalipinnan päällemaalauksen onnistua korroosiosuojauksen kannalta. Jauhemaalipinnan täytyy olla tarttuva sekä virheetön eri mekaanisista virheistä, kuten halkeiluista tai rakkuloista, jotta päällemaalattava nestemaalikerros pystyy tarttua jauhemaalipinnalle oikein sekä kestää siihen kohdistuvia rasituksia ilman että nestemaalipinnoite halkeaa tai irtoaa ennen aikaisesti. Tärkein osa eri pinnoitteiden päällemaalauksessa on niiden sideaineiden yhteensopivuus, oli kyseessä monikerrosjauhemaalauksen- tai monikerrosnestemaalauksenyhdistelmä tai näiden sekoitus. Päällemaalattavan nestemaalain sideainetyyppi tulisi lähes aina olla pinnoitettu samalla sideaineella kuin alustan pinnoitteen sideaine. Jauhemaalipinnan tarttuvuutta päällemaalauksien suorittamiselle voidaan parantaa myös hiomalla sekä huolehtimalla pinnan puhtaudesta ennen päällemaalauksen suorittamista. Hionta luo jauhemaalipinnalle pinnan karheutta sekä lisää tartuntapinta-alaa, mikä parantaa päällemaalattavien maalien tarttuvuutta. [22; 23.]

### 3.2 Nestemaalaukset

Nestemaalaukset voidaan pitää vanhoillisimpana maalausmenetelmänä. Ruiskumaalaus kehitettiin amerikkalaisen tohtori Allen Devillbis kehitystyön myötä 1800-luvulla. Nestemaalaukset yleistyivät lopulta autoteollisuuden myötä noin 1920-luvulla. Nestemaalaukset on maalausmenetelmistä nopein, ja eri nestemaalauksia voidaan suorittaa myös puu- ja muovituotteille. Nestemaalauksessa maalin koostumus on nestemäinen ja maalit jaetaan ohenteiden mukaan vielä vesi- ja liuotinohenteisiin nestemaaleihin. Nestemaalauksessa maali saadaan vietyä maalattavalle pinnalle sumuna joko paineilman avulla tai suurella paineella suuttimen läpi, jolloin maali sumuuntuu paine-eron ja ilmanvastuksen toimesta. [6, s. 100.] Maalattavan pinnan tulee olla jauhemaalauksen tavoin esikäsitelty



hyvin, etenkin vesiohenteisilla maaleilla maalattaessa. Nestemaalausmenetelmät voidaan jakaa ruiskutukseen, kastomaalaukseen ja penslaukseen. Teollisuuden puolella yleisesti käytetty nestemaalausmenetelmä on suurpaineruiskutus. Pientuotteita nestemaalataan yleisesti ilma-avusteisilla suurpaineruiskuilla tai hajotusilmaruiskuilla. Nestemaalauksen suurin etu on siinä, että niitä voidaan tehdä jopa 5-kerrosmaalauksina, joilla voidaan saavuttaa kaikki rasitusluokkavaatimukset. [24.] Nestemaalauksissa pinnoitettavien tuotteiden kalvonpaksuudet vaihtelevat kohteen ja käyttötarkoituksen mukaan. Ankarimpiin rasitusluokkiin vaaditaan monikerrosnestemaalauksia, jolloin koko yhdistelmän kalvonpaksuus voi kasvaa jopa 600 µm:iin asti. [15.]

Nestemaalauksista suunniteltaessa on hyvä rajata maalausalue niin, että maalausolosuhteista saadaan hyväksyttävät. Teollisuuden maalaamot ovat pitkälti maalausammion tyyliä, joissa voidaan säätää ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus tarkasti. Kenttäolosuhteissa suoritettavat maalaukset voivat tuoda haasteita varsinkin kosteilla keleillä, kun kosteutta voi muodostua pinnoille. Kenttäolosuhteissa ei välttämättä pystytä säätämään haluttuja olosuhdeparametreja. Nestemaalauksista haittaavia ongelmia ovat muun muassa ilman kosteus, pöly sekä tuuli. Ilman kosteus muodostuu haitaksi maalaustyölle vasta siinä vaiheessa, kun ilmassa oleva vesihöyry alkaa tiivistyä maalattavalle pinnalle. Ympäristön ilman saavuttaessa kastepisteen alkaa vesihöyryä tiivistyä ilmassa. Jos maalattavan kappaleen pinnalla saavutetaan myös kastepiste, siihen pystyy tiivistymään vettä. Kastepisteellä tarkoitetaan tilannetta, jossa ilman suhteellinen kosteus on 100 %. Veden tiivistymisen ehkäisemiseksi pinnoitettavan pinnan lämpötilan täytyy olla 3 °C yli kastepisteen arvon standardin SFS-EN ISO 12944-7 mukaan. Eryityisesti metallipintojen nestemaalauksissa suuripitoinen ilman kosteus on haitallista, koska se aiheuttaa herkästi ruostetta raesuihkupuhdistetuille pinnoille sekä estää maalin tarttumista pinnalle. Näin ollen ennen nestemaalauksien suorittamista on huolehdittava ja tarkistettava olosuhdeparametrit. Olosuhdeparametreja voidaan mitata olosuhdemittareilla, jotka mittaavat ilman suhteellisen kosteuden sekä lämpötilan ja maalattavan pinnan lämpötilan. Osa olosuhdemittareista laskee suoraan kastepisteen, ja se voidaan lukea mittarista. [6, s. 100–103.]

Ennen nestemaalauksen suorittamista on tärkeää myös tarkastaa maalin tuoreus sekä tarkastaa se, että nestemaaleja on varastoitu oikeissa lämpötiloissa, koska liian suurissa varastointilämpötiloissa olleet nestemaalit muodostavat nahoittumista. Vesiohenteiset nestemaalit voivat myös jäätyä miinusasteisissa varastointilämpötiloissa jonkin ajan

kuluessa. Polyuretaanimaalien kovetteet pilaantuvat helposti kosteissa tiloissa. Eri liuottimet ja pigmentit eivät kuitenkaan pilaannu tai menetä ominaisuuksiaan herkästi lämpötilan vaihdellessa. Nestemaalien viskositeetti vaihtelee eri maaleilla lämpötilan funktiona. Nestemaalien tarkastamisen lisäksi on tarkastettava myös nestemaalauslaitteisto, joka on tärkeintä vesiohenteisilla nestemaaleilla maalattaessa. Käytettävät ruiskut tulee aina huuhdella maalattavan maalin ohenteella, jotta edellisen maalauskerroksen jäljiltä jääneet ohenteet saadaan pois. Ruiskuihin valitaan erikokoisia suuttimia, jotka riippuvat maalityyppistä sekä maalattavasta kohteesta. Ruiskun ollessa käyttökunnossa on se lopulta viimeisteltävä eli säädettävä. Viimeistelyllä tarkoitetaan ruiskutuskuvioiden säätämistä oikeaksi säätämällä ruiskun painetta optimaaliseksi. Eri ruiskutusmenetelmien välillä on suuria eroja ruiskutuskuvioiden muodostumisen suhteen. Suurpainaruiskulla saadaan aikaan yleisesti suurempaa pisarakokoa maaliumulle, jota voidaan hieman pienentää säätämällä painetta. Hajotusilmaruiskulla saadaan aikaan hienojakoista pisarakokoa maaliumulle, ja pisarakokoa voidaan säätää helposti säätämällä ilmanpainetta. [6, s. 105–106, s. 111.] Nestemaalausmenetelmän valinnalla on taloudellinen vaikutus eri yrityksille. Tämä johtuu eri nestemaalausmenetelmien siirto-hyötysuhteesta, jolla tarkoitetaan maalimäärää, joka ruiskuttaessa päätyy maalattavalle pinnalle. Ruiskutettaessa nestemaaleja maaliumusta ei siirry kaikkea maalia automaattisesti maalattavalle pinnalle, vaan osa maaliumusta ruiskutetaan ohi kappaleen tarkoituksenmukaisesti sekä osa maaliumusta voi kimmota pinnalta pois. Huonoon siirto-hyötysuhteeseen vaikuttaa erityisesti hajotusilmaruiskun käyttäminen, koska hienojakoinen maaliumu kimpoaa helposti pinnalta pois ja hajotusilmaa käytettäessä ohiruiskutuksen osuus kasvaa. Eri ruiskutusmenetelmien siirto-hyötysuhteita ja maalipisaroiden nopeuksia voidaan tarkastella taulukon 4 mukaan. Maalipisaroiden nopeuden kasvu ruiskuttaessa vaikuttaa siirto-hyötysuhteeseen negatiivisesti. Ruiskutusmenetelmä HVLP (High Velocity Low Pressure) tarkoittaa kehittyneempää hajotusilmaruiskua, jossa painetta on vähennetty sekä ilman määrää lisätty. HVLP-hajotusilmaruiskutuksen ominaisuuksilla saadaankin parannettua siirto-hyötysuhdetta merkittävästi verrattuna perinteiseen hajotusilmaruiskuun. [6, s. 117, s. 127.]

Taulukko 4. Maalipisaran nopeuden vaikutus eri ruiskutusmenetelmien siirto-hyötysuhteeseen [6, s. 117].

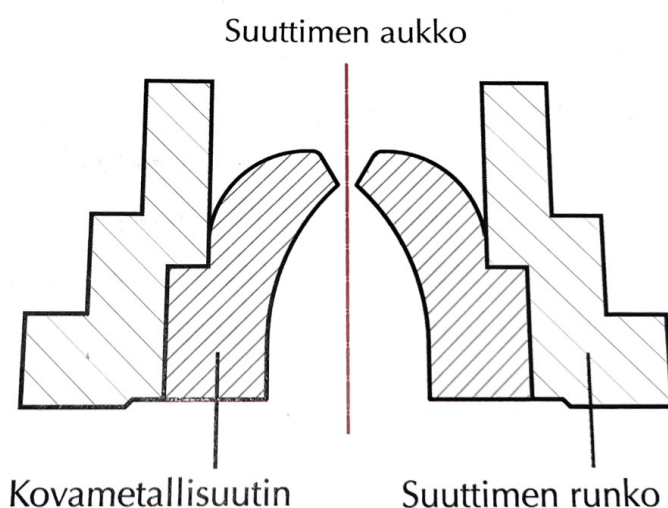
Ruiskutusmenetelmä	Maalipisaran nopeus (m/s)	Siirto-hyötysuhde (%)
Hajotusilmaruiskutus	10	40
HVLP	7,0	70
Suurpaineruiskutus	1,2	65
Ilma-avusteinen suurpaineruiskutus	0,7	78

### 3.2.1 Suurpaineruiskutus

Suurpaineruiskutusta voidaan pitää yhtenä tehokkaimmista ruiskutusmenetelmistä nestemaalauksen puolella. Suurpaineruiskutuksesta puhutaan myös nimellä ilmaton (airless) maalausmenetelmä, koska menetelmässä ei käytetä ollenkaan paineilmaa. Koska suurpaineruiskutuksessa ei tarvita paineilmaa, siirto-hyötysuhde on hyvä ja maalihukka on pienempi kuin hajotusilmaruiskulla. Suurpaineruiskutusta käytetään erityisesti silloin, kun maalataan suuria pinta-aloja sekä suuria pinnoitepaksuuksia. Suurpaineruiskumaalauksella voidaan saavuttaa 500 µm:n maalikalvoja kertamaalauksena. Suurpaineruiskutuksen suurimpina etuina pidetään sen nopeutta ja suurien kalvonpaksuuksien maalausta kerralla. Suurpaineruiskutuksen aiheuttama maalisumu ei ole hienojakoista joutuessaan paineilman puutteesta, jolloin maalattavan tuotteen pinnan laatu kärsii. Suurpaineruiskulla ei voida myöskään maalata pieniä maalimääriä, sillä suurpaineruiskulaitteisto vaatii letkut ja pumpun. Näiden syiden takia suurpaineruiskuja käytetään eniten

korroosionestomaalauksen puolella sekä eri teollisuuden kohteissa. Normaaleja arki- käyttöön pinnoitettavia tuotteita ei ole järkevää maalata suurpaineruiskulla. [6, s. 133.]

Suurpaineruiskutuksessa nestemaalia joudutaan pumppaamaan mäntä- tai kalvopumpun avulla laitteiston letkuja pitkin kohti pistoolia, josta maali kulkeutuu vielä kapean suuttimen läpi, joka on yleensä valmistettu kovametallista. Nestemaalia pumpataan pistoolin suuttimelle asti noin 10–40 MPa:n paineella, ja maalin tullessa kapean suuttimen läpi se sumuuntuu maalin paineen ja ympäristön ilman paine-eron vaikutuksesta. Havainnollistava kuva suurpaineruiskun pistoolin suuttimesta on esitetty kuvassa 13. [6, s. 133]



Kuva 13. Suurpaineruiskun suuttimen rakenne [6, s. 136].

Maalin pumppaamiseen käytettävää painetta säädetään eri nestemaalien ominaisuuksien mukaan. Painetta säädetään yleisesti nestemaalien viskositeetin, pinnan laadun ja maaliletkun pituuden mukaan. Maaliletku aiheuttaa painehäviötä kymmenen metrin matkalla noin 0,2 MPa. Valmistaja on ilmoittanut mäntä- tai kalvopumpuille myös painesuhteet, jotka kertovat millä paineella maali tulee paineilmakäyttöisestä pumpusta ulos tietyssä verkostoilmanpaineessa. Esimerkiksi pumpun painesuhteen ollessa 30:1 ja ilmanpaineen 4 MPa saadaan maalin lähtöpaineeksi  $30 \cdot 4 \text{ MPa} = 120 \text{ MPa}$ . Pumpun painesuhteen valinta perustuu nestemaalien reologiaan. Jos maalataan viskositeetiltaan ohuita maaleja, on hyvä käyttää pienen painesuhteen omaavaa pumppua. Viskositeetiltaan paksujen maalien maalaamisessa on suositeltavaa käyttää suuremman

painesuhteen omaavaa pumppua, koska paksujen maalien hajotuspaineen täytyy olla suurempi. [6, s. 134.]

### 3.2.2 Ilma-avusteinen suurpaineruiskutus (airmix)

Ilma-avusteista suurpaineruiskua voidaan sanoa parannelluksi versioksi suurpaineruiskusta. Ilma-avusteisessa suurpaineruiskussa on yhdistetty hajotusilmaruiskun pinnan laadun hyvyys sekä suurpaineruiskun paksujen maalikerroksien maalaaminen. Ilma-avusteisella suurpaineruiskulla saadaankin siirto-hyötysuhteeksi 78 %, mikä on paras tulos kaikista ruiskutusmenetelmistä. Ilma-avusteinen suurpaineruisku eroaa suurpaineruiskusta vain pistoolin rakenteen muodossa. Ilma-avusteinen suurpaineruisku sisältää ilmasuuttimen, joka puhaltaa paineilmaa noin 0,15 MPa:n paineella ja täten helpottaa maalin sumuuntumista. Ilma-avusteinen suurpaineruiskulaitteisto tarvitsee myös letkut sekä mäntä- tai kalvopumpun. Erona suurpaineruiskuun on se, että ilma-avusteisella suurpaineruiskulla ei voida helposti maalata viskositeetiltaan paksuja maaleja. Ilma-avusteista suurpaineruiskua käytetään silloin, kun halutaan maalata viskositeetiltaan ohuita tai normaaleja maaleja sekä kun tuotteen pinnanlaadusta halutaan hyvä. Tyypillisiä käyttökohteita ilma-avusteiselle suurpaineruiskulle ovat metallituotemaalaus sekä teollisuuden puolelta huonekaluteollisuus. Ilma-avusteisen suurpaineruiskun hyötyjä ja haittoja on esitetty taulukossa 5. [6, s. 142.]

Taulukko 5. Ilma-avusteisen suurpaineruiskun etuja ja haittoja [25, s. 93].

Hyvät ominaisuudet	Huonot ominaisuudet
Maalattun tuotteen pinnanlaatu on hyvä. Pinnanlaatuun vaikuttaa paineilman käyttö.	Laitteisto vaatii aina paineilmaa toimiakseen.
Menetelmän siirto-hyötysuhde on hyvä.	Laitteisto on huollettava sekä puhdistettava huolellisesti.
Ohiruiskutuksen osuus on pientä, johon vaikutetaan paineilmalla.	Laitteistossa olevan pistoolin suutin tukkeutuu helposti.

#### 4 Tutkimuksessa käytettävät materiaalit ja niiden käsittelyt

Tutkimuksessa käytetään standardisoituja Q-panel-teräslevyjä. Teräslevyjen määrä on 320 kappaletta sekä teräslevyjen mitat ovat 100 x 150 mm. Lisäksi tutkimusaineistoon kuuluu neljä eri jauhemaalityyppiä, joilla maalattiin Q-panel-teräslevyjen päälle, sekä kuusi eri nestemaaliyhdistelmää, joilla maalattiin jauhemaalattut teräslevyt. Jauhemaalityypeinä käytetään sinkkiepoksipolyesteri-, epoksipolyesteri- ja kahta eri polyesterijauhetta. Nestemaaleina käytetään epoksi-, alkydi-, akrylaatti-, uretaani-alkydi- ja kahta eri polyuretaanimaalia. Koelevyt maalattiin Teknos Oy:n tiloissa.

##### 4.1 Maalausjärjestelmät

Tutkittavia maalausjärjestelmiä on yhteensä kuusi kappaletta, jotka koostuvat neljästä eri jauhemaalista, kuudesta eri nestemaaliyhdistelmästä sekä neljästä eri jauhemaalattun

pinnan esikäsitteystä (sarjasta). Yhteen maalausjärjestelmän sarjaan (ei hiontaa, pintamaalaus) menee yhteensä neljä levyä per jauhemaalityyppi, mikä tekee yhteensä 16 levyä per maalausjärjestelmän sarja. Yhdessä maalausjärjestelmässä on neljä sarjaa, jotka koostuvat hionnasta, tartuntapohja- ja pintamaalauksista sekä näiden sekoituksista. Tutkimuksessa käytettävät jauhemaalit, nestemaalien yhdistelmät sekä sarjat on esitetty alla olevassa taulukossa 6. Maalausjärjestelmissä olevat sarjat ovat jaettu jauhemaalipintojen esikäsitteilyiden mukaan. Nestemaaliyhdistelmät sekä jauhemaalit on jaoteltu sideaineen perusteella sekä eroteltu keskenään numeroilla 1–3 koska osa saman sideaineen omaavista maaleista eroavat hieman ominaisuuksiltaan toisistaan. Nestemaaliyhdistelmät 3, 4 ja 6 ovat vesiohenteisia (VO) ja nestemaaliyhdistelmät 1, 2 ja 5 ovat liuotinohenteisia (LO). 2-komponenttisiin maalausyhdistelmiin luokitellaan yhdistelmät 1, 2 ja 6. 1-komponenttiset maalausyhdistelmät ovat 3–5.

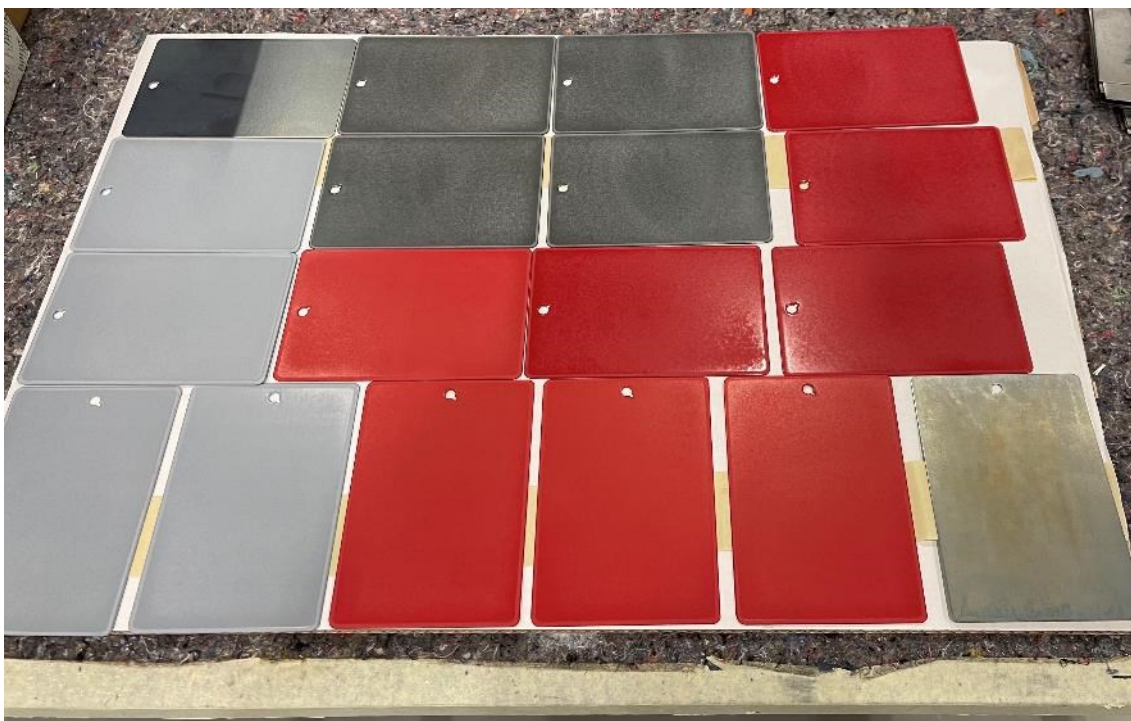
Taulukko 6. Maalausjärjestelmät jauhemaalatuille teräslevyille. LO on liuotinhenteinen maali. VO on vesiohenteinen maali. 1K on yksikomponenttinen maali ja 2K on kaksikomponenttinen maali.

Maalausjärjestelmä	Nestemaaliyhdistelmä	Jauhemaalattut teräslevyt				
		Levy määrä	Epoksi polyesterijauhe	Sinkkiepoksi polyesterijauhe	Polyesterijauhe 1	Polyesterijauhe 2
1	<b>Epoksi pohjamaali 1 + Polyuretaanipintamaali , LO, 2K</b>					
	Ei hiontaa, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Hionta ja pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	16	4	4	4	4
2	<b>Epoksi pohjamaali 2 + Polyuretaanimaali, LO, 2K</b>					
	Ei hiontaa, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Hionta ja pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	16	4	4	4	4
3	<b>Alkydipohjamaali + Uretaani-alkydipintamaali, VO, 1K</b>					
	Ei hiontaa, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Hionta ja pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	16	4	4	4	4
4	<b>Akrylaattipintamaali, VO, 1K</b>					
	Ei hiontaa, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Hionta ja pintamaalaus	16	4	4	4	4
5	<b>Alkydipintamaali, LO, 1K</b>					
	Ei hiontaa, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Hionta ja pintamaalaus	16	4	4	4	4
6	<b>Epoksi pohjamaali 3 + Epoksi pintamaali, VO, 2K</b>					
	Ei hiontaa, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Hionta ja pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Levyjen määrä yhteensä	320	80	80	80	80

## 4.2 Hionta

Osalle jauhemaalatuille teräslevyille suoritettiin hionta parantamaan seuraavan neste-maalikerroksen tartuntaa jauhemaalatuille pinnalle. Hionta suoritettiin vain kahdelle sarjalle maalausyhdistelmissä 1–3 ja 6. Maalausyhdistelmissä 4–5 suoritettiin hionta vain yhdelle sarjalle, kuten taulukosta 4 nähdään. Hionta jauhemaalatuille teräslevyille suoritettiin Mirka Oy:n hiontalaitteistolla, jossa käytettiin hiontaverkon karkeutena P-180. Alla olevassa kuvassa 14 nähdään valmiiksi hiottuja jauhemaalattuja teräslevyjä, jotka ovat menossa päällemaalattavaksi.





Kuva 14. Valmiiksi hiottuja jauhemaalattuja teräslevyjä odottamassa nestemaalauksien suorittamista. Kuvassa vasemmalla ylhäällä ja oikealla alhaalla näkyy vertailulevy, joita käytetään varmistamaan työn laadun minimitaso. Tässä tutkimuksessa vertailulevyjä käytettiin määrittämään riittävät märkäkalvonpaksuudet.

### 4.3 Tartuntapohjamaalaus

Tartuntapohjamaalauksia suoritettiin myös kahdelle sarjalle maalausyhdistelmissä 1–3 ja 6. Maalausyhdistelmissä 4–5 ei käytetty ollenkaan tartuntapohjamaalauksia. Tartuntapohjamaaleina käytettiin kahta eri kaksikomponenttista liuotinhenteistä epoksipohjamaalia, yhtä kaksikomponenttista vesiohenteistä epoksipohjamaalia sekä yhtä vesiohenteistä alkydipohjamaalia. Tartuntapohjamaalaukset suoritettiin maalausammiossa, jossa ilman lämpötila oli keskimäärin 19 °C ja suhteellinen kosteus keskimäärin 37 %. Tartuntapohjamaalauksissa käytettiin maalausmenetelmänä ilma-avusteista suurpaine-ruiskutusta (airmix), jonka painesuhde oli 30:1. Tartuntapohjamaaleja ei ohennettu. Tartuntapohjamaalattujen levyjen annettiin kuivua maalausammiossa tuoteselosteiden vaatiman ajan verran ennen kuin niiden päälle voitiin päällemaalata eri pintamaaleilla.

#### 4.4 Koelevyjen maalaus

Koelevyjä maalattiin yhteensä neljä päivää Teknos Oy:n tiloissa. Jauhemaalaukset suoritettiin yhden päivän aikana nopean automaattilaitteiston sekä kuljetinlinjaston avulla. Nestemaalauksiin kului kolme päivää, sillä ne suoritettiin käsin ilma-avusteisella suurpainuiskulla. Nestemaaleihin kuului myös tartuntapohjamaalien maalaukset, mikä lisäsi työmäärää.

##### 4.4.1 Jauhemaalaus

Ensiksi tutkimuksessa maalataan jokaisella neljällä jauhemaalityypillä 80 kappaletta Q-panel-teräslevyjä. Jauhemaalauksessa käytettiin epoksipolyesterijauhetta, sinkkiepoxipolyesterijauhetta sekä kahta eri polyesterijauhetta. Epoksipolyesterijauhe soveltuu käytettäväksi eri metalliteollisuuden kohteissa, kuten valaisimissa. Sinkkiepoxipolyesterijauhe soveltuu erityisesti pohjamaaliksi monikerrosmaalausyhdistelmiin. Polyesterijauheet soveltuvat kohteisiin, joissa vaaditaan säänkestävyyttä.

Ennen jauhemaalausta valmiiksi esikäsitellyt teräslevyt ripustettiin kuvan 15 mukaisesti kuljetinlinjastoon, joka liikkui läpi jauhemaalauslaitteiston aina suoratoimiseen kaasuuuniin asti.



Kuva 15. Jauhemaalaukseen menevät Q-panel-teräslevyt ripustettuna kuljetinlinjastoon.

Jauhemaalauksia suoritettiin Gema-jauhemaalauksilaitteistolla, johon kuului myös Opticenter OCO3 -jauhekeskus ja Optigun GA03-P-automaattijauhepistoolit (4 kpl) liitettynä traverssiin. Traverssi ja neljä automaattijauhepistoolia voidaan nähdä jauhemaalauksilaitteiston kuvassa 16. Jauhemaalauksilaitteiston ruiskutusaineena käytettiin 2 bar, jauhemääränä (syöttö) 30 %, jännitteenä 40 kV, virtana 20  $\mu$ A ja suutinilmana 0,2 bar. Jauheen tuloa säädettiin manuaalisesti. Jauhemaalauksilaitteiston traverssin liikkumisnopeudeksi säädettiin 35 cm/s, joka kertoo, kuinka nopeasti traverssi kulkee vertikaalisuunnassa. Kuljetinlinjaston ratanopeutena pidettiin 1,5 m/min.



Kuva 16. Jauhemaalauslaitteisto sekä takana suoratoiminen kaasu-uuni. Laitteiston keskellä näkyy traverssi sekä siihen kiinnitetyt neljä automaattijauhepistoolia.

Jauhemaalauksien jälkeen kuljetinlinjasto vie levyt suoraan suoratoimiseen kaasu-uuniin, joka voidaan nähdä kuvasta 16 automaattipistoolien takana. Uunituksen aikana eri jauhemaalatu levyt kovetettiin oikeilla uunituslämpötiloilla ja polttoajoilla. Suositellut jauhemaalien uunituslämpötilat ja polttoajat ovat esitetty alla olevassa taulukossa 7. Jauhemaalien kovetuksessa käytetyn suoratoimisen kaasu-uunin todellinen polttolämpötila kaikkien kovetusten aikana oli noin 180 °C.

Taulukko 7. Jauhemaalien suositellut uunituslämpötilat ja polttoajat. Polttoajan mittaus alkaa silloin, kun saavutetaan metallin lämpötila.

Jauhemaali	Epoksipolyesterijauhe	Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Polyesterijauhe 1	Polyesterijauhe 2
Uunituslämpötila (°C)	180	180	180	180
Polttoaika (min)	10	10	10–25	10–25

Epoksipolyesterijauheen sekä sinkkiepoksipolyesterijauheen polttoajoiksi mitattiin 13 minuuttia, jossa huomioitiin metallin lämpötilan saavuttaminen, jolloin polttoaikaa ruvetaan vasta mittaamaan. Kummankin polyesterijauheen polttoajoiksi mitattiin 27 minuuttia, joissa myös huomioitiin metallin lämpötilan saavuttaminen. Ohut teräslevy, joita tässä tutkimuksessa käytettiin, saavuttaa uunin noin 180 °C lämpötilan noin muutamassa minuutissa. Uunituksen jälkeen jauhemaalattut levyt kuljetettiin kuljetinlinjastoa pitkin aloituspisteeseen, jossa niiden annettiin jäähtyä, jonka jälkeen ne kerättiin kuljetinlinjastosta odottamaan esikäsittelyiden ja päällemaalauksien suorittamista nestemaaleilla.



Kuva 17. Uunituksen jälkeiset polyesterijauhemaalatus levyt jäähtymässä.

#### 4.4.2 Nestemaalaus

Tutkimuksen käytännön maalauksien viimeinen vaihe koostui jauhemaalattujen koelevyjen tartuntapohja- ja pintamaalauksista. Nestemaalaukset voitiin suorittaa sen jälkeen, kun jauhemaalatus Q-panel-teräslevyt olivat jäähtyneet, niistä oli mitattu jauhemaalien kuivakalvonpaksuudet sekä tarvittavat sarjat olivat hiottu. Nestemaalauksissa käytettiin kolmea kaksikomponenttista vesiohenteista epoksipohjamaalia, yhtä yksikomponenttista vesiohenteista alkydipohjamaalia, kahta kaksikomponenttista liuotinohenteista polyuretaanimaalia, yhtä yksikomponenttista uretaani-alkydipintamaalia, yhtä vesiohenteista yksikomponenttista akrylaattimaalia, yhtä yksikomponenttista liuotinohenteista alkydipintamaalia sekä yhtä kaksikomponenttista vesiohenteista epoksipintamaalia. Nestemaalauksessa käytettävät maalit, mitattavat märkäkalvonpaksuudet sekä halutut kuivakalvonpaksuudet, suutinkoot sekä kuivumisajat ovat esitetty alla olevassa taulukossa 8.

Taulukko 8. Nestemaalien kalvonpaksuudet, suutinkoot sekä kuivumisajat. LO on liuotinohenteinen maali. VO on vesiohenteinen maali.

Maali	Kuivakalvonpaksuus (µm)	Märkäkalvonpaksuus (µm)	Suutinkoko (")	Kuivumisaika (h)
Epoksipohjamaali 1, LO	80	145	0,013 - 0,018	4 h
Polyuretaanipintamaali, LO	40	80	0,011 - 0,013	6 h
Epoksipohjamaali 2, LO	80	150	0,013 - 0,019	4 h
Polyuretaanimaali, LO	80	114	0,011 - 0,015	8 h
Alkydipohjamaali, VO	60	150	0,011 - 0,013	6 h
Ureaani-alkydipintamaali, VO	40-60	100-150	0,011 - 0,013	48 h
Akrylaattipintamaali, VO	60	158	0,015 - 0,019	8 h
Alkydipintamaali, LO	40-80	88-177	0,013 - 0,015	1 h
Epoksipohjamaali 3, VO	60	133	0,015 - 0,019	4 h
Epoksipintamaali, VO	40-60	88-133	0,011 - 0,015	5-10 h

Nestemaalaukset suoritettiin maalausammiossa kolmen päivän aikana, jossa ilman lämpötilaksi säädettiin keskimäärin 19 °C ja suhteelliseksi kosteudeksi keskimäärin 37 %. Nestemaalaukset suoritettiin kahdella eri ilma-avusteisella suurpaineruiskulla (airmix). Vesiohenteiset nestemaalit maalattiin ruiskulla, jonka painesuhde oli 30:1 sekä suutinkoko 0,011 tuumaa. Liuotinohenteiset nestemaalit maalattiin ruiskulla, jonka painesuhde oli 40:1 sekä suutinkoko 0,013 tuumaa. Nestemaaleja ei ohennettu. Nestemaalit sävytettiin eri sävyillä helpottamaan erottamaan eri maalausyhdistelmät toisistaan. Nestemaalauksien jälkeen koelevyt kuivuivat tilassa, jossa ilman lämpötila oli 19,7 °C ja suhteellinen kosteus 24 %. Vesiohenteisten nestemaalien maalauksessa käytetty ilma-avusteinen suurpaineruisku on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Vesiohenteisten nestemaalien maalauksessa käytetty ilma-avusteinen suurpaineruisku.

Samalla ilma-avusteisella suurpaineruiskulla, jolla maalattiin vesiohenteiset maalit ei voida suoraan maalata liuotinhenteisiä nestemaaleja. Tämä vaatisi ensiksi laitteiston perusteellisen pesun. Liuotinhenteiset nestemaalit maalattiinkin niille tarkoitetulla ilma-avusteisella suurpaineruiskulla, joka on esitetty kuvassa 19.





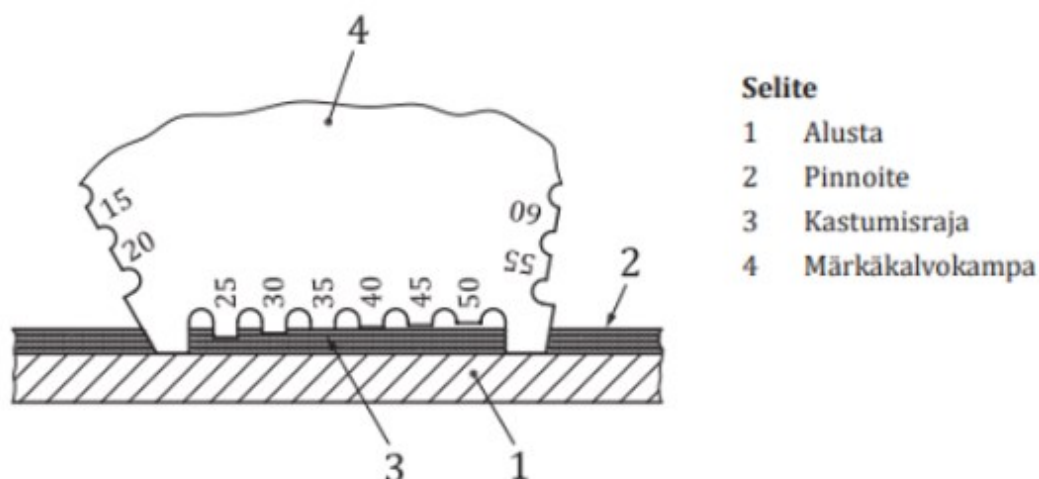
Kuva 19. Liutiinohenteisten nestemaalien maalauksessa käytetty ilma-avusteinen suurpaine-ruisku.

## 5 Testausmenetelmät

Nestemaalauksien ja koelevyjen kuivumisen jälkeen koelevyistä haluttiin tutkia tartuntaa hilaristikko- ja veitsikokeella sekä ympäristöolosuhdekestävyyttä kondenssitestillä. Koelevyt vakioituivat noin kaksi viikkoa lämpötilan ollessa 19,7 °C ja suhteellisen kosteuden ollessa 24 %. Standardin SFS-EN ISO 12944-6 mukaan kondenssitestaukseen meni yhteensä kolme levyä yhdestä sarjasta, joka sisältää yhteensä neljä levyä. Yksi levy jätettiin ns. nollalevyksi, jolle suoritettiin vain veitsi- ja hilaristikkokoe. Standardia SFS-EN ISO 12944-6 käytettiin apuna laboratoriotestien arvioinnissa. Standardissa ilmoitettiin muun muassa arviointimenetelmät ja hyväksyttävissä olevien tuloksien arviointirajat kondenssitetatuille näytteille.

## 5.1 Märkäkalvonpaksuuden mittaus

Maalaustyön aikana työn oikea kalvonpaksuus varmistetaan yleisesti märkäkalvonpaksuuden mittauksilla. Suojamaaliyhdistelmille on annettu tietyt märkäkalvonpaksuuden arvot, joita tulee noudattaa maalauksen aikana. Liian vähäinen tai suuri määrä maalia aiheuttaa maalausyhdistelmälle ongelmia. Märkäkalvonpaksuuksia voidaan mitata märkäkalvokammalla, märkäkalvorullalla tai mittakellolla. Tässä tutkimuksessa käytettiin alumiinista ja korroosionkestävää märkäkalvokampaa, joka on yleisin käytetty mittalaite mitaamaan märkäkalvonpaksuuksia. Märkäkalvonpaksuuden määrittämisessä märkäkalvokampa asetetaan pinnoitetulle alustalle kohtisuorassa niin, että märkäkalvokamman reunahampaat osuvat alustaan asti pinnoitteen läpi. Reunahampaiden välillä olevat muut hampaat kostuttavat pinnoitetta riippuen pinnoitteen paksuudesta. Märkäkalvonpaksuuden mittauksen suorituksessa märkäkalvokampa asetetaan märälle maalikalvolle, jolloin märkäkalvokamman osa sisemmistä piikeistä kostuvat. Märkäkalvonpaksuus arvioidaan sen mukaan, mitkä piikit ovat kastuneet. Märkäkalvonpaksuuden tulos on aina vähintään se lukema, minkä viimeinen kostunut piikki kertoo. Märkäkalvonpaksuuden arvo on yleisesti viimeisen kostuneen piikin ja viereisen kuivan piikin välillä oleva paksuusarvo. Tyypillisesti märkäkalvokammat ylettyvät noin 500 µm:iin asti. On olemassa myös märkäkalvokampoja, joilla voidaan mitata jopa 2 000 µm:n märkäkalvoja. [26, s. 10–11.]



Kuva 20. Märkäkalvokamman periaate. Kastumisrajalla tarkoitetaan viimeistä hammasta, joka kostuttaa pinnoitteeseen. [26, s. 11.]

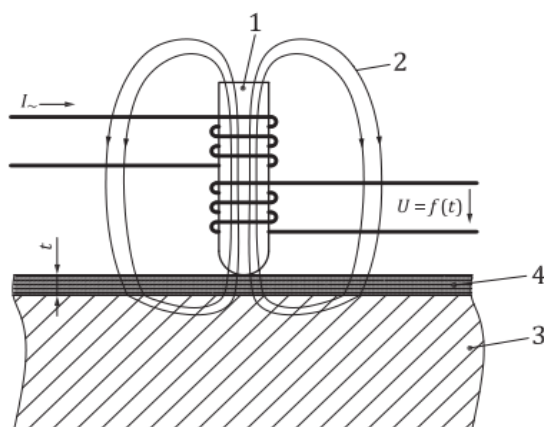
## 5.2 Kuivakalvonpaksuuden mittaus

Kuivakalvonpaksuuksia voidaan mitata kuivuneista alustoista monella eri menetelmällä. Tässä tutkimuksessa kuivakalvonpaksuudet määritettiin ainetta rikkomattomalla magneettisella menetelmällä. Kuivakalvonpaksuusmittarina käytettiin PHYNIX Surfex easy -mittaria. Oletuskuva mittarista voidaan nähdä kuvassa 21.



Kuva 21. PHYNIX Surfex easy -kuivakalvomittari [32].

Magneettimenetelmä soveltuu käytettäväksi metallialustoilla oleville pinnoitteille. Magneettisessa menetelmässä kuivakalvonpaksuus saadaan mitattua magneettikentän ja metallisen substraatin vuorovaikutuksen ansiosta. Kalvonpaksuuden arvo saadaan määritettyä magneettisessa menetelmässä määrittämällä magneettikentän muutokset. Tässä tutkimuksessa käytetty kuivakalvonpaksuusmittari sisältää käämijärjestelmän, jonka avulla saadaan määritettyä kuivakalvonpaksuus magneettikentässä tapahtuvien muutoksien perusteella sen ollessa lähellä pinnoitettua metallialustaa. Mitattaessa kuivakalvonpaksuutta mittari asetetaan kohtisuoraan pinnoitteeseen nähden. Magneettimenetelmän periaate on esitetty alla olevassa kuvassa 22. Maalausjärjestelmän yhden sarjan kuivakalvonpaksuus mitattiin kahdelta levyiltä. Mittauskohtia tuli yhdelle levylle 5 kappaletta. Mittauskohdiksi valittiin levyn keskikohta sekä jokaisen levyn reunan lähetyvillä oleva alue, johon voitiin asettaa kalvonpaksuusmittari. [26, s. 29–32.]



**Selite**

- |   |   |            |                 |
|---|---|------------|-----------------|
| 1 | Anturin ferromagneettinen ydin              | $I_{\sim}$ | Herätevirta     |
| 2 | Pienitaajuuksinen magneettinen vaihtokenttä | $t$        | Paksuus         |
| 3 | Teräs- tai rauta-alusta                     | $U = f(t)$ | Mittaussignaali |
| 4 | Pinnoite                                    |            |                 |

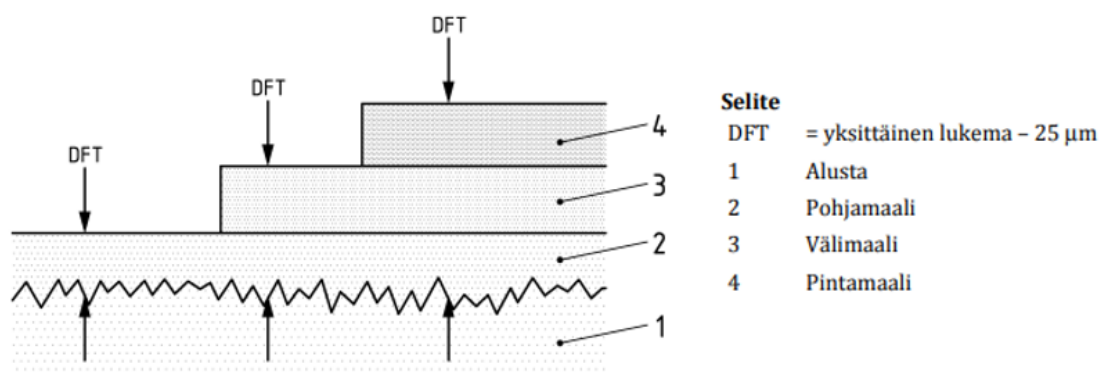
Kuva 22. Magneettimenetelmän periaate [26, s. 32].

Kuivakalvonpaksuuksien mittauksissa täytyy käyttää mittaustulosten arvioinneissa korjausarvoja. Korjausarvo riippuu pintaprofiilin muodosta. Kun kappaleen pintaprofiili täyttää standardin ISO 8530-1 mukaiset määritelmät, käytetään taulukon 9 mukaisia korjausarvoja mittaustulokselle. Kun pintaprofiili ei ole tiedossa eikä pinnoittamatonta näytettä, josta voitaisiin mitata pintaprofiili, on käytettävä korjausarvoa 25  $\mu\text{m}$ . Tässä tutkimuksessa mitattujen kuivakalvonpaksuuksien arvoissa käytettiin korjausarvoa 25  $\mu\text{m}$ , koska pintaprofiilia ei tunnettu. [27, s. 11.]

Taulukko 9. Kuivakalvonpaksuuksien mittauksissa käytettävät korjausarvot [27, s.11].

Pintaprofiili (Standardin ISO 8503-1 mukainen)	Korjausarvo ( $\mu\text{m}$ )
Hieno	10
Keskikarhea	25
Karhea	40

Korjausarvo vähennetään jokaisesta yksittäislukemasta, jonka kuivakalvomittari antaa lukemaksi mittalaitteessa. Maalikalvojen määrästä riippumatta, on jokaisesta yksittäisestä paksuuslukemasta vähennettävä korjausarvo, kuten kuvasta 23 nähdään. [27, s. 11.]



Kuva 23. Korjausarvon vähennys monikerrosmaalausyhdistelmässä [27, s. 11].

### 5.3 Veitsikoe

Veitsikoemenetelmää käytetään apuna, kun halutaan mitata eri maalikerrosten tarttuvuutta keskenään. Tässä tutkimuksessa tutkittiin jauhemaalipinnan ja nestemaalien välistä tarttuvuutta. Kirurginveitsellä tehtiin ensiksi metalliin asti kaksi viiltoa, jotka muodostavat X kirjaimen. Tarttuvuutta testattiin työntämällä kirurgin veitsen kärki pintamaalin tai pintamaalin ja tartuntapohjamaalin läpi jauhemaalipinnalle viiltojen risteytymiskohdassa. Tarttuvuutta arvioitiin testaamalla pinnoitteen irtoamista työntämisen aikana. Tarttuvuuden tulokset luokitellaan neljän eri luokituksen mukaisesti. Hyväksytyssä tuloksessa pintamaalikalvo tai pohjamaali-pintamaalikalvo eivät irtoa, kun veitsen kärkeä työnnetään jauhemaalipinnan ja nestemaalien väliin. Virheetön tulos merkitään merkinnällä ”++”. Toiseksi parhaassa tuloksessa veitsen kärjen työntäminen kalvon tai kalvojen ja jauhemaalipinnan välillä on tiettyssä määrin mahdollista. Kalvoa pystyy irtoamaan pieniä palasia, kun veitsen kärkeä työnnetään kalvojen välillä. Toiseksi paras tulos merkitään merkinnällä ”+”. Kolmannessa tuloksessa pintamaalikalvo tai pohjamaali-pintamaalikalvo irtoavat melko helposti, kun veitsen kärki on työnnetty neste- ja jauhemaalikalvojen väliin. Kolmatta tulosta merkitään merkinnällä ”-”. Viimeisessä tuloksessa veitsen työntämisen seurauksena pintamaalikalvo tai pohjamaali-pintamaalikalvo aukeavat repsettäen niin, että kalvo voidaan irrottaa levyltä käsin. Tämä tulos merkitään merkinnällä ”--”. Veitsikokeeseen tarvittavat materiaalit on esitetty kuvassa 24. [28.]








Kuva 24. Veitsikokeessa tarvittavat kirurgin veitsi sekä koelevy.

#### 5.4 Hilaristikkokoe

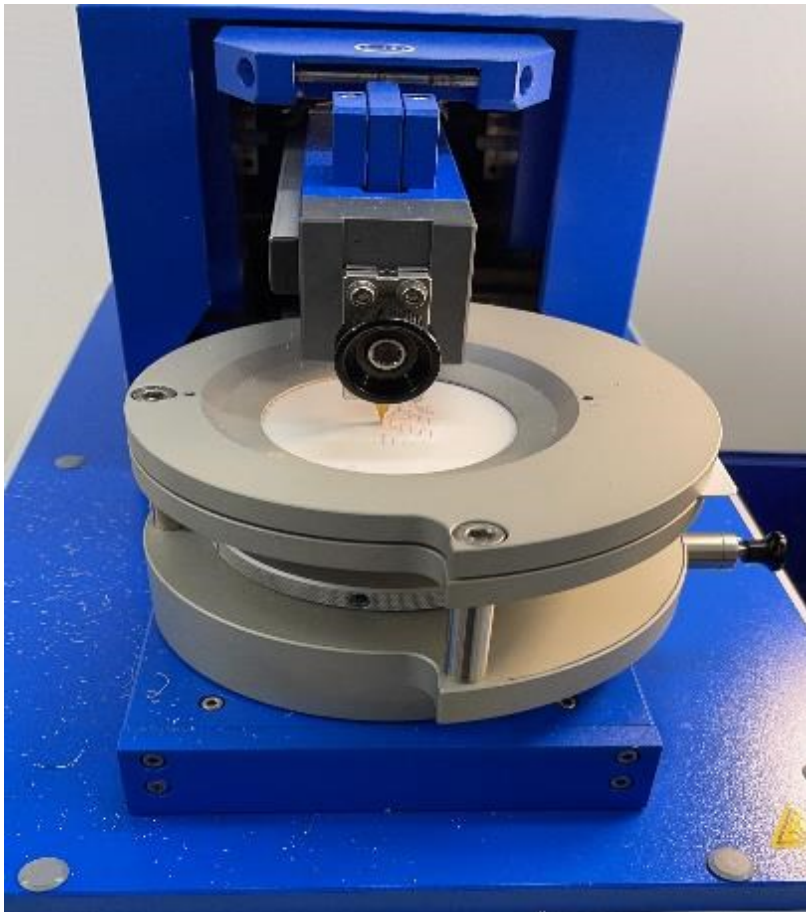
Hilaristikkokoea käytetään apuna, kun halutaan tutkia eri pinnoitteiden tartuntaa. Hilaristikkokokeessa ristikko voidaan tehdä käsilaitteistolla tai naarmutuslaitteistolla, joka naarmuttaa ristikon tasoon tuettuna. Hilaristikko tehdään aina pinnoitetulle alustalle niin, että ensimmäiset kuusi rinnakkaista viiltoa tehdään joko vaaka- tai pystysuuntaan, jonka jälkeen tehdään myös kuusi viiltoa vastakkaiselle akselisuunnalle. Viillot tehdään aina metalliseen substraattiin asti. Tässä tutkimuksessa hilaristikkokoe suoritettiin ja tulokset arvioitiin standardin SFS-EN ISO 2409:2020 mukaan. Viillot suoritettiin käyttäen ERICHSEN Scratch Hardness Tester 430 P-II -naarmutuslaitteistoa, joka voidaan nähdä kuvassa 25. Laitteistossa käytettiin ohjelmana 6 x 3 mm:n ohjelmaa. Ohjelma suorittaa 6 viiltoa 3 mm:n etäisyydellä toisistaan per akselisuunta, minkä jälkeen levyn suunta siirretään manuaalisesti pystyasennosta vaaka-asentoon, ja toistetaan sama ohjelma. Hilaristikoita arvioitiin visuaalisesti harjauksen ja teipin jälkeen. Harjaus suoritettiin laitteiston

mukana tulleella harjalla niin, että hilaristikkoa harjattiin kevyesti pysty- ja vaakasuunnissa, jolloin huonosti tarttunut maali irtoaa. Harjauksen jälkeen hilaristikon päälle asetettiin teippi, joka vedettiin irti ja katsottiin, lähtikö pinnoitetta irtoamaan. [29, s. 5–12.]

Taulukko 10. Hilaristikkotulosten arviointitaulukko. Hilaristikkotulosten arviointitaulukossa on esitetty arviointiasteikon lisäksi määritelmät jokaiselle asteikolle sekä myös esimerkkikuva siitä, miltä levyn hilaristikko tulisi näyttää tietyssä arviointiasteikossa. [29, s. 14.]

Classification	Description	Appearance of surface of cross-cut area from which flaking has occurred <sup>a</sup> (Example for six parallel cuts)
0	The edges of the cuts are completely smooth; none of the squares of the lattice is detached.	
1	Detachment of small flakes of the coating at the intersections of the cuts. A cross-cut area not greater than 5 % is affected.	
2	The coating has flaked along the edges and/or at the intersections of the cuts. A cross-cut area greater than 5 %, but not greater than 15 %, is affected.	
3	The coating has flaked along the edges of the cuts partly or wholly in large ribbons, and/or it has flaked partly or wholly on different parts of the squares. A cross-cut area greater than 15 %, but not greater than 35 %, is affected.	
4	The coating has flaked along the edges of the cuts in large ribbons and/or some squares have detached partly or wholly. A cross-cut area greater than 35 %, but not greater than 65 %, is affected.	
5	Any degree of flaking that cannot even be classified by classification 4.	—





Kuva 25. Hilaristikkokoe käynnissä ERICHSEN Scratch Hardness Tester 430 P-II –naarmutuslaitteistolla.



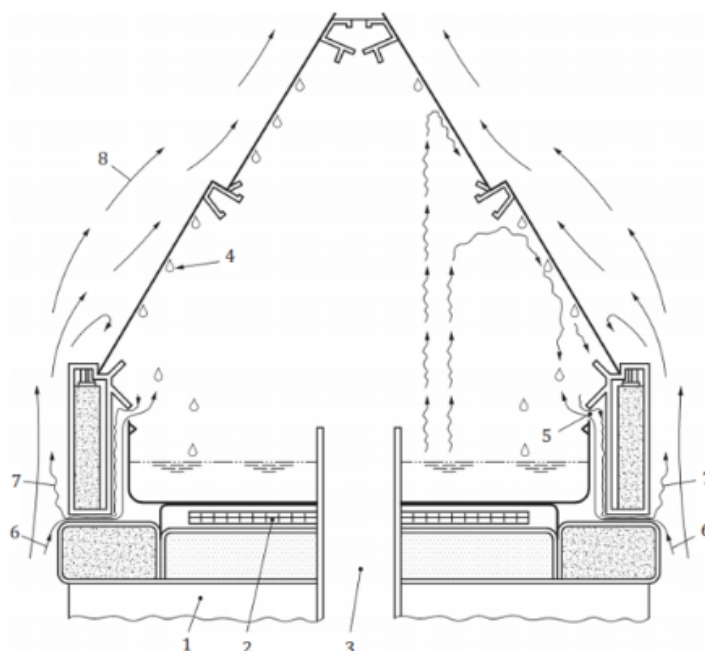
Kuva 26. Hilaristikkotestattujen levyjen arviointi käynnissä.

## 5.5 Kondenssitesti

Kohteen ympäristöolosuhdekestävyyttä voidaan testata monella eri laboratoriomenetelmällä. Tässä tutkimuksessa haluttiin tutkia koelevyjen ympäristöolosuhdekestävyyttä kondenssitestillä. Kondenssitestillä voidaan tutkia maalikalvojen tai maaliyhdistelmien kosteudenkestävyyttä tietyn ajanjakson aikana. Kondenssitestin tuloksen perusteella saadaan selville, kuinka hyvin maaliyhdistelmä kestää vaikeissa ja jatkuvissa altistusolosuhteissa kosteutta vastaan. Kondenssitesti soveltuu käytettäväksi huokoisille alustoille, kuten puulle sekä ei-huokoisille alustoille, kuten metalleille. Kondenssitestissä tutkittavat kappaleet asetetaan koelaitteistoon, jossa ne altistuvat jatkuvalla kondensaatiolla tietyn ajanjakson aikana. [30, s. 5–6.]

Kondenssitestin koelaitteisto on valmistettu materiaaleista, jotka kestävät eri kemikalleja. Koelaitteiston tärkein osa on sähkölämmiteinen vesihaude, koska kappaleiden ollessa laitteiston kantena kosteus pääsee tiivistymään kappaleiden pinnalle. Vesihauteen

lämpötilaa säädetään niin, että kondenssilaitteiston ilmatilan lämpötila pysyy jatkuvasti  $38 \pm 2$  °C:n rajoissa. Kappaleiden on oltava vaakatasoon nähden  $60 \pm 5$  asteen kulmassa, kuten kuvasta 27 nähdään, jotta kappaleiden pinnalle tiivistynyt vesi pääsee valumaan pois. Kondenssilaitteistossa vedenpinta täytyy pitää vakiotasossa, jonka takia laitteisto sisältää säätölaitteen, joka lisää vesihauteeseen lisää vettä. Kondenssitestissä ilman suhteellinen kosteus on 100 %, jolloin kosteutta pääsee tiivistymään koekappaleiden pinnalle jatkuvasti. Tutkimuksessa käytetty koelaitteisto on esitetty kuvassa 28. [30, s. 7.]



**Selite**

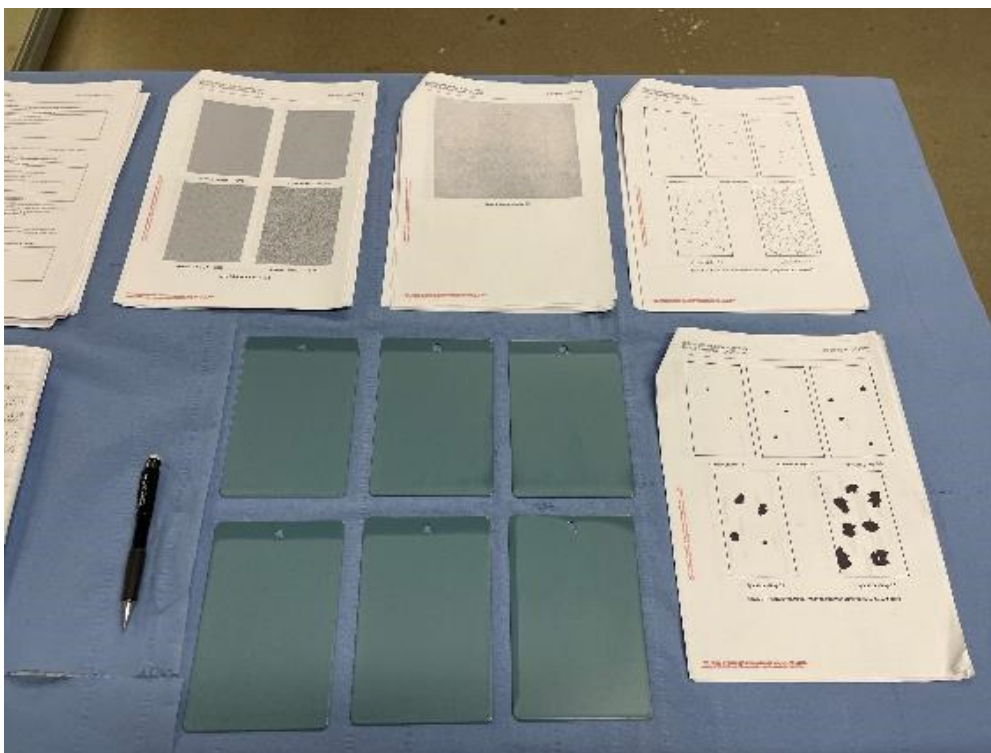
- |   |                            |   |                           |
|---|----------------------------|---|---------------------------|
| 1 | pohjakotelo                | 5 | kosteuden diffuusiokanava |
| 2 | lämmitin                   | 6 | ilma sisään               |
| 3 | ilmakuivauskanava          | 7 | kosteus ulos              |
| 4 | kondensaatiota kappaleessa | 8 | konvektiovirrat           |

Kuva 27. Kondenssitestilaitteiston toimintaperiaate [30, s. 8].



Kuva 28. Tutkimuksessa käytetty kondenssitestilaitteisto. Laitteistossa on kiinni peitekappaleet, joilla peitetään laitteisto, kun kondenssittesti ei ole käynnissä.

Tutkimuksessa eri maalausjärjestelmiä testattiin kondenssilaitteistossa 240 tunnin koestusajalla. Jokaisen kondenssitestin jälkeen kaikkien koelevyjen maalikalvojen kiinnipysyvyyttä arvioitiin välittömästi standardin SFS-EN ISO 4628 osien 2–5 mukaan (osa 2: rakkuloituminen, osa 3: ruostuminen, osa 4: halkeilu, osa 5: hilseily) kuvan 29 mukaisesti. Koelevyjen arvioinnissa virheitä esiintyi vain rakkuloitumisen suhteen, eli standardin SFS-EN ISO 4628-2 suhteen. Kondenssitestattujen levyjen arvioinnin jälkeen koelevyjen annettiin kuivua 7 päivän ajan standardissa ISO 3270 kuvatussa vakioilmastossa, jonka jälkeen kondenssitestatuille koelevyille suoritettiin myös veitsi- ja hilaristikkokoe.



Kuva 29. Kondenssitestattujen koelevyjen arviointi käynnissä standardin SFS-EN ISO 4628 osien 2–5 mukaisesti.

## 6 Tutkimustulokset

Eri nestemaaliyhdistelmien soveltuvuutta eri jauhemaalipinnoille vertailtiin tartuntakoe-  
tuksilla sekä ympäristöolosuhdekestävyydestillä. Kalvonpaksuuksien mittaustulokset  
jauhe-, pohja- ja pintamaaleille on esitetty liitteissä 1–3.

### 6.1 Kuivakalvonpaksuudet

Kalvonpaksuuksien mittaustuloksista vähennettiin korjausarvo sekä niistä laskettiin tun-  
nuslukuja, kuten keskihajonta. Neljän eri jauhemaalityypin kalvonpaksuudet ovat esitetty  
taulukossa 11.

Taulukko 11. Jauhemaalien kalvonpaksuuksien tulokset.

Jauhemaali	Epoksi polyesterijauhe	Sinkkiepoksi polyesterijauhe	Polyesterijauhe 1	Polyesterijauhe 2
Mittausten lukumäärä	200	200	200	200
Keskiarvo	108 µm	88 µm	110 µm	106 µm
Maksimi	117,1 µm	106,8 µm	120,8 µm	115,3 µm
Minimi	99,6 µm	74,8 µm	90,6 µm	87,8 µm
Keskihajonta	5,3 µm	8,5 µm	8,2 µm	8,6 µm
Variaatiokerroin	4,9 %	9,7 %	7,5 %	8,1 %

Pohjamaalien kalvonpaksuudet ja niistä lasketut tunnusluvut ovat esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Pohjamaalien kalvonpaksuuksien tulokset.

Pohjemaali	Epoksi pohjemaali 1	Epoksi pohjemaali 2	Epoksi pohjemaali 3	Alkydipohjemaali
Mittausten lukumäärä	80	80	80	80
Keskiarvo	84 µm	80 µm	66 µm	64 µm
Maksimi	95 µm	83 µm	74 µm	68 µm
Minimi	70 µm	78 µm	60 µm	61 µm
Keskihajonta	10,2 µm	1,9 µm	6,5 µm	3 µm
Variaatiokerroin	12,1 %	2,4 %	9,8 %	4,7 %

Pintamaalien kalvonpaksuudet sekä niistä lasketut tunnusluvut löytyvät taulukosta 13.

Taulukko 13. Pintamaalien kalvonpaksuuksien tulokset.

Pintamaali	Polyuretaanipintamaali	Polyuretaanimaali	Ureaani-alkydipintamaali	Akrylaattipintamaali	Alkydipintamaali	Epoksipintamaali
Mittausten lukumäärä	160	160	160	80	80	160
Keskiarvo	61 µm	97 µm	55 µm	81 µm	54 µm	63 µm
Maksimi	79 µm	119 µm	74 µm	102 µm	68 µm	79 µm
Minimi	40 µm	75 µm	40 µm	67 µm	42 µm	48 µm
Keskihajonta	12,6 µm	15 µm	12,1 µm	14,3 µm	8,9 µm	9,4 µm
Variaatiokerroin	20,7 %	15,5 %	22,0 %	17,7 %	16,5 %	14,9 %

## 6.2 Veitsikoe

Veitsikoe suoritettiin ensiksi jokaisen kuuden maalausjärjestelmän yksittäisen sarjan nol-lalevyille. Hyväksyttynä tuloksena pidetään tulosta ”++”. Tulos ”+” on mahdollisesti hyväksyttävissä erikoismerkinnällä. Erikoismerkinnällä hyväksyttävissä olevat tulokset on merkitty keltaisella. Hylätyt tulokset on merkitty punaisella. Taulukoissa 14–19 on jaoteltu

veitsikoetulokset nollalevyille jauhemaalialustan ja maalausjärjestelmän eri sarjojen mukaan.

Taulukko 14. Veitsikokeen tulokset ensimmäisen maalausjärjestelmän eri esikäsittelyiden nollalevyille.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 1	0-LEVY
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++
	Hionta ja pintamaalaus	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++
	Hionta ja pintamaalaus	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	++
	Hionta ja pintamaalaus	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	+
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	++
	Hionta ja pintamaalaus	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	+

Taulukko 15. Veitsikokeen tulokset toisen maalausjärjestelmän eri esikäsittelyiden nollalevyille.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 2	0-LEVY
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++
	Hionta ja pintamaalaus	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++
	Hionta ja pintamaalaus	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	+
	Hionta ja pintamaalaus	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	+
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	++
	Hionta ja pintamaalaus	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	+

Taulukko 16. Veitsikokeen tulokset kolmannen maalausjärjestelmän eri esikäsittelyiden nollalevyille.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 3	0-LEVY
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	--
	Hionta ja pintamaalaus	+
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	+
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	--
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	--
	Hionta ja pintamaalaus	+
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	-
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	--
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	--
	Hionta ja pintamaalaus	-
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	--
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	--
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	--
	Hionta ja pintamaalaus	+
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	+
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	--



Taulukko 17. Veitsikokeen tulokset neljännen maalausjärjestelmän eri esikäsittelyiden nollalevyille.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 4	0-LEVY
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++
	Hionta ja pintamaalaus	++
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++
	Hionta ja pintamaalaus	++
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	-
	Hionta ja pintamaalaus	++
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	++
	Hionta ja pintamaalaus	++

Taulukko 18. Veitsikokeen tulokset viidennen maalausjärjestelmän eri esikäsittelyiden nollalevyille.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 5	0-LEVY
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++
	Hionta ja pintamaalaus	++
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	+
	Hionta ja pintamaalaus	++
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	-
	Hionta ja pintamaalaus	+
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	++
	Hionta ja pintamaalaus	++

Taulukko 19. Veitsikokeen tulokset kuudennen maalausjärjestelmän eri esikäsittelyiden nollalevyille.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 6	0-LEVY
Epoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	-
	Hionta ja pintamaalaus	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	-
Sinkkiepoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++
	Hionta ja pintamaalaus	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	++
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	--
	Hionta ja pintamaalaus	-
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	-
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	--
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	--
	Hionta ja pintamaalaus	-
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	-
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	--

### 6.3 Hilaristikkokoe

Hilaristikkokoe suoritettiin jokaisen eri maalausjärjestelmän sarjan nollalevyille. Hilaristikkotuloksissa on ilmoitettu harjauksen jälkeinen tulos sekä teipin jälkeinen tulos. Hyväksyttynä tuloksena pidetään tulosta 0. Muut tulokset on merkitty punaisella. Taulukoissa 20–25 on esitetty jokaisen maalausjärjestelmän tulokset nollalevyjen hilaristikkokokeuksille.

Taulukko 20. Hilaristikkokoetulokset ensimmäisen maalausjärjestelmän eri esikäsittelyiden nol-lalevyille.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 1	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1

Taulukko 21. Hilaristikkokoetulokset toisen maalausjärjestelmän eri esikäsittelyiden nol-lalevyille.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 2	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	1	2
	Hionta ja pintamaalaus	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	2	3
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	2	2

Taulukko 22. Hilaristikkokoetulokset kolmannen maalausjärjestelmän eri esikäsittelyiden nollalevyille.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 3	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
Epoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	2	5
	Hionta ja pintamaalaus	1	1
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	3	5
Sinkkiepoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	1	5
	Hionta ja pintamaalaus	1	3
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	5	5
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	5	5
	Hionta ja pintamaalaus	1	3
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	5	5
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	1	5
	Hionta ja pintamaalaus	0	2
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	2	2
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	3	5

Taulukko 23. Hilaristikkokoetulokset neljännen maalausjärjestelmän eri esikäsittelyiden nollalevyille.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 4	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
Epoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0
Sinkkiepoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	2	5
	Hionta ja pintamaalaus	0	0
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0

Taulukko 24. Hilaristikkokoetulokset viidennen maalausjärjestelmän eri esikäsittelyiden nollalevyille.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 5	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
Epoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0
Sinkkiepoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	1	3
	Hionta ja pintamaalaus	1	2
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	2	5
	Hionta ja pintamaalaus	1	2
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	1
	Hionta ja pintamaalaus	0	0

Taulukko 25. Hilaristikkokoetulokset kuudennen maalausjärjestelmän eri esikäsittelyiden nolla-levyille.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 6	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
Epoksi-polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	5
	Hionta ja pintamaalaus	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	5
Sinkkiepoksi-polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	5	5
	Hionta ja pintamaalaus	1	2
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	2
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	5	5
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	5	5
	Hionta ja pintamaalaus	0	2
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	2
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	5	5

#### 6.4 Kondenssitesti

Kondenssitestattujen levyjen arviointi suoritettiin silmämääräisesti ja arviointi tapahtui standardin SFS-EN ISO 4628 osien 2–5 mukaisesti jokaiselle kolmelle koelevylle. Hyväksytyjä tuloksia ovat kaikki ne, jotka saavat arvon 0. Muut tulokset on merkitty punaisella. Taulukoissa 26–31 on esitetty kondenssitestattujen maalausjärjestelmien arviointitulokset. Virheitä esiintyi vain rakkuloitumisen suhteen, joten taulukoissa 26–31 on esitetty tulokset vain rakkuloitumisen suhteen.

Taulukko 26. Kondenssitestin arviointitulokset rakkuloitumisen suhteen maalausjärjestelmän 1 kunkin esikäsitellyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 1	Rakkuloitumisaste
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0

Taulukko 27. Kondenssitestin arviointitulokset rakkuloitumisen suhteen maalausjärjestelmän 2 kunkin esikäsitellyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 2	Rakkuloitumisaste
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0

Taulukko 28. Kondenssitestin arviointitulokset rakkuloitumisen suhteen maalausjärjestelmän 3 kunkin esikäsittelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 3	Rakkuloitumisaste
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	5 (S2)
	Hionta ja pintamaalaus	4 (S2)
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	2 (S2)
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	2 (S3)
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	4 (S2)
	Hionta ja pintamaalaus	5 (S2)
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	2 (S3)
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	2 (S2)
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	5 (S2)
	Hionta ja pintamaalaus	5 (S2)
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	2 (S3)
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	3 (S4)
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	5 (S2)
	Hionta ja pintamaalaus	5 (S2)
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	2 (S2)
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	2 (S3)

Taulukko 29. Kondenssitestin arviointitulokset rakkuloitumisen suhteen maalausjärjestelmän 4 kunkin esikäsittelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 4	Rakkuloitumisaste
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	3 (S2)
	Hionta ja pintamaalaus	3 (S2)
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0

Taulukko 30. Kondenssitestin arviointitulokset rakkuloitumisen suhteen maalausjärjestelmän 5 kunkin esikäsittelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 5	Rakkuloitumisaste
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	5 (S2)
	Hionta ja pintamaalaus	4 (S2)

Taulukko 31. Kondenssitestin arviointitulokset rakkuloitumisen suhteen maalausjärjestelmän 6 kunkin esikäsittelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 6	Rakkuloitumisaste
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	2 (S2)
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	2 (S2)
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	3 (S2)
	Hionta ja pintamaalaus	2 (S2)
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	2 (S2)
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	2 (S2)
	Hionta ja pintamaalaus	2 (S2)
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0, 0, 0

## 6.5 Veitsikoe kondenssitestin jälkeen

Veitsikokeet suoritettiin myös jokaisen maalausjärjestelmän sarjan kolmelle levylle standardin SFS-EN ISO 12944-6 mukaisesti. Veitsikokeen arviointitulosta ”++” pidetään



myös hyväksyttynä tuloksena kondenssitestatuille levyille. Tulos ”+” on mahdollisesti hyväksyttävissä erikoismerkinnällä. Erikoismerkinnällä hyväksyttävissä olevat tulokset on merkitty keltaisella. Hylätyt tulokset on merkitty punaisella. Taulukoissa 32–37 on esitetty eri maalausjärjestelmien veitsikoetulokset kondenssitestatuille koelevyille.

Taulukko 32. Veitsikoetulokset kondenssitestin jälkeen maalausjärjestelmän 1 kunkin esikäsittelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 1	1. Levy	2. Levy	3. Levy
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++	++	++
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++	++	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	++	++	++
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++	++	++
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++	++	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	++	++	++
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	++	++	++
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++	++	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	+	+	+
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	++	++	++
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++	++	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	+	+	+

Taulukko 33. Veitsikoetulokset kondenssitestin jälkeen maalausjärjestelmän 2 kunkin esikäsitelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 2	1. Levy	2. Levy	3. Levy
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++	++	++
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++	++	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	++	++	++
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++	++	++
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++	++	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	++	++	++
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	+	+	+
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++	++	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	+	+	+
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	++	++	++
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	++	++	++
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	+	+	+

Taulukko 34. Veitsikoetulokset kondenssitestin jälkeen maalausjärjestelmän 3 kunkin esikäsitelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 3	1. Levy	2. Levy	3. Levy
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	--	--	--
	Hionta ja pintamaalaus	+	+	+
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	+	+	+
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	-	-	-
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	--	--	--
	Hionta ja pintamaalaus	+	+	+
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	-	-	-
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	--	--	--
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	--	--	--
	Hionta ja pintamaalaus	-	-	-
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	-	-	-
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	--	--	--
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	--	--	--
	Hionta ja pintamaalaus	+	+	+
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	+	+	+
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	-	-	-

Taulukko 35. Veitsikoetulokset kondenssitestin jälkeen maalausjärjestelmän 4 kunkin esikäsitelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 4	1. Levy	2. Levy	3. Levy
Epoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++	++	++
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	+	+	+
	Hionta ja pintamaalaus	+	+	+
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	--	--	--
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	++	++	++
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++

Taulukko 36. Veitsikoetulokset kondenssitestin jälkeen maalausjärjestelmän 5 kunkin esikäsitelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 5	1. Levy	2. Levy	3. Levy
Epoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++	++	++
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++
Sinkkiepoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	+	+	+
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	-	-	-
	Hionta ja pintamaalaus	+	+	+
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	+	+	+
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++

Taulukko 37. Veitsikoetulokset kondenssitestin jälkeen maalausjärjestelmän 6 kunkin esikäsitelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 6	1. Levy	2. Levy	3. Levy
Epoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	-	-	-
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	+	+	+
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	--	--	--
Sinkkiepoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	++	++	++
	Hionta ja pintamaalaus	++	++	++
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	+	+	+
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	+	+	-
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	--	--	--
	Hionta ja pintamaalaus	-	-	-
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	-	-	-
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	--	--	--
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	--	--	--
	Hionta ja pintamaalaus	-	-	-
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	-	-	-
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	--	--	--

## 6.6 Hilaristikkokoe kondenssitestin jälkeen

Hilaristikkokoe arvioitiin jokaisen eri maalausjärjestelmän sarjan standardin SFS-EN ISO 12944-6 mukaan kondenssitestatuille levyille. Hilaristikkokoetuloksissa on ilmoitettu

harjauksen jälkeinen ja teipin jälkeinen tulos. Hyväksytyinä tuloksina hilaristikkoarvioinneissa kondenssilevyille pidetään arvoja 0–2. Muut tulokset kuin hyväksytyt tulokset on merkitty punaisella. Taulukoissa 38–43 on esitetty jokaisen maalausjärjestelmän hilaristikkotulokset kondenssitetatuille koelevyille.

Taulukko 38. Hilaristikkokoetulokset kondenssitetin jälkeen maalausjärjestelmän 1 kunkin esikäsittelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 1	Harjauksen jälkeen			Teipin jälkeen		
Epoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1	1	1	1	1
Sinkkiepoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1	1	1	1	1
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1	1	1	1	1
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1	1	1	1	1
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1	1	1	1	1
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1	1	1	1	1

Taulukko 39. Hilaristikkokoetulokset kondenssitetin jälkeen maalausjärjestelmän 2 kunkin esikäsittelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 2	Harjauksen jälkeen			Teipin jälkeen		
Epoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
Sinkkiepoksi polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	1	1	1	3	3	2
	Hionta ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1	1	1	1	1
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	5	5	5	5	5	5
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	2	2	2	2	2	2

Taulukko 40. Hilaristikkokoetulokset kondenssitestin jälkeen maalausjärjestelmän 3 kunkin esikäsittelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaali	Maalausjärjestelmä 3	Harjauksen jälkeen			Teipin jälkeen		
Epoksi-polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	2	2	2	5	5	5
	Hionta ja pintamaalaus	1	1	1	2	2	2
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1	1	2	1	2
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	2	2	2	2	2	2
Sinkki-epoksi-polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	1	1	1	5	5	5
	Hionta ja pintamaalaus	1	1	2	5	4	4
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	2	2	2	2	3	3
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	4	5	3	5	5	4
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	5	5	5	5	5	5
	Hionta ja pintamaalaus	1	1	1	3	4	2
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	2	2	2	2	2	2
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	5	5	5	5	5	5
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	4	3	4	5	5	5
	Hionta ja pintamaalaus	1	1	1	2	2	2
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	2	2	2	2	2	2
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	3	3	3	4	3	4

Taulukko 41. Hilaristikkokoetulokset kondenssitestin jälkeen maalausjärjestelmän 4 kunkin esikäsittelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaali	Maalausjärjestelmä 4	Harjauksen jälkeen			Teipin jälkeen		
Epoksi-polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
Sinkki-epoksi-polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0	0	3	3	2
	Hionta ja pintamaalaus	0	0	0	1	1	0
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	2	1	1	5	5	5
	Hionta ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	1	1	1	1	1	1
	Hionta ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0

Taulukko 42. Hilaristikkokoetulokset kondenssitestin jälkeen maalausjärjestelmän 5 kunkin esikäsittelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaali	Maalausjärjestelmä 5	Harjauksen jälkeen			Teipin jälkeen		
Epoksi-polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0	0	1	1	1
	Hionta ja pintamaalaus	1	0	0	1	1	1
Sinkki-epoksi-polyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0	0	1	1	1
	Hionta ja pintamaalaus	2	2	2	2	2	2
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	3	2	2	5	4	3
	Hionta ja pintamaalaus	1	2	2	2	2	2
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	2	2	2	4	3	3
	Hionta ja pintamaalaus	2	1	2	2	2	2

Taulukko 43. Hilaristikkokoetulokset kondenssitestin jälkeen maalausjärjestelmän 6 kunkin esikäsittelyn kolmelle rinnakkaiselle näytteelle.

Jauhemaalialusta	Maalausjärjestelmä 6	Harjauksen jälkeen			Teipin jälkeen		
Epoksyepoksyepolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	1	1	1	5	5	5
	Hionta ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1	1	2	2	2
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	5	5	5	5	5	5
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	Ei hiontaa, pintamaalaus	0	0	0	2	2	2
	Hionta ja pintamaalaus	0	0	0	0	0	0
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	0	0	1	0	0	1
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	5	1	1	5	5	4
Polyesterijauhe 1	Ei hiontaa, pintamaalaus	3	2	5	5	5	5
	Hionta ja pintamaalaus	1	1	1	3	3	1
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1	2	1	1	2
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	5	5	5	5	5	5
Polyesterijauhe 2	Ei hiontaa, pintamaalaus	5	3	4	5	5	5
	Hionta ja pintamaalaus	1	1	1	1	1	1
	Hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus	1	1	1	3	2	2
	Tartuntapohja- ja pintamaalaus	5	5	5	5	5	5

## 7 Tulosten tarkastelu

### 7.1 Kuivakalvonpaksuudet

Jauhemaalien kalvonpaksuudet saatiin pinnoitettua lähelle valmistajan suosittamia kalvonpaksuuksia. Jauhemaalauslaitteiston ja -linjaston säädöt olivat asetettu tuottamaan noin 100 µm:n kalvonpaksuuksia. Kalvonpaksuudet vaihtelivat eri jauhemaalityypeillä hieman, mikä johtuu pääosin jauhemaalien eri partikkelikoosta, mutta myös jauhetuotteiden muista ominaisuuksista. Pohja- ja pintamaalien kalvonpaksuudet pysyivät maltillisina lukuun ottamatta muutamia yksittäisiä ylityksiä. Muutamat ylitykset aiheutuivat ohennuksien puutteesta sekä kapeasta viuhkasta. Ohennuksien puute vaikeuttaa hie-man kalvonpaksuuden säätelyä. Paksuusvaihtelut voivat vaikuttaa hilaristikkokokeen tulosten luotettavuuteen niissä levyissä, joissa levyn kokonaiskalvonpaksuus ylittää 250 µm. Muutamia ylityksiä aiheutui vain maalausjärjestelmien 1 ja 2 niissä sarjoissa, joissa käytettiin tartuntapohjamaalia ennen pintamaalia.

## 7.2 Veitsikoe

Nollalevyjen eli ilman kondenssirasiitusta testattujen näytteiden veitsikoetulokset ovat selkeät, ja eroja huomataan eri nestemaaliyhdistelmien soveltuvuudesta eri jauhemaalialustoille. Parhaiten nollalevyjen veitsikoestuksissa pärjäivät maalausjärjestelmät 1, 2, 4 ja 5. Polyuretaanimaalit saivat täydelliset tulokset epoksipolyesteri- ja sinkkiepoksipolyesterijauheiden ollessa jauhemaalialustana riippumatta jauhemaalialustan esikäsitteystä. Täydellisiin nollalevyjen veitsikoetuloksiin maalausjärjestelmissä 1 ja 2 epoksipolyesteri- ja sinkkiepoksipolyesterijauheiden ollessa alustoina vaikuttaa se, että epoksipolyesteri- ja sinkkiepoksipolyesterijauheet ovat pohjamaaleja, ja tuotteet ovat suunniteltu pohjamaaleiksi monikerrosmaalausyhdistelmiin. Polyuretaanimaalausjärjestelmät soveltuivat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta erinomaisesti myös kahden eri polyesterijauhemaalien ollessa alustana maalausjärjestelmissä 1 ja 2. Polyesterijauhemaalija poltettiin tuoteselosteen polttoajan vaatima aika, mutta kuitenkin pidempään kuin pohjamaaleja, joten se saattaa vaikuttaa polyesterijauhemaalien tartuntakoestuksien arviointituloksien vertailukelpoisuuteen verrattuna pohjamaaleihin. Polyesterijauhemaalialustoilla huomataan esikäsitteilyn tärkeys jokaisen maalausjärjestelmän kohdalla. Veitsikokeen tulokset ovat pisteytetty alla olevan taulukon 44 mukaisesti. Nollalevyjen veitsikoetuloksia eri maalausjärjestelmillä voidaan vertailla paremmuuden mukaan taulukon 45 mukaisesti. Mitä enemmän maalausjärjestelmä sai pisteitä, sitä huonommin se pärjäsi.

Taulukko 44. Veitsikokeen tulosten pisteytys.

Veitsikokeen tulos	Pisteytys
++	0
+	2
-	4
--	6



Taulukko 45. Nollalevyjen veitsikoetulosten vertailu eri maalausjärjestelmillä.

Maalausjärjestelmä	Veitsikokeen yhteispisteet	Sijoitus
Maalausjärjestelmä 1	4	1.
Maalausjärjestelmä 4	4	1.
Maalausjärjestelmä 2	6	3.
Maalausjärjestelmä 5	8	4.
Maalausjärjestelmä 6	48	5.
Maalausjärjestelmä 3	72	6.

Huonoimman sijoituksen sai maalausjärjestelmä 3, joka on yksikomponenttinen vesiohenteinen maalausjärjestelmä. Tämän maalausjärjestelmän tuloksissa ei ollut yhtään hyväksyttävissä olevaa tulosta. Koko maalausjärjestelmän hylättyihin tuloksiin oletetaan vaikuttavan yhdistelmän sideaineiden huono yhteensopivuus. Yllättäjänä toimi yksikomponenttinen ja vesiohenteinen maalausjärjestelmä 4, jossa saatiin vain yksi huonompi tulos muiden tuloksien ollessa hyväksytyjä. Osasta maalausjärjestelmän 6 tuloksista huomattiin, että vaikka sideaineiden yhteensopivuudet ovat mahdollisia, hiomattomilla sarjoilla aiheutuu enemmän hylättyjä tuloksia verrattuna hiottuihin sarjoihin. Kaksikomponenttinen ja vesiohenteinen maalausjärjestelmä 6 ei soveltunut pinnoitteeksi polyesterijauheiden ollessa alustan sideaineena, mikä näkyy myös alhaisena maalausjärjestelmän sijoituksena. Maalausjärjestelmän 5 tuloksista voidaan päätellä, että esikäsittelemättömiä jauhemaalialustoja ei suositella päällemaalattavaksi alkydipintamaalilla. Maalausjärjestelmässä 5 huomattiin myös kahden eri polyesterijauheen ero. Polyesterijauhe 1 ei soveltunut ollenkaan päällemaalattavaksi, kun taas polyesterijauhe 2 ollessa jauheemaalialustana, sarja ”hionta ja pintamaalaus” sai hyväksytyt tartuntatulokset. Kahden tutkitun polyesterijauheen paremmuus näyttää toistuvan myös muissa maalausjärjestelmissä. Voidaan todeta, että polyesterijauhe 2 toimii paremmin jauhemaalialustana päällemaalauksille kuin polyesterijauhe 1. Tämä saattaa johtua siitä, että polyesterijauhe 2 ei verkkoutunut kokonaan ja jäljelle jäi vielä vapaita reagoivia ryhmiä, joihin tartuntapohjamaali sekä pintamaali pystyivät tarttumaan. Polyesterijauheen 1 sideaine on luultavasti verkkoutunut pidemmälle ja täten siihen on tarttunut huonommin tartuntapohja- ja pintamaalit.

### 7.3 Hilaristikkokoe

Hilaristikkokokeiden suorittaminen veitsikoestuksien ohella oli tärkeää, koska veitsikokeen tulos kertoo alustavan tartuntatuloksen, joka voidaan varmistaa hilaristikkokokeella. Hilaristikkokokeita suorittaessa on tärkeää painottaa arviointi teipin jälkeiselle tulokselle, koska harjauksen jälkeinen tulos ei kerro yhtä selkeästi tartuntaeroja. Hilaristikkokokeiden tuloksissa huomattiin selkeitä eroja nestemaalaujärjestelmien soveltuvuudesta jauhemaalipinnoille. Eroja syntyi myös jauhemaalialustojen soveltuvuudesta päällemaalaukseen. Hilaristikkokokeen tulokset ovat pisteytetty taulukon 46 mukaisesti. Pisteitä laskettaessa otettiin huomioon jokaisen maalaujärjestelmän sarjan tulos harjauksen ja teipin jälkeen. Taulukossa 47 on esitetty eri maalaujärjestelmien paremmuus hilaristikkokokeista laskettujen pisteiden valossa. Mitä enemmän maalaujärjestelmä sai pisteitä, sitä huonommin se sijoittui.

Taulukko 46. Hilaristikkokokeen tulosten pisteytys.

Hilaristikkokokeen tulos	Pisteytys
0	0
1	2
2	4
3	6
4	8
5	10

Taulukko 47. Nollalevyjen hilaristikkotulosten vertailu eri maalaujärjestelmillä.

Maalaujärjestelmä	Hilaristikkokokeen yhteispisteet	Sijoitus
Maalaujärjestelmä 1	12	1.
Maalaujärjestelmä 4	14	2.
Maalaujärjestelmä 2	28	3.
Maalaujärjestelmä 5	36	4.
Maalaujärjestelmä 6	120	5.
Maalaujärjestelmä 3	174	6.

Nollalevyjen hilaristikkokoetuloksien lasketut eri maalaujärjestelmien sijoitukset ovat yhtä pitäviä veitsikoetuloksista laskettujen sijoitusten kanssa. Maalaujärjestelmä 1 on hilaristikkokoetulosten perusteella paras järjestelmä kokonaisvaltaisesti. Maalaujärjestelmässä 1 ongelmia aiheutui vain polyesterijauheiden ollessa alustoina.

Maalausjärjestelmä 2 pärjäsi kolmanneksi parhaiten. Ongelmia tässä järjestelmässä aiheutui eniten polyesterijauheen 1 ollessa alustana. Maalausjärjestelmä 3 pärjäsi kaikista huonoiten myös nollalevyjen hilaristikkokoestuksissa. Mikään tulos teipin jälkeen ei ollut hyväksyttävissä kyseisen maalausjärjestelmän jokaisella jauhemaalialustalla. Maalausjärjestelmä 4 sisältää vain yhden hylätyn sarjatuloksen polyesterijauheen 1 ollessa alustana. Muuten maalausjärjestelmää 4 voidaan pitää myös hyvin onnistuneena nollalevyjen hilaristikkokoestuksien perusteella. Maalausjärjestelmän 5 hyväksytyt tulokset saatiin käytettäessä epoksipolyesteri- tai polyesterijauhetta 2 jauhemaalialustana. Ongelmia tässä järjestelmässä aiheutui sinkkiepoksipolyesterijauheen sekä polyesterijauheen 1 ollessa alustana. Maalausjärjestelmä 6 pärjäsi toiseksi huonoiten kokonaisvaltaisesti. Kummankin polyesterijauheen ollessa alustoina mikään tulos ei ollut hyväksyttävissä teipin jälkeen. Sinkkiepoksipolyesterijauheen ollessa alustana tulokset olivat kuitenkin täysin moitteettomia riippumatta esikäsittelystä.

Hylättyjä tuloksia jokaisessa maalausjärjestelmässä aiheutti eniten polyesterijauhealustat. Polyesterialustojen päällemaalaukset aiheuttivat herkemmin huonompia tartuntatuloksia sekä nollalevyjen veitsikokeissa että nollalevyjen hilaristikkokokeissa verrattuna epoksipolyesteri- ja sinkkiepoksipolyesterialustoihin. Esikäsittelemättömillä sarjoilla esiintyi myös huonompia tartuntatuloksia ja rakkuloitumista. Esikäsitteilyillä eli hionnalla kasvatetaan muun muassa jauhemaalipinnan tartuntapinta-alaa, jolla parannetaan päällemaalattavan maalin tarttumista.

#### 7.4 Kondenssitesti

Kondenssitestatuissa maalausjärjestelmissä huomattiin myös selviä eroja rakkuloitumisen suhteen. Rakkuloitumista esiintyi herkemmin niissä maalausjärjestelmien sarjoissa, joissa ei käytetty esikäsitteilyä. Rakkuloiden koko oli myös suurempi esikäsittelemättömissä sarjoissa. Esikäsittelemättömiksi sarjoiksi luokitellaan sarjat ”ei hiontaa, pintamaalaus” ja ”tartuntapohja- ja pintamaalaus”. Kondenssitestatut maalausjärjestelmät ovat järjestetty paremmuusjärjestykseen rakkuloitumisen suhteen. Pisteytys eri rakkuloitumisasteille suoritetaan taulukon 48 mukaan. Rakkuloita esiintyi vain koko asteikolla 2–4, joten rakkuloiden koko 1 on jätetty pisteytyksen laskennasta pois. Taulukossa 49 on esitetty maalausjärjestelmien paremmuusjärjestys rakkuloitumisen suhteen.

Taulukko 48. Rakkuloitumisasteiden pisteytys.

Rakkuloiden koko 2	Pisteytys
2(S2)	4
3(S2)	5
4(S2)	6
5(S2)	7

Rakkuloiden koko 3	Pisteytys
2(S3)	5
3(S3)	6
4(S3)	7
5(S3)	8

Rakkuloiden koko 4	Pisteytys
2(S4)	6
3(S4)	7
4(S4)	8
5(S4)	9

Taulukko 49. Maalausjärjestelmien paremmuusjärjestys rakkuloitumisen perusteella.

Maalausjärjestelmä	Rakkuloitumisen yhteispisteet	Sijoitus
Maalausjärjestelmä 1	0	1.
Maalausjärjestelmä 2	0	1.
Maalausjärjestelmä 4	10	3.
Maalausjärjestelmä 5	13	4.
Maalausjärjestelmä 6	29	5.
Maalausjärjestelmä 3	93	6.

Maalausjärjestelmien 1 ja 2 sarjoissa ei esiintynyt ollenkaan muutoksia rakkuloitumisen suhteen riippumatta jauhemaalialustasta. Jokaista sarjaa voidaan pitää hyväksyttynä tuloksena. Maalausjärjestelmiä 1 ja 2 voidaankin pitää parhaimpina kondenssituloksien perusteella. Maalausjärjestelmä 3 menestyi huonoiten myös kondenssitestissä nollalevyjen veitsi- ja hilaristikkotuloksien tapaan. Jokaisessa maalausjärjestelmän 3 sarjassa esiintyi rakkuloitumista. Esikäsittelemättömillä sarjoilla rakkuloiden koko oli suurempi kuin esikäsitellyissä sarjoissa. Maalausjärjestelmässä 4 rakkuloitumista esiintyi vain sinkkiepoksipolyesterijauheen ollessa alustana. Sinkkiepoksipolyesterijauheen kaksi sarjaa voidaan hylätä hyväksytyistä tuloksista maalausjärjestelmässä 4. Maalausjärjestelmää 5 voidaan pitää samankaltaisena maalausjärjestelmän 4 kanssa. Maalausjärjestelmässä 5 hylätyt tulokset aiheutuivat silloin, kun jauhemaalialustana oli polyesterijauhe

2. Maalausjärjestelmä 6 sisältää vaihtelevasti hyväksytyjä ja hylättyjä tuloksia. Kummatkin polyesterijauheet aiheuttivat suurimman osan hylätyistä tuloksista. Hyväksytyjä tuloksia aiheutui pääosin vain esikäsitellyillä sarjoilla sekä aina sinkkiepoksipolyesterijauheen ollessa alustana. Maalausjärjestelmien tuloksista huomataan myös se, että esikäsittelemättömillä sarjoilla ”ei hiontaa, pintamaalaus” ja ”tartuntapohja- ja pintamaalaus” esiintyy suurempaa rakkuloitumisastetta sekä huonompia tartuntatuloksia kuin esikäsitellyillä sarjoilla ”hionta ja pintamaalaus” ja ”hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus”. Tästä voidaan päätellä, että kalvojen välinen adheesio oli heikompaa ja kondenssivesi pääsi tunkeutumaan kalvojen väliin helpommin aiheuttaen rakkuloitumista.

### 7.5 Veitsikoe kondenssitestin jälkeen

Kondenssitestattujen maalausjärjestelmien veitsikoetulokset eroavat hieman nollalevyjen veitsikoetuloksista. Veitsikokeen tulokset kondenssitestin jälkeen ovat myös pisteytetty taulukon 44 mukaisesti. Kondenssilevyjen veitsikoetulosten pisteytyksessä huomiointiin jokaisen kolmen rinnakkaisnäytteen tulos. Kondenssitestattujen koelevyjen veitsikoetuloksia eri maalausjärjestelmillä voidaan vertailla paremmuuden mukaan taulukon 50 mukaisesti. Mitä enemmän maalausjärjestelmä sai pisteitä, sitä huonommin se pärjäsi.

Taulukko 50. Kondenssitestin jälkeisten veitsikoetulosten vertailu eri maalausjärjestelmillä.

Maalausjärjestelmä	Veitsikokeen yhteispisteet	Sijoitus
Maalausjärjestelmä 1	12	1.
Maalausjärjestelmä 2	18	2.
Maalausjärjestelmä 4	30	3.
Maalausjärjestelmä 5	30	3.
Maalausjärjestelmä 6	170	5.
Maalausjärjestelmä 3	198	6.

Maalausjärjestelmän 1 kondenssitestin jälkeiset veitsikoetulokset eivät eroa nollalevyjen veitsikoetuloksista. Ongelmia aiheutui vain kummankin polyesterijauheen esikäsittelemättömällä sarjalla ”tartuntapohja- ja pintamaalaus”. Maalausjärjestelmän 2 hylätyt kondenssitestin jälkeiset veitsikoetulokset aiheutuivat kummankin polyesterijauheen esikäsittelemättömillä sarjoilla. Maalausjärjestelmä 3 pärjäsi kaikista huonoiten myös

kondenssitestin jälkeisessä veitsikokeessa. Mikään kondenssitestin jälkeinen veitsikoe-tulos ei ollut hyväksyttävissä.

Maalausjärjestelmässä 4 esiintyi poikkeavuutta veitsikoetuloksissa verrattuna nollalevyjen veitsikoetuloksiin. Hylätyt ja poikkeavat tulokset aiheutuivat sinkkiepoksipolyesterijauheen ollessa alustana. Kondenssitestin arviointituloksissa sinkkiepoksipolyesterijauheen kummatkin sarjat saivat hylätyt tulokset rakkuloitumisen suhteen. Hylätty tulos maalausjärjestelmässä 4 aiheutui myös polyesterijauheen 1 esikäsittelemättömällä sarjalla. Maalausjärjestelmässä 5 hylättyjä tuloksia aiheutui sinkkiepoksipolyesteri- ja kahden polyesterijauheen esikäsittelemättömillä sarjoilla. Polyesterijauheen 1 sarjat eivät saaneet ollenkaan hyväksytyjä tuloksia maalausjärjestelmässä 5. Maalausjärjestelmän 5 tulokset ovat yhtä tulosta lukuun ottamatta samankaltaiset nollalevyjen veitsikoetulosien kanssa.

Maalausjärjestelmässä 6 esiintyi eniten poikkeavuutta verrattuna nollalevyjen veitsikoetuloksiin. Epoksipolyesterijauhemaalina ollessa alustana vain yksi esikäsitelty sarja ”hionta, pintamaalaus” sai hyväksytyt tulokset, kun nollalevyjen veitsikoetuloksissa hyväksytyjä sarjoja oli kaksi. Sinkkiepoksipolyesterijauheen ollessa alustana vain sarjat ”ei hiontaa, pintamaalaus” ja ”hionta ja pintamaalaus” saivat hyväksytyt tartuntatulokset. Kummankaan polyesterijauheen sarjat maalausjärjestelmässä 6 eivät saaneet hyväksytyjä tartuntatuloksia nollalevyjen tuloksien tapaan.

## 7.6 Hilaristikkokoe kondenssitestin jälkeen

Hilaristikkokoetulokset kondenssitestatuille maalausjärjestelmille eroavat myös hieman nollalevyjen hilaristikkotuloksista. Hilaristikkokokeen tulokset kondenssitestin jälkeen pisteytettiin taulukon 51 mukaisesti. Pisteytyksessä huomioitiin jokaisen kolmen rinnakkaisnäytteen tulos harjauksen ja teipin jälkeen. Hilaristikkokokeen tuloksia eri maalausjärjestelmillä kondenssitestin jälkeen voidaan vertailla paremmuuden mukaan taulukon 52 mukaisesti. Mitä enemmän maalausjärjestelmä sai pisteitä, sitä huonommin se pärjäsi kokonaisvaltaisesti.

Taulukko 51. Hilaristikkotulosten pisteytys kondenssitestin jälkeen.

Hilaristikkokokeen tulos	Pisteytys
0	0
1	0
2	0
3	6
4	12
5	18

Taulukko 52. Kondenssitestin jälkeisten hilaristikkotulosten vertailu eri maalausjärjestelmillä.

Maalausjärjestelmä	Hilaristikkokokeen yhteispisteet	Sijoitus
Maalausjärjestelmä 1	0	1.
Maalausjärjestelmä 4	66	2.
Maalausjärjestelmä 5	66	2.
Maalausjärjestelmä 2	120	4.
Maalausjärjestelmä 3	612	5.
Maalausjärjestelmä 6	630	6.

Maalausjärjestelmä 1 sijoittui ensimmäiseksi kondenssitestin jälkeisessä hilaristikkotulosten vertailussa. Maalausjärjestelmässä 1 ei esiintynyt yhtäkään hylättyä tartuntatuloista. Maalausjärjestelmässä 4 esiintyi kaksi sarjaa, jotka saivat hylätyt tulokset. Nämä olivat sinkkiepoksipolyesterijauheen ja polyesterijauheen 1 esikäsittelemättömät sarjat. Maalausjärjestelmä 5 sisältää myös kaksi hylättyä sarjaa. Nämä olivat kummankin polyesterijauheen esikäsittelemättömät sarjat. Maalausjärjestelmässä 2 esiintyi kaksi sarjaa, jotka ovat hylättyjä. Nämä olivat polyesterijauheen 1 kummatkin esikäsittelemättömät sarjat. Maalausjärjestelmän 2 sijoitus neljänneksi aiheutui heikommista tartuntatuloksista harjauksen jälkeen verrattuna maalausjärjestelmiin 4 ja 5. Maalausjärjestelmässä 3 hylättyjä tuloksia teipin jälkeen aiheutui sinkkiepoksipolyesterijauheen jokaisessa sarjassa, epoksipolyesterijauheen sarjassa ”ei hiontaa, pintamaalaus”, polyesterijauheen 1 kaikissa muissa sarjoissa paitsi ”hionta, tartuntapohja- ja pintamaalaus”, ja polyesterijauheen 2 esikäsittelemättömillä sarjoilla ”ei hiontaa, pintamaalaus” ja ”tartuntapohja- ja pintamaalaus”. Maalausjärjestelmässä 6 hylättyjä tuloksia esiintyi eniten polyesterijauheen 1 ollessa alustana. Muita hylättyjä tuloksia aiheutui epoksipolyesteri-, sinkkiepoksipolyesteri- ja polyesterijauheen 2 esikäsittelemättömillä sarjoilla.

## 8 Johtopäätökset

Parhaiten menestyneet maalausjärjestelmät olivat liuotinhenteiset epoksipohjamaali- ja polyuretaanipintamaaliyhdistelmät, liuotinhenteinen alkydipintamaaliyhdistelmä sekä vesiohenteinen akrylaattipintamaaliyhdistelmä. Huonoiten menestyneet maalausjärjestelmät olivat vesiohenteinen alkydipohjamaali- ja uretaani-alkydipintamaaliyhdistelmä sekä vesiohenteinen epoksipohjamaali- ja epoksipintamaaliyhdistelmä.

Liuotinhenteiset epoksipohjamaali- ja polyuretaanipintamaaliyhdistelmät olivat riippumatta pinnan esikäsitteystä käyttökelpoisia pohjamaaleiksi luokitelluilla jauhemaalialustoilla sekä myös esikäsitellyillä polyesterialustoilla. Liuotinhenteinen alkydipintamaaliyhdistelmä on riippumatta pinnan esikäsitteystä käyttökelpoinen epoksipolyesterin ollessa alustana. Vesiohenteinen akrylaattipintamaaliyhdistelmä on riippumatta pinnan esikäsitteystä käyttökelpoinen epoksipolyesterin ja polyesterijauheen 2 ollessa alustana. Polyesterijauhe 1 on myös käyttökelpoinen alusta akrylaattipintamaaliyhdistelmälle vain hiotulla pinnalla. Vesiohenteinen epoksipohjamaali- ja epoksipintamaaliyhdistelmä on erikoismerkinnällä käyttökelpoinen vain hiotuilla epoksipolyesteri- ja sinkkiepoksipolyesterialustoilla. Huonoiten menestynyt vesiohenteinen alkydipohjamaali- ja uretaani-alkydipintamaaliyhdistelmä ei ole käyttökelpoinen minkään jauhemaalialustan kanssa. Vesiohenteista alkydipohjamaali- ja uretaani-alkydipintamaaliyhdistelmää ei suositella käytettäväksi huolto- ja korjausmaalauksen kohteissa.

Tartunta polyesterijauhemaaleihin oli huonompi kuin pohjamaaleina käytettäviin epoksipolyesteriin ja sinkkiepoksipolyesteriin. Tämä näkyi liuotinhenteisessä alkydi- ja vesiohenteisessä akrylaattipinta-maaliyhdistelmässä sekä erityisesti epoksipohjamaali- ja -pintamaaliyhdistelmässä. Polyesterijauhemaali 2 soveltui paremmin päällemaalattavaksi kuin polyesterijauhemaali 1. Epoksipolyesteri ja sinkkiepoksipolyesteri ovat suunniteltu pohjamaaleiksi, jotka soveltuvat erityisesti päällemaalaukseen monikerrosmaalaisyhdistelmissä. Pohjamaalien antama tartuntakerros seuraaville maaleille sekä korrosiosuoja ovat omaa luokkaansa verrattuna pintamaaleiksi suunniteltuihin polyesterimaaleihin. Hionnan avulla saatiin parannettua päällemaalattavien nestemaalikalvojen tarttuvuutta jauhemaalipinnalle.



## Lähteet

- 1 Laitinen, Kai. Korroosionestomaalaus ja kuumaupotus. Luentodiasarja. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 2 Teknos Oy. Korroosionestomaalauksen käsikirja. 2013.
- 3 Laitinen, Timo. Korroosionestomaalaus ja kuumaupotus. Luentodiasarja. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 4 Holger, Alen. 1999. Maalit ja niiden käyttö. Opetushallitus. 2. uudistettu painos. Helsinki: Hakapaino Oy.
- 5 Teräsrakenneyhdistys. Korroosionestomaalit. 2015.
- 6 Jokinen, Isto; Kuusela, Asko; Nikkari, Tapani. 2012. Pinnalla 2 Metallituotteiden maalaus. 2. uudistettu painos. Opetushallitus. Tampere: Juvenesprint.
- 7 Teknos Oy. Uusi jauhemaalausjärjestelmä suojaa kuumalta ja korroosiolta. 2017. Luettu 14.4.2021.
- 8 Ovaska, Monika. 2012. Polttoparametrien vaikutus jauhemaalain visuaalisiin ominaisuuksiin. Insinööri työ. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 9 Ilmankäsittely; VOC-poisto. Verkkoaineisto. Ozonetech. <<https://www.ozonetech.com/fi/ilmank%C3%A4sittely/voc-poisto>>. Luettu 18.1.2021.
- 10 Teknos Oy. Jauhemaalaus korroosionestomenetelmänä. 2015. Luettu 18.1.2021.
- 11 Liuotinpäästöjä koskeva direktiivi. 1999. 1999/13/EC.
- 12 Jauhemaalaus. Verkkoaineisto. VTM-yhtiöt. <<https://vtm.fi/pintakasittely/jauhemaalaus-pulverimaalaus/>>. Luettu 26.1.2021.
- 13 Jokinen, Isto. Maalikemiaa. Verkkoaineisto. <<http://pintaweb.net/Kalvonmuodostus.pdf>>. Luettu 30.1.2021.
- 14 Maalaustöiden yleiset laatuvaatimukset ja käsittely-yhdistelmät. MaalausRYL 2012. RT 14-11046. Rakennustieto Oy.
- 15 SFS-EN ISO 12944-5:2019. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. 2019. Maalit ja lakat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

- 16 Korroosionestomaalaus. Verkkoaineisto. <<http://www.coatings.fi/korroosionestopinnoite/>>. Luettu 19.2.2021.
- 17 Galvanointi. Verkkoaineisto. <<http://www.coatings.fi/galvanointi/>>. Luettu 20.2.2021.
- 18 Jauhemaalauus. Verkkoaineisto. Valmistajat. <<https://valmistajat.fi/menettimet/pintakasittely/jauhemaalauus/>>. Luettu 22.2.2021.
- 19 Posti, Janne. 2014. Jauhemaalien välitartunta. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- 20 Rientamo, Katri. 2020. Kaksikerrosjauhemaalauus. Opinnäytetyö. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 21 Offshore paint system 200 µm INFRALIT EP/PE 8086-05. Verkkoaineisto. <[https://www.teknos.com/contentassets/a7d29f176a3e41ebaf045bab0c20bc2c/p220a-cx-infralit-ep\\_pe-8086-05-200-m.pdf](https://www.teknos.com/contentassets/a7d29f176a3e41ebaf045bab0c20bc2c/p220a-cx-infralit-ep_pe-8086-05-200-m.pdf)>. Teknos Oy. 2020. Luettu 14.4.2021.
- 22 C.I, Elsner; E, Cavalcanti; O, Ferraz & A.R, Di Sarli. 2003. Progress in Organic Coatings. Vol. 48, issue 1, s. 50–62.
- 23 Fernando, Fragata; Renieri, P. Salai; Cristina, Amorim & Elisabete, Almeida. 2006. Progress in Organic Coatings. Vol. 56, issue 4, s. 257–268.
- 24 Märkämaalauus. Verkkoaineisto. Finnish Steel Painting Oy. <<https://www.fsp-corp.com/pintakasittely/markamaalaus/>>. Luettu 23.3.2021.
- 25 Jokinen, Isto; Kuusela, Asto; Nikkari, Tapani. 2001. Metallituotteiden maalauus. Opetushallitus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- 26 SFS-EN ISO 2808:2019. Kalvonpaksuuden määrittäminen. Maalit ja lakat. 2019. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 27 SFS-ISO 19840. Pinnoitteiden kuivakalvonpaksuuden mittauus ja hyväksymisperiaatteet karheilla pinnoilla. Maalit ja lakat. 2015. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 28 Veitsikoemenetelmä. Yrityksen sisäinen dokumentti. Teknos Oy.
- 29 SFS-EN ISO 2409:2020. Cross-cut test. Paints and varnishes. 2020. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

- 30 SFS-EN ISO 6270-1:2018. Kosteudenkestävyyden määrittäminen. Osa 1: Kondensoituminen (yksipuolinen altistuminen). Maalit ja lakat. 2018. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 31 SFS-EN ISO 12944-2. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Maalit ja lakat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 32 Coating thickness gauges. Verkkoaineisto. Phynix.  
<<https://www.phynix.com/coating-thickness-gauges-surfex-easy-x-en.html>>. Luettu 14.4.2021.

## Jauhemaalien kalvonpaksuuksien mittaustulokset

Seuraavassa taulukossa 1 on esitetty epoksipolyesterijauhemaalien kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Taulukko 1. Epoksipolyesterijauhemaalien kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Maalausjärjestelmä	1. Levy ( $\mu\text{m}$ )					2. Levy ( $\mu\text{m}$ )				
1	113	124	146	133	118	115	130	132	155	141
	125	138	140	176	146	118	121	145	165	137
	119	127	130	129	124	124	131	142	153	126
	115	125	143	123	132	120	135	142	142	133
2	115	135	128	129	146	119	152	144	121	152
	125	125	147	150	129	118	121	125	127	121
	138	141	132	141	134	139	137	137	142	157
	123	130	134	146	141	127	127	147	137	135
3	114	135	124	125	144	111	138	138	125	130
	119	119	123	132	126	117	111	139	143	126
	133	127	139	133	134	121	112	159	145	119
	134	125	159	173	153	133	117	141	156	130
4 ja 5	123	117	138	133	154	124	144	141	142	145
	114	106	121	136	106	127	121	153	154	131
	120	127	134	119	115	115	138	125	115	138
	126	130	161	155	133	124	118	138	155	129
6	120	149	143	133	143	129	158	142	133	149
	113	120	129	137	127	115	126	133	156	133
	115	122	128	149	133	120	129	125	131	128
	127	136	133	129	135	114	141	135	125	126

Taulukossa 2 on esitetty sinkkiepoksipolyesterijauhemaalien kalvonpaksuuksien mittaus-  
tulokset.

Taulukko 2. Sinkkiepoksipolyesterijauhemaalain kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Maalausjärjestelmä	1. Levy (µm)					2. Levy (µm)				
	1	81	101	101	105	99	100	110	114	111
	82	88	114	102	86	86	123	100	114	103
	104	102	113	126	129	94	94	106	120	119
	93	94	116	109	128	87	100	119	121	105
2	97	103	128	143	128	98	98	119	123	104
	93	114	138	115	104	114	109	130	141	155
	102	105	110	139	121	95	105	104	120	120
	104	108	122	109	150	91	109	119	100	115
3	84	126	97	139	120	93	114	110	100	99
	90	109	129	121	125	112	180	132	120	136
	102	124	137	131	131	121	129	149	105	113
	82	99	119	119	113	88	101	138	97	109
4 ja 5	91	108	105	130	123	90	108	110	127	113
	109	130	106	154	122	98	144	112	144	149
	93	114	95	141	113	91	124	125	120	140
	88	104	125	104	114	88	106	123	112	111
6	81	86	120	119	109	86	105	136	120	138
	87	112	113	120	142	110	100	105	106	99
	102	90	121	105	135	97	97	102	108	110
	121	130	164	142	145	119	120	118	132	127

Taulukossa 3 on esitetty kalvonpaksuuksien mittaustulokset polyesterijauheelle 1.

Taulukko 3. Polyesterijauhemaalain 1 kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Maalausjärjestelmä	1. Levy (µm)					2. Levy (µm)				
	1	134	155	134	150	142	127	135	143	145
	127	135	137	136	124	117	123	125	130	119
	132	140	144	150	151	119	124	133	147	132
	123	140	150	143	127	115	122	146	145	118
2	145	135	150	142	158	123	145	152	140	127
	120	153	144	144	150	112	119	128	129	125
	124	140	131	144	145	134	126	144	150	130
	109	113	135	120	135	105	127	116	109	121
3	119	129	143	145	138	121	140	143	133	152
	130	121	129	133	132	109	117	120	119	121
	120	129	150	121	140	111	115	135	120	140
	120	136	143	139	146	121	156	150	160	125
4 ja 5	133	126	154	133	153	130	120	133	135	127
	134	140	134	141	158	146	145	146	157	157
	131	123	133	136	132	144	145	149	139	153
	128	121	141	128	144	132	126	153	153	129
6	135	130	135	145	142	145	150	135	146	142
	151	143	141	141	145	148	140	146	148	138
	150	153	145	155	132	154	134	135	148	136
	116	134	149	138	151	140	130	156	145	162

Taulukossa 4 on esitetty kalvonpaksuuksien mittaustulokset polyesterijauheelle 2.

Taulukko 4. Polyesterijauhemaalain 2 kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Maalausjärjestelmä	1. Levy (µm)					2. Levy (µm)				
1	103	135	149	134	150	162	114	126	150	145
	106	134	134	147	133	106	172	132	157	131
	111	128	115	134	129	111	127	132	156	125
	105	127	105	111	114	104	107	117	123	115
2	99	127	118	152	131	130	136	142	147	166
	106	102	119	129	112	119	132	129	120	126
	111	151	149	131	161	126	127	147	143	157
	137	149	131	138	130	123	123	135	127	164
3	119	131	128	146	135	134	142	144	145	151
	106	98	123	137	99	113	114	122	127	111
	127	157	143	131	146	118	138	150	128	150
	104	104	125	111	142	126	177	135	134	141
4 ja 5	99	114	128	142	134	120	160	167	160	162
	119	131	140	142	160	121	136	146	136	147
	115	149	140	111	106	129	150	157	138	131
	124	134	143	146	152	121	129	138	124	146
6	129	127	159	129	166	129	131	130	128	115
	126	137	133	134	146	146	137	141	142	143
	102	122	125	112	126	127	113	145	130	140
	123	128	119	124	125	102	108	123	111	127

## Pohjamaalien kalvonpaksuuksien mittaustulokset

Taulukossa 5 on esitetty epoksipohjamaalin 1 kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Taulukko 5. Epoksipohjamaalin 1 kalvonpaksuuksien mittaustulokset eri jauhemaalialustoilla.

Jauhemaalialusta	1. Levy ( $\mu\text{m}$ )					2. Levy ( $\mu\text{m}$ )				
Epoksipolyesterijauhe	98,4	97,9	108	95	99,7	87,2	74,1	87,5	91,9	90,6
	89,2	74,8	80,4	85,6	69,5	73	79,8	80,5	74	76
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	78,2	94,5	86	86,3	82,1	120	102	100	93	96
	78,6	79	70,6	86,5	88	84,4	65	77	87,6	81,1
Polyesterijauhe 1	91,2	107	111	98,7	108	82,4	84,1	89,4	89	89
	80,1	75,8	89,6	70	77,7	69,1	74,4	69,4	64	61
Polyesterijauhe 2	103	99,2	101	91	104	89,3	75,9	80,9	89,8	89,6
	82	60,8	63,7	84,8	74,6	61	68,1	64,9	71	72,1

Taulukossa 6 on esitetty epoksipohjamaalin 2 kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Taulukko 6. Epoksipohjamaalin 2 kalvonpaksuuksien mittaustulokset eri jauhemaalialustoilla.

Jauhemaalialusta	1. Levy ( $\mu\text{m}$ )					2. Levy ( $\mu\text{m}$ )				
Epoksipolyesterijauhe	81,7	94	83,2	76,8	80,8	71,5	72	90,6	76	72,7
	78,9	82	88,5	81	81,2	79	80,8	76	64,2	87,3
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	82,9	96,1	81,1	86,5	72	74,2	77,4	79,7	78,8	84
	78,4	80,3	83,5	81,4	73,2	73,6	85,3	84	78,7	77,1
Polyesterijauhe 1	78,5	75,8	75,9	79,7	85,3	79,7	90,5	74,7	88,3	95,2
	78,7	86,4	74,4	87,1	69,4	78,4	80,1	78,8	77,6	69,3
Polyesterijauhe 2	81,9	82,7	80,8	81,1	80,6	79,2	86,9	74,9	87,4	92,6
	76	72,3	87,9	84	80,7	75,9	71	81,4	81,6	66

Taulukossa 7 on esitetty alkydipohjamaalin kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Taulukko 7. Alkydipohjamaalin kalvonpaksuuksien mittaustulokset eri jauhemaalialustoilla.

Jauhemaalialusta	1. Levy ( $\mu\text{m}$ )					2. Levy ( $\mu\text{m}$ )				
Epoksipolyesterijauhe	56,8	60,4	60,3	59,4	57,6	65,8	67,2	69	61,4	61,2
	71,8	57,2	69,2	60,7	64,9	59,8	69,1	60,9	69,9	69,5
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	53,9	59,3	60,3	58,9	59,1	64,2	63	67,2	66,7	63,8
	61	65,3	76,2	75,2	72,7	71,3	66,2	65,8	61,9	65,9
Polyesterijauhe 1	57,4	58	60,2	59,5	56,2	59,8	62,3	71,7	51,9	68,4
	57,8	76,8	71,4	74,9	61,2	59	67,3	69	68,1	62,4
Polyesterijauhe 2	57,2	60,3	60,4	58	56	62,5	61,1	71,2	76,9	58,3
	63,1	59,8	70,5	73,5	71,5	72	63,8	61	71,3	69,6

Taulukossa 8 on esitetty epoksipohjamaalin 3 kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Taulukko 8. Epoksipohjamaalin 3 kalvonpaksuuksien mittaustulokset eri jauhemaalialustoilla.

Jauhemaalialusta	1. Levy ( $\mu\text{m}$ )					2. Levy ( $\mu\text{m}$ )				
	Epoksipolyesterijauhe	65	78	68	81	87	46	34	74	60
	53	57	61	68	59	47	57	56	58	53
Sinkkiepoksipolyesterijauhe	56	92	74	70	92	42	60	52	57	81
	64	72	105	87	55	77	65	103	104	68
Polyesterijauhe 1	74	70	78	75	79	62	59	80	62	57
	57	55	45	52	73	70	63	78	107	77
Polyesterijauhe 2	67	48	61	55	64	69	53	84	78	82
	49	36	71	70	33	46	67	74	57	59



## Pintamaalien kalvonpaksuuksien mittaustulokset

Seuraavassa taulukossa 9 on esitetty polyuretaanipintamaalin kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Taulukko 9. Polyuretaanipintamaalin kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

		=keskiarvo 4 sarjan levyn pintamaaleista												
Maalausjärjestelmä 1	Polyuretaanipintamaali	1. Levy					2. Levy					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
Epoksi polyesterijauhe	ei hiontaa, pintamaalaus	178	201	194	202	197	181	189	187	187	183	<b>164,9</b>	57	µm
	hionta, pintamaalaus	189	187	217	224	180	177	222	209	204	224	<b>178,3</b>	70	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	262	271	303	267	265	284	270	298	259	266	<b>249,5</b>	49	µm
	primer, pintamaalaus	252	291	263	273	265	269	285	269	276	260	<b>245,3</b>	59	µm
													59	µm
Sinkkiepoksi polyesterijauhe	ei hiontaa, pintamaalaus	175	190	194	176	200	150	150	158	165	135	<b>144,3</b>	56	µm
	hionta, pintamaalaus	160	169	171	166	176	173	201	188	193	172	<b>151,9</b>	64	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	259	250	272	262	250	250	265	237	248	250	<b>229,3</b>	47	µm
	primer, pintamaalaus	235	232	235	260	253	216	220	233	224	223	<b>208,1</b>	40	µm
													52	µm
Polyesterijauhe 1	ei hiontaa, pintamaalaus	197	220	243	205	213	186	224	237	204	215	<b>189,4</b>	79	µm
	hionta, pintamaalaus	190	196	194	205	224	182	170	226	231	205	<b>177,3</b>	67	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	296	312	304	314	312	305	285	315	300	320	<b>281,3</b>	76	µm
	primer, pintamaalaus	302	266	310	295	307	280	254	292	276	290	<b>262,2</b>	79	µm
													76	µm
Polyesterijauhe 2	ei hiontaa, pintamaalaus	165	191	180	177	178	172	203	180	206	189	<b>159,1</b>	53	µm
	hionta, pintamaalaus	205	205	215	222	234	190	231	210	186	192	<b>184</b>	78	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	262	276	287	282	287	269	260	289	261	278	<b>250,1</b>	52	µm
	primer, pintamaalaus	250	255	258	265	271	230	253	241	243	256	<b>227,2</b>	51	µm
													59	µm

Taulukossa 10 on esitetty polyuretaanimaalin kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Taulukko 10. Polyuretaanimaalin kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

												=keskiarvo 4 sarjan levyn pintamaaleista		
<b>Maalausjärjestelmä 2</b>	<b>Polyuretaanimaali</b>	<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
Epoksi polyesterijauhe	ei hiontaa, pintamaalaus	230	242	227	231	260	246	263	280	230	262	222,1	114	µm
	hionta, pintamaalaus	227	224	219	231	230	216	221	258	255	218	204,9	97	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	314	340	299	315	347	323	357	301	315	270	293,1	105	µm
	primer, pintamaalaus	300	290	287	295	304	270	292	299	276	273	263,6	76	µm
													98	µm
		<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
Sinkkiepoksi polyesterijauhe	ei hiontaa, pintamaalaus	173	196	211	201	201	185	175	199	216	199	170,6	83	µm
	hionta, pintamaalaus	201	201	226	247	230	206	208	224	222	213	192,8	105	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	254	264	244	280	294	251	257	295	284	267	244	75	µm
	primer, pintamaalaus	274	281	286	269	261	266	274	279	271	264	247,5	80	µm
													85	µm
		<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
Polyesterijauhe 1	ei hiontaa, pintamaalaus	225	249	275	247	235	247	297	258	242	269	229,4	119	µm
	hionta, pintamaalaus	236	280	253	260	282	228	253	255	243	245	228,5	119	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	279	340	307	275	322	297	358	307	285	313	283,3	91	µm
	primer, pintamaalaus	280	296	283	303	327	284	297	308	294	309	273,1	85	µm
													104	µm
		<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
Polyesterijauhe 2	ei hiontaa, pintamaalaus	231	236	233	229	224	223	240	231	229	227	205,3	99	µm
	hionta, pintamaalaus	230	210	256	240	235	184	206	230	231	194	196,6	91	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	328	308	313	330	324	320	334	300	350	333	299	110	µm
	primer, pintamaalaus	318	318	343	352	313	293	315	325	305	292	292,4	108	µm
													102	µm

Taulukossa 11 on esitetty uretaani-alkydipintamaalin kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Taulukko 11. Uretaani-alkydipintamaalin kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

												=keskiarvo 4 sarjan levyn pintamaaleista		
<b>Maalausjärjestelmä 3</b>	<b>Uretaani-alkydipintamaali</b>	<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
Epoksi polyesterijauhe	ei hiontaa, pintamaalaus	156	186	176	183	178	165	175	179	187	186	152,1	44	µm
	hionta, pintamaalaus	191	219	203	211	222	190	188	201	190	184	174,9	67	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	249	230	237	249	234	234	245	229	220	254	213,1	43	µm
	primer, pintamaalaus	251	255	263	280	299	256	274	247	292	270	243,7	71	µm
													56	µm
		<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
Sinkkiepoksi polyesterijauhe	ei hiontaa, pintamaalaus	153	162	160	153	148	153	147	155	151	148	128	40	µm
	hionta, pintamaalaus	150	164	176	160	179	152	154	160	160	154	135,9	48	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	224	268	244	243	231	206	226	220	218	215	204,5	55	µm
	primer, pintamaalaus	222	228	226	239	228	220	234	230	232	260	206,9	51	µm
													48	µm
		<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
Polyesterijauhe 1	ei hiontaa, pintamaalaus	182	255	205	193	243	203	221	201	203	185	184,1	74	µm
	hionta, pintamaalaus	191	212	203	213	191	195	193	210	219	206	178,3	68	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	267	266	270	289	292	230	253	255	260	258	239	68	µm
	primer, pintamaalaus	287	275	255	260	280	270	267	262	281	275	246,2	69	µm
													70	µm
		<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
Polyesterijauhe 2	ei hiontaa, pintamaalaus	170	167	179	185	164	167	175	180	187	181	150,5	45	µm
	hionta, pintamaalaus	170	171	189	176	196	171	184	188	183	184	156,2	50	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	239	218	216	248	249	240	219	260	257	223	211,9	44	µm
	primer, pintamaalaus	252	262	254	264	259	220	228	243	230	237	219,9	46	µm
													46	µm

Taulukossa 12 on esitetty akrylaattipintamaalin kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Taulukko 12. Akrylaattipintamaalin kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

												=keskiarvo 4 sarjan levyn pintamaaleista		
<b>Maalausjärjestelmä 4</b>	<b>Akrylaattipintamaali</b>	<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
	Epoksi polyesterijauhe	ei hiontaa, pintamaalaus	190	199	187	204	217	199	180	188	223	233	177,0	69 μm
		hionta, pintamaalaus	216	194	199	201	205	188	185	209	192	210	174,9	67 μm
													68 μm	
Sinkkiepoksi polyesterijauhe	ei hiontaa, pintamaalaus	<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
	hionta, pintamaalaus	180	182	176	195	186	181	178	189	170	185	157,2	69 μm	
		190	179	185	189	180	185	190	182	207	190	162,7	75 μm	
													72 μm	
Polyesterijauhe 1	ei hiontaa, pintamaalaus	<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
	hionta, pintamaalaus	241	258	219	270	251	221	208	223	249	226	211,6	102 μm	
		229	272	241	219	234	217	246	245	241	229	212,3	102 μm	
													102 μm	
Polyesterijauhe 2	ei hiontaa, pintamaalaus	<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
	hionta, pintamaalaus	203	232	239	216	226	190	205	197	220	220	189,8	84 μm	
		185	214	196	211	201	212	195	240	218	204	182,6	77 μm	
													80 μm	

Taulukossa 13 on esitetty alkydipintamaalin kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Taulukko 13. Alkydipintamaalin kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

												=keskiarvo 4 sarjan levyn pintamaaleista		
<b>Maalausjärjestelmä 5</b>	<b>Alkydipintamaali</b>	<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
	Epoksi polyesterijauhe	ei hiontaa, pintamaalaus	182	170	179	165	175	185	198	182	172	191	154,9	47 μm
		hionta, pintamaalaus	184	181	175	193	198	170	165	189	196	174	157,5	50 μm
													48 μm	
Sinkkiepoksi polyesterijauhe	ei hiontaa, pintamaalaus	<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
	hionta, pintamaalaus	146	147	145	149	150	164	144	186	160	155	129,6	42 μm	
		156	145	164	153	153	169	194	176	205	176	144,1	56 μm	
													49 μm	
Polyesterijauhe 1	ei hiontaa, pintamaalaus	<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
	hionta, pintamaalaus	197	175	188	190	188	189	214	206	216	201	171,4	61 μm	
		196	196	197	198	196	201	203	231	200	212	178	68 μm	
													65 μm	
Polyesterijauhe 2	ei hiontaa, pintamaalaus	<b>1. Levy</b>					<b>2. Levy</b>					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
	hionta, pintamaalaus	155	153	154	177	176	186	209	214	180	191	154,5	49 μm	
		177	204	190	185	180	182	180	200	212	206	166,6	61 μm	
													55 μm	

Taulukossa 14 on esitetty viimeisen pintamaalin eli epoksipintamaalin kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

Taulukko 14. Epoksipintamaalin kalvonpaksuuksien mittaustulokset.

													=keskiarvo 4 sarjan levyn pintamaaleista	
Maalausjärjestelmä 6	Epoksipintamaali	1. Levy					2. Levy					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
Epoksipolyesterijauhe	ei hiontaa, pintamaalaus	221	198	214	203	220	190	221	202	205	215	183,9	76	µm
	hionta, pintamaalaus	210	180	205	198	189	195	185	185	202	180	167,9	60	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	253	261	289	253	253	252	270	267	273	280	240,1	69	µm
	primer, pintamaalaus	257	248	247	246	250	242	250	248	262	252	225,2	60	µm
													66	µm
Sinkkiepoksipolyesterijauhe		1. Levy					2. Levy					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
	ei hiontaa, pintamaalaus	148	166	153	155	153	153	180	166	167	169	136,0	48	µm
	hionta, pintamaalaus	155	167	160	164	155	161	165	164	175	175	139,1	51	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	248	287	256	251	278	213	229	239	244	246	224,1	68	µm
	primer, pintamaalaus	235	244	265	251	236	247	246	262	246	238	222,0	54	µm
												55	µm	
Polyesterijauhe 1		1. Levy					2. Levy					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
	ei hiontaa, pintamaalaus	194	224	220	220	225	189	198	208	203	201	183,2	73	µm
	hionta, pintamaalaus	202	220	217	208	211	216	205	231	210	220	189	79	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	255	260	259	271	252	272	276	286	290	279	245	65	µm
	primer, pintamaalaus	246	275	252	279	280	273	248	280	252	241	237,6	60	µm
												69	µm	
Polyesterijauhe 2		1. Levy					2. Levy					KA	Pintamaalin kuivakalvo levyssä:	
	ei hiontaa, pintamaalaus	188	185	173	188	185	170	175	195	187	175	157,1	51	µm
	hionta, pintamaalaus	206	212	205	210	214	190	195	208	190	198	177,8	72	µm
	hionta, primer, pintamaalaus	234	239	229	264	268	252	280	266	265	275	232,2	60	µm
	primer, pintamaalaus	246	260	256	265	248	254	245	256	270	265	231,5	70	µm
												63	µm	