



Johan Äkräs

Jauhemaalattujen teräspintojen huolto- ja korjausmaalaus neste- maalilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka

Insinöörityö

3.6.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Johan Äkräs
Otsikko:	Jauhemaalattujen teräspintojen huolto- ja korjausmaalaus nestemaalilla
Sivumäärä:	66 sivua
Aika:	3.6.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine:	Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Kai Laitinen Myyntipäällikkö Harry Kouri

Tämän insinöörityön tarkoituksena oli tutkia jauhemaalattujen teräspintojen huolto- ja korjausmaalausta erilaisilla nestemaaliyhdistelmillä ja selvittää kirjallisuuden ja tutkimusjulkaisujen avulla, mitkä kemialliset ja fysikaaliset tekijät sekä pinnoitusvaiheet vaikuttavat pinnoituksen onnistumiseen tai epäonnistumiseen. Tutkimusaineistona käytettiin Niko Kuisminin insinöörityön koemaalausten veitsi-, hilaristikko- sekä kondenssitestien testituloksia.

Kirjallisuuden mukaan hyvän tarttuvuuden edellytys on onnistunut pinnan kostutus, jota säätelee nestemaalain pintajännitys, maalattavan alustan pintaenergia sekä puhtaus. Nestemaalain tulee levitä spontaanisti alustan pinnalla, jotta maalimolekyylit saadaan läheiseen molekyylitasoon kosketukseen alustan pinnan kanssa muodostamaan tarttumisen kannalta oleellisia mekaanisia, sähköisiä ja kemiallisia sidoksia. Spontaanin kostutuksen edellytys on, että nesteen pintajännitys on alhaisempi kuin pinnoitettavan alustan vapaa pintaenergia. Tartuntaa voi parantaa karhentamalla, muuttamalla maalattavan pinnan pintaenergiaa tai kemiallisia ominaisuuksia sidosten muodostumisen kannalta edullisemmiksi.

Testituloksista voidaan havaita liuotin- ja vesiohenteisten nestemaalien merkittävät erot tartunnassa jauhemaalipintoihin. Parhaat tulokset saavutettiin liuotinohteisilla maaleilla ja orgaanista apuliuotinta käyttävillä vesiohenteisillä maaleilla. Tämä oli odotettavissa myös teorian valossa, koska veden korkea pintajännitys nostaa maalin pintaenergiaa suuremmaksi kuin jauhemaalialustan pintaenergia heikentäen alustan kostumista. Orgaaninen liuotin puolestaan laskee maalin pintaenergiaa, jolloin kostuminen paranee. Lisäksi orgaaninen liuotin pehmittää jauhemaalain pintaa edistäen edelleen sidosten muodostumista nestemaalain ja jauhemaalain välille tai mahdollistaen nestemaalain polymeerien diffuusion jauhemaalain pintaan. Alustan karheuttamisella hiomalla oli merkittävä vaikutus nestemaalain tartuntaan. Hionta vaikuttaa olevan välttämätön vesiohenteisillä maaleilla, jotta voidaan kompensoida korkeaa pintajännitystä. Myös huolellinen pesu on tärkeää erityisesti vesiohenteisiä maaleja käytettäessä, sillä jauhemaalipinnalle jääneet rasva ja epäpuhtaudet voivat heikentää vesiohenteisten maalien tartuntaa ja lisätä niiden rakkuloitumista.

Avainsanat: Huolto- ja korjausmaalaus, jauhemaalit, nestemaalit, teräspinnat

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author:	Johan Äkräs
Title:	Maintenance and Recoating of Powder-Coated Steel Surface With a Liquid Paint
Number of Pages:	66 pages
Date:	3.6.2024
Degree:	Bachelor of Engineering
Degree Programme:	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major:	Materials Technology and Surface Engineering
Supervisors:	Kai Laitinen, Lecturer Harry Kouri, Technical Sales Manager

The purpose of this bachelor's thesis was to investigate the maintenance and repair of powder coated steel surfaces with different liquid paint formulations and to determine, through literature and research publications, which chemical and physical factors and coating steps influence the success or failure of the coating. Test results of test paintings in Niko Kuismin's bachelor's thesis were used as research material.

According to the literature, good adhesion is dependent on successful surface wetting, which is controlled by the surface tension of the liquid paint as well as the surface energy and cleanliness of the substrate. The liquid paint must spread spontaneously on the substrate surface to bring the paint molecules into close molecular contact with the substrate surface to form the mechanical, electrical and chemical bonds. Spontaneous wetting requires that the surface tension of the wet paint is lower than the free surface energy of the substrate to be coated. Adhesion can be improved by roughening, by modifying the surface energy of the surface to be painted, or the chemical properties of the surface to favour bond formation.

The test results clearly show the significant differences in adhesion of solvent-based and water-based liquid paints to powder coatings. Solvent-based paints and water-based paints using an organic solvent as a co-solvent gave best results. This was also expected in the light of theory, as the high surface tension of water increases the surface tension of the paint to a higher value than the surface energy of the powder coating substrate, impairing substrate wetting. The organic solvent, on the other hand, lowers the surface tension of the paint, improving wetting. In addition, the organic solvent softens the powder coating surface, further promoting bond formation between the liquid paint and the powder coating or allowing diffusion of the liquid paint polymers to the powder coating surface. Substrate roughening by sanding had a significant effect on the adhesion. Sanding appears to be required to compensate for high surface tension when using waterborne paints. Careful washing is also important, as grease and contaminants left on the powder coating surface can weaken the adhesion of waterborne paints and increase their blistering.

Keywords: maintenance and recoating, powder coating, wet coating, steel surfaces

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Maalit ja maalausjärjestelmät	2
2.1	Nestemaalit	3
2.1.1	Koostumus	3
2.1.2	Maalityypit	6
2.1.3	Maalausmenetelmät	7
2.2	Jauhemaalit	8
2.2.1	Koostumus	8
2.2.2	Maalityypit ja käyttökohteet	9
2.2.3	Maalausmenetelmät	10
2.3	Maalipinnoite ja maalausjärjestelmät	11
3	Kestävän maalipinnoitteen edellytykset	14
3.1	Tartunta ja kostutus	14
3.2	Tartuntamekanismit	18
3.2.1	Kemialliset sidokset	18
3.2.2	Adsorptio	19
3.2.3	Mekaaninen tartunta	20
3.2.4	Diffuusio	21
3.3	Menetelmiä tartunnan parantamiseen	21
3.3.1	Puhdistus	22
3.3.2	Pinnan karhentaminen	23
3.3.3	Polaaristen ryhmien rikastaminen	24
3.3.4	Tartuntaa edistävät aineet	27
4	Huolto- ja korjausmaalaus	29
4.1	Yleistä	29
4.2	Jauhemaalaton rakenteen hoito	31
4.3	Jauhemaalaton pinnan korjausmaalaus	32
5	Tutkimusaineisto	32
6	Koemaalauksen tulokset	35
6.1	Testitulosten arviointi teorian valossa	35

6.2	Tartuntatitestitulosten esittäminen	38
6.3	Maalausjärjestelmä 1	40
6.4	Maalausjärjestelmä 2	42
6.5	Maalausjärjestelmä 3	46
6.6	Maalausjärjestelmä 4	49
6.7	Maalausjärjestelmä 5	50
6.8	Maalausjärjestelmä 6	52
7	Pohdinta ja johtopäätökset	57
8	Yhteenveto	60
	Lähteet	62

Lyhenteet

CPO:	Kloorattu polyolefiini (chlorinated polyolefin).
N-CPO:	Klooriton polyolefiini (non-chlorinated polyolefin).
dyne/cm:	Pintajännityksen yksikkö.
σ_l	Nesteen pintajännitys.
σ_s	Alustan vapaa pintaenergia.
1K	1-komponenttinen maali.
2K	2-komponenttinen maali. Vaatii kovetteen kovettuakseen.
kV	Kilovoltti.
LO	Liuotinhenteinen maali.
mJ/m ²	Pintaenergian yksikkö. Vapaa energia/pinta-ala.
mN/m	Rajapintajännityksen yksikkö. Voima/pituuden yksikkö.
MNOC	Maalattavien kalvojen vähimmäismäärä.
NDFT	Maalin kuivakalvon nimellispaksuus.
Sa	Pinnan esikäsittelyä suihkpuhdistuksella.
St	Käsityökaluilla tai koneellisesti tehty pinnan esikäsittely.
TGIC	Triglysidyyli-isosyanuraatti.
VOC	Volatile organic compound, Haihtuva orgaaninen yhdiste.
VO	Vesiohenteinen maali.

1 Johdanto

Maali on pinnoiteaine, joka alustalle levitettynä muodostaa kerroksen, jolla on suojaavia, ulkonäköä parantavia tai muita erityisominaisuuksia [1]. Maalauksella annetaan tuotteen pinnalle sellaisia ominaisuuksia, joita sillä ei alun perin ole. Maalauksen tarkoituksena on myös parantaa tuotteen kestävyyttä ja pidentää käyttöikää, esimerkiksi teräsrakenteiden korroosioneston suojamaaliyhdistelmillä. [2, s. 7.] Maalityyppejä voidaan ryhmitellä monin tavoin muun muassa si-deaineen mukaan. Standardissa ISO 12944-5 on esimerkkeinä mainittu korroosioestomaalien yleistyypit. Tässä työssä tarkastellaan nestemaalien ja jauhemaa-lin käyttöä teräspinnoilla. [3; 4, s. 1–2; 1; 5.]

Suomessa käytetään korroosionestomaalauksessa käsitettä maalausjärjes-telmä, joka muodostuu maalipinnoitteen lisäksi maalattavasta alustasta ja alus-tan esikäsittelystä. Esimerkiksi teräsrakenteet voidaan suojata korroosiolta eri tavoilla niin, että ne kestävät korroosiorasituksia rakenteiden koko vaaditun käyttöiän. Maalausjärjestelmä valitaan aina käyttötarkoituksen mukaan. Tässä työssä tarkastellaan maalausjärjestelmänä jauhemaalattujen teräspintojen maa-lausta nestemaalilla.

Maalauksen kestävyys on rajallinen. Sää, kosteus, syövyttävät kaasut ja muut ympäristötekijät huonontavat maalipinnan kuntoa. Ajan kuluessa maalatut me-tallirakenteet liituuntuvat, halkeilevat, kuplivat, ruostuvat ja maali hilseilee. Huolto- ja korjausmaalauksen tarkoituksena on säilyttää pinnoitteen haluttu kes-tävyys mekaanisia, kemikaalisia ja ympäristöllisiä rasituksia vastaan tai palaut-taa toivottu ulkonäkö pinnoitteelle. [6; 7.]

Teknos Oy on vuonna 1948 perustettu kansainvälinen maalinvalmistukseen eri-koistunut perheyritys, jolla on liiketoimintaa yli kahdessakymmenessä maassa Euroopassa, Aasiassa ja Yhdysvalloissa. Yrityksessä on lähes 1 700 työnteki-jää. Teknos Oy tarjoaa palveluja kestävien pinnoitusratkaisujen tuottajana yh-teistyössä asiakkaidensa kanssa. Teknos Oy tarjoaa tuotantoteollisuuden,

rakennusalan ammattilaisten ja kuluttajien käyttöön laajan valikoiman maaleja ja pintakäsittelyaineita. [8; 9; 10; 11.]

Teknos Oy:llä oli toiveena uudistaa ja päivittää ohjeistukset teräsohutlevyjen huolto- ja korjausmaalaukseen. Tämän insinööriyön tarkoituksena oli luoda Teknos Oy:lle uusi ohjeistus tätä varten. Työ tehtiin Teknos Oy:lle yhteistyössä Niko Kuisminin insinööriyön kanssa. Suurimpana kriteerinä oli vähentää teräspintojen huolto- ja korjausmaalaukseen tarvittavia työvaiheita. Kuisminin insinööriyöhön kuului neljä eri testausta, jotka tehtiin kokeellisesti: ensimmäisessä testauksessa maalattiin vain pintamaali ilman esikäsittelyä, toisessa tehtiin hionta ja pintamaalaus, kolmannessa tehtiin hionta, pohjamaalaus ja pintamaalaus ja neljännessä testauksessa tehtiin pohjamaalaus ja pintamaalaus. Toivottu lopputulos oli, että työstä selvittäisiin vain pintamaalauksella ja tarvittaessa ohuella pohjamaalauksella.

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia jauhemaalattujen teräspintojen huolto- ja korjausmaalausta erilaisilla nestemaaliyhdistelmillä ja selvittää, mitkä nestemaaliyhdistelmät soveltuvat parhaiten jauhemaalipinnoille. Insinööriyön tarkempi tavoite oli selvittää kirjallisuuden ja tutkimusjulkaisujen avulla, mitkä kemialliset ja fysikaaliset tekijät sekä pinnoitusvaiheet vaikuttavat pinnoituksen onnistumiseen tai epäonnistumiseen. Tarkoituksena oli tarkastella Kuisminin insinööriyön koemaalausten testituloksia teorian valossa. [12.]

2 Maalit ja maalausjärjestelmät

Maali on nestemäinen, pastamainen tai jauhemainen pinnoiteaine, joka alustalle levitettynä muodostaa kerroksen, jolla on suojaavia, ulkonäköä parantavia tai muita erityisominaisuuksia. [1.] Maalauksella annetaan tuotteen pinnalle sellaisia ominaisuuksia, joita sillä ei alun perin ole. Tuotteen ulkonäköä (esteettisyys) parannetaan antamalla sille haluttu väri ja sopiva kiilto. Maalauksen tarkoituksena on myös parantaa tuotteen kestävyyttä ja pidentää käyttöikää, esimerkiksi teräsrakenteiden korroosioneston suojamaaliyhdistelmillä. [2, s. 7.]

Nestemaali, jota kutsutaan myös märkämaaliksi, on liuote-(LO) tai vesiohenteinen (VO) pinnoiteaine, joka levitetään nestemäisessä muodossa yhtenäiseksi kerrokseksi eli kalvoksi tuotteen pinnalle. Kalvonmuodostus tarkoittaa levitetyn pinnoiteaineen muutosta nestemäisestä kiinteään olomuotoon. Kalvonmuodostusta aiheuttavat kuivuminen ja kovettuminen. Molemmat muutokset voivat tapahtua myös samanaikaisesti. [1.]

Jauhemaali on jauhemainen, kuiva pinnoiteaine, joka tuotteen pinnalle ruiskuttamisen jälkeen sulatetaan uunissa nestemäiseen olomuotoon ja joka partikkelien yhteen sulauduttua ja mahdollisen kovettumisreaktion jälkeen muodostaa yhtenäisen maalikalvon. [3; 4, s. 1–2; 1; 5.] Seuraavassa tarkastellaan nestemaalien ja jauhemaalien koostumusta, ominaisuuksia ja kalvonmuodostusta erikseen.

2.1 Nestemaalit

2.1.1 Koostumus

Nestemaalit koostuvat sideaineesta, pigmenteistä, liuotteesta tai vedestä ja apuaineista. Sideaine muodostaa alustaan maalikalvon, joka koostuu sideaineen toisiinsa sitomista pigmenteistä sekä apuaineista. Sideaine määrää pääosin maalikalvon ominaisuudet, kuten tartunnan alustaan, sisäisen lujuuden ja kestävyysominaisuudet. [13, s. 25; 14, s. 1; 15, s. 17–18; 16, s. 2.]

Sideaineet ovat suurimmalta osin orgaanisia, suurimolekyyllisiä polymeerejä tai reaktiokykyisiä lakkahartseja, joista muodostuu lakkahartseja niiden kuivuessa. Tärkeimmän ryhmän muodostavat synteettiset polymeerit ja hartsit. Maalit nimetään usein niiden sideaineen mukaan. Näitä voivat olla esimerkiksi alkydi-, vinyyli-, kloorikautsu-, epoksi-, polyuretaani- ja akryylimaalit. [13, s. 25.] Näistä lisää seuraavassa luvussa.

Pigmentti on väriaine, joka koostuu sideaineliuokseen liukenemattomista hiukkasista. [1.] Pigmentit ovat hienojakoisia jauheita, joiden tehtävänä on antaa

maaleille väri, peittokyky ja parantaa niiden korroosionkestävyyttä. Aktiiviset ruostesuojapigmentit nimensä mukaisesti estävät korroosioreaktiota. Metallinen sinkki sekä passivoivat pigmentit kuten kalsium- ja sinkkifosfaatti kuuluvat aktiivisiin ruostesuojapigmentteihin. Kalvoa tiivistävät pigmentit ovat hiutalemaisista ja sen ansiosta vahvistavat maalikalvoa ja tekevät sen vaikeasti läpäistäväksi. Väripigmentit puolestaan antavat maalille värin, peittokyvyn ja suojan UV-säteilyn vaikutuksilta. Pigmentteihin kuuluvat myös täyteaineet, joiden tarkoituksena on lisätä maalin riittoisuutta ja parantaa sen ominaisuuksia, kuten tartuntaa. [17, s.45–46; 15, s. 111–112.]

Liuote on yksittäinen neste tai nesteiden sekoitus, joka haihtuu määritellyissä kuivumisolosuhteissa ja johon sideaine on liukoinen [1]. Liuotteen tehtävänä maalissa on liuottaa kiinteät lakkahartsit ja polymeerit sekä alentaa sideaineen viskositeettia. Liuotteet haihtuvat maalikalvosta levityksen jälkeen, mutta ne vaikuttavat maalikalvon muodostumiseen ja ominaisuuksiin. Yleisimmin käytettyjä liuotteita ovat orgaaniset öljypohjaiset alifaattiset ja aromaattiset hiilivedyt, hapetta sisältävät alkoholit, esterit, eetterit ja ketonit. Maalien sideaineilla on myös vaikutusta niiden liukenemiseen. Esimerkiksi öljyt ja pitkäöljyiset alkydihartsit, joiden öljypitoisuus on yli 60 %, liukenevat helposti alifaattisiin hiilivetyliuotteisiin kuten lakkabensiiniin. Epoksi- ja polyuretaanimaaleissa sen sijaan tarvitaan liuoteseoksia, sillä yksinään ne liuottavat epoksia ja polyuretaania huonosti. Tavallisesti liuottimina käytetään estereitä. Alkoholin käyttö on kiellettyä, koska polyuretaanimaalien kovettajat reagoivat alkoholien sisältämien hydroksidiryhmien kanssa ja heikentävät maalikalvon ominaisuuksia sekä vaikuttavat maalin käyttöaikaan. [17, s. 38–42, 63; 13, s. 25, 63–64; 18, s. 46; 15, s. 95–96.]

Suurin osa liuotinmaalin sisältämisestä orgaanisista liuottimista haihtuu ilmaan maalauksen ja kuivumisen aikana aiheuttaen VOC-päästöjä ympäristöön. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet ovat suurina määrinä terveydelle ja ympäristölle haitallisia. Tämän vuoksi perinteisiä liuotinmaaleja pyritään korvaamaan vähemmän liuottimia sisältävillä (niukkaliuotteisilla) maaleilla, korkean kiintoainepitoisuuden maaleilla (High Solids) ja vesiohenteisilla maaleilla sekä jauhemaaleilla, joissa ei ole liuottimia lainkaan. [13, s. 63–64; 1, s. 48–49; 15, s. 96.]

High Solids-maalien kiintoainepitoisuus on luokkaa 60–80 tilavuusprosenttia, mikä on selvästi korkeampi kuin perinteisten liuotinmaalien 45–50 tilavuusprosenttia. VOC-päästöjä voidaan vähentää samassa suhteessa. Suurempi kiintoainepitoisuus mahdollistaa ja myös kasvattaa yksittäisten maalikerrosten kuiva-kalvopaksumusta ja vähentää maalikerrosten ja maalauskerrosten lukumäärää. [13, s. 63–64; 19, s. 51; 15, s. 110, 197.]

Vesiohenteisissa (vesipohjaisissa) maaleissa, toiselta nimeltään dispersiomaaleissa, haihtuvan aineen pääkomponentti on vesi, johon sideaine on dispergoitu pieninä palloina [17, s. 9; 1]. VOC-päästöjä voidaan laskea käyttämällä vesiohenteisia maaleja, vaikka nekään eivät yleensä ole täysin liuotteettomia, vaan sisältävät apuliuottimia 0–15 % [19, s. 58; 15, s. 10].

Yllä mainittujen komponenttien lisäksi maalit sisältävät apuaineita, joilla parannetaan maalin ominaisuuksia. Näitä tarvitaan esimerkiksi nahoittumisen ja sakkautumisen estämiseksi. Nahoittumisella tarkoitetaan maalin kuivumista toimituspakkauksessa. Sakkautumisestoaineet puolestaan antavat maalille yhtenäisen koostumuksen levitystä varten ja estävät raskaiden pigmenttien vajoamisen astian pohjalle. Pinta-aktiiviset aineet parantavat pigmenttien ja sideaineen välistä sidosta. Apuaineita on edellä mainittujen lisäksi katalyytit, kuivikkeet, pehmittimet, hyytelöaineet, säilöntäaineet sekä UV-absorbentit ja biosidit. Näistä katalyytit nopeuttavat maalin kuivumista, kuivikkeet hapettumalla tapahtuvaa kuivumista, pehmittimet parantavat maalien elastisuutta, hyytelöaineet tekevät maalin tiksotrooppiseksi, mikä vähentää valumista. Säilöntäaineet parantavat maalin säilyvyyttä sekä UV-absorbentit ja biosidit suojaavat orgaanista maalikalvoa auringon ja mikrobien vaikutuksilta. [17, s. 48–49; 15, s. 162–164.] Ohenne puolestaan on haihtuva yksittäinen neste tai useamman nesteen sekoitus, joka ei ole liuote, mutta jota voidaan käyttää yhdessä liuotteen kanssa aiheuttamatta haitallisia vaikutuksia [1, s. 16].

2.1.2 Maalityypit

Maaleja voidaan ryhmitellä monella tavoin, esimerkiksi sideaineen mukaan. Standardissa ISO 12944-5 esimerkkeinä korroosioestomaalien yleistyypeistä on mainittu alkydimaalit (AK), akryylimaalit (AY), etyylisilikaattimaalit (ESI), epoksi-
maalit (EP), polyuretaanimaalit (PUR), polyaspargiinimaalit (PAS) ja polysilok-
saanimaalit (PS). [20, s. 9–11.]

Nestemaalit voidaan jakaa sideaineen kuivumistavan perusteella palautettaviin eli fysikaalisesti kuivuviin maaleihin ja palautumattomiin maaleihin eli kemiallisesti kuivuviin maaleihin [13, s. 25–26]. Palautettavissa maaleissa sideaineet ovat polymeerejä, joiden molekyylit tarttuvat toisiinsa muodostaen suojaavan kalvon ilman kemiallista reaktiota, kun maalin liuotin on haihtunut. Nämä maalit, esimerkiksi akryylimaalit, liukenevat uudelleen liuotteeseensa ja pehmenevät lämmössä, myös lämpötilan ollessa $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. [17, s. 7–9.]

Palautumattomat maalit jaetaan edelleen ilmakei-
vuuviin, vesiohenteisiin disper-
siomaaleihin, kemiallisesti kuivuviin maaleihin, hapettumalla kuivuviin maaleihin ja kosteuskuivuviin maaleihin sekä lämmössä kuivuviin maaleihin että kaksikomponenttimaaleihin [13, s. 25; 17, s. 14]. Vesiohenteiset, yksikomponenttiset dispersiomaalit ovat palautumattomia maaleja, vaikka niissä tapahtuu fysikaalinen kuivuminen. Yleisimpiä sideaineita ovat akryylipolymeerit ja polyuretaanihartsit, joita käytetään myös tässä kokeessa. [17, s. 9; 13, s. 27.] Hapettumalla kovettuvassa yksikomponenttimaalissa sideaine, tyypillisesti öljy tai sen johdannainen, reagoi ilman hapen kanssa liuottimen tai veden haihtuessa ja kovettuu muodostaen kalvon. Ilman happi yhtyy sideaineen kaksoissidoksiin aiheuttaen verkkoutumisen. Hapettumalla kuivuvia maaleja ovat alkydimaalit, joiden sideaineena käytetään öljymodifioitua alkydi-, epoksi- tai uretaanihartsia. Alkydimaaleja on liuote- ja vesiohenteisina. [17, s. 14; 13, s. 26–27.]

Kemiallisesti kuivuissa kaksikomponenttimaaleissa on sideaineen lisäksi toinenkin komponentti, kovete. Komponenttien yhdistämisen jälkeen tapahtuu sideaineen ja kovetteen välinen kemiallinen reaktio, joka tuottaa verkkoutuneen

maalikalvon. Verkkoutunut maalikalvo ei liukene käytettyihin liuotteisiin, mutta kalvo voi turvota liuotteiden seurauksena, mikäli verkkoutumisaste on pieni. Maalikalvo ei myöskään pehmene lämmössä eli se ei ole termoplastinen. Kemiallisesti kuivuvia maaleja ovat esimerkiksi kaksikomponenttiset epoksimaalit (EP), kaksikomponenttiset polyuretaanimaalit (PUR) ja kaksikomponenttiset oksiraaliesterimaalit (OX). Epoksimaalien kovete voi olla amiini, polyuretaanimaalin alifaattinen tai aromaattinen isosyaniittiyhdiste ja oksiraaliesterimaalin karboksyyliiryhmiä sisältävä hartsi. [17, s. 13; 13, s. 27–28.] Kosteuskovettuvissa maaleissa maalikalvo muodostuu, kun sideaine reagoi ilmassa olevan kosteuden kanssa ja verkkoutuu, kun liuote on haihtunut [13, s. 28].

2.1.3 Maalausmenetelmät

Nestemaalilla maalaus eli märkämaalaus voidaan suorittaa erilaisilla maalausmenetelmillä, kuten sively- ja telamaalauksena, kasto- ja vaelumaalauksena sekä ruiskumaalauksena. Maalin levittämiseksi siveltimellä on etuna, että maali saadaan tunkeutumaan hyvin maalattavaan pintaan. Siveltimellä maali saadaan levitettyä hyvin myös hankaliin paikkoihin, joihin muilla menetelmillä ei päästä. Sivellinmaalaus sopii hyvin epätasaisiin pintoihin sekä korjaus- ja paikkausmaalaukseen, koska sillä saavutetaan hyvä kostuminen ja pinnan virheiden peitto. Työ on kuitenkin hidasta ja siksi se on usein kallis suurempiin kohteisiin. Telalla maalin levittäminen laajoille tasaisille pinnoille on nopeampaa, mutta pinnan kostuminen ja maalin tunkeutuminen maalattavaan pintaan on heikompi. Korroosionestomaalauksessa telamaalattu pinta jälkikäsitellään siveltimellä. [13, s. 31; 15, s. 285–286; 21, s. 2.]

Ruiskumaalauksessa maali hajotetaan sumuksi paineilman (hajotusilmaruiskutus) tai korkean paineen (suurpaineruiskutus) tai näiden yhdistelmän avulla ja puhalletaan maalattavaan pintaan. Hajotusilmaruiskutuksen etuja ovat edulliset laite- ja käyttökustannukset, korkealaatuinen maalipinta, mahdollisuus käyttää pieniä maalimääriä ja maalata vaikeita kohteita. Hajotusilman muodostama ilmapatja haittaa kuitenkin maalin ruiskuttamista nurkkiin. Maalia täytyy ohentaa paljon, joten aikaansaatu maalikalvo on ohut. Ohiruiskutus on runsasta eli vain

osa ruiskutetusta maalista jää maalattavaan pintaan ja osa kimpoaa pois pinnalta ja menee hajotusilman mukana hukkaan. Ympäristöön leviävä ohiruiskutuksen maalisumu aiheuttaa haittoja etenkin maalattaessa kenttäolosuhteissa minkä vuoksi maalausalue on usein eristettävä ympäristöstä. Suurpaineruiskutuksessa voidaan ruiskuttaa hyvin paksuja maaleja ja suuria kalvonpaksuuksia. Ohiruiskutus on vähäisempää. Maalipinnan laatu ei kuitenkaan ole suuren pisarakoon seurauksena korkealuokkaista eikä suurpaineruiskutus sovellu pienille maalimäärille. Ilma-avusteinen suurpaineruiskutus yhdistää näiden menetelmien tekniikan tuottaen pienemmän pisarakoon ja paremman pinnanlaadun kuin suurpaineruiskutus, mutta vähäisemmän ohiruiskutuksen kuin hajotusilma-ruiskutus. [13, s. 31–35; 22, s. 116–117, 123, 133, 142, 151; 21, s. 2–4.]

Kaikissa näissä tekniikoissa voidaan lisäksi soveltaa sähköstaattista ruiskumaalausta ohiruiskutuksen vähentämiseen. Suuttimessa sähköisesti varatut maalipisarat hakeutuvat sähkökentän vaikutuksesta maalattavan, maadoitetun tuotteen pintaan ja tarttuvat siihen, myös taustapinnoille, jos tuote on sopivan muotoinen. Putken voi mainita tästä esimerkkinä. [13, s. 31–35; 22, s. 116–117, 123, 133, 142, 151; 21, s. 2–4.]

2.2 Jauhemaalit

Jauhemaalaus alkoi yleistymään 1970-luvulla, ja siitä on tullut yksi suosituimmista maalausmenetelmistä maailmalla. Menetelmää käytetään erityisesti kodinkoneiden, ajoneuvojen, huonekalujen ja rakennusten maalaukseen.

2.2.1 Koostumus

Myös jauhemaalit koostuvat sideaineista, kovetteista, täyteaineista, pigmenteistä sekä apuaineista. Jauhemaaleissa ei käytetä liuotteita vaan kaikki jauhe-
maalien ainesosat ovat kiinteässä olomuodossa kuivana, hienojakoisena jauheena. Tästä syystä niiden käyttö on terveydelle ja ympäristölle turvallisempaa. Jauhemaalien suurimmista eduista on niiden VOC-päästöttömyys. VOC-päästöt aiheutuvat maaliteollisuudessa haihtuvista ja kaasumaisessa muodossa

olevista liuottimista. [19.] Jauhemaalit eivät sisällä ollenkaan tai häviävän vähän haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, mikä on ympäristöystävällisyyden kannalta erinomaista. EU-direktiivi 1993/13/EC on luotu estämään ja vähentämään VOC-päästöjen välittömiä ja epäsuoria vaikutuksia, jotka kohdistuvat ilmaan ja ympäristöön. Direktiivi tarjoaa toimenpiteitä VOC-päästöjen pienentämisen menettelyihin ja näiden päästöjen minimoiminen on erityisasemassa niillä teollisuuden aloilla, joissa päästöjä syntyy. [19.]

2.2.2 Maalityypit ja käyttökohteet

Jauhemaalauksessa käytetään tyypillisesti sideaineena epoksia, polyesteria tai niiden seosta. Polyuretaani- ja akryylipohjaisia maaleja käytetään myös niin ikään. [3; 4, s. 1–2; 15, s. 207–208.]

Epoksi ja epoksipolyesteri soveltuvat erityisesti sisäkäyttöön tarkoitettuihin sovelluksiin. Ne antavat rakenteelle mekaanista ja kemiallista rasitusta kestävän pinnoitteen sekä hyvän korroosiosuojan. Suuren kovuuden ansiosta ne kestävät mekaanista rasitusta parhaiten käytössä olevista jauhemaaleista. Ulko-olosuhteissa epoksin ja epoksipolyesterin muodostama kalvo himmenee eli liituuntuu herkästi. Kellastuminen sen sijaan on vähäisempää verrattuna epoksiin tilanteissa, joissa kappale altistuu lämmölle, UV-valolle tai ylipoltolle. [3; 23, s. 1.]

Polyesteri soveltuu käytettäväksi hyvää säänkestävyyttä vaativissa kohteissa, erityisesti alumiinirakenteissa. Hyvän mekaanisen ja kemiallisen kestävyysden ansiosta kalvo kestää hyvin korroosiota ja säilyttää sävynsä ja kiiltonsa myös ulko-olosuhteissa. Elastisuutensa ansiosta maali antaa kalvolle suojan törmäyksiltä ja kolhiintumisilta. Polyuretaani jakaa polyesterin kanssa useita samoja ominaisuuksia, mutta se antaa myös loistavan kiillon ja sileyden sisäkäyttöön tarkoitetuille sovelluksille. [3; 23, s. 2.]

Akryylihartsiin pohjautuvat jauhemaalit antavat muihin verrattuna ensiluokkaisen laadun etenkin autoteollisuudessa. Ne antavat alustalleen loistavan kemikaalien kestävyysden, ylivertaisen mekaanisen ja säänkestävyyden sekä sileyden.

Akryyli on tunnettu erityisesti säänkestävyydestään ja se antaa kappaleelle yli 10 vuoden suojan. Se suojaa alustaa myös puhdistusaineilta ja bensiiniroiskeilta. Esimerkiksi Bayerische Motoren Werke AG, yleisimmin tunnettuna BMW, on pinnoittanut autojaan akryylijauhemaaleilla vuodesta 1998 lähtien. Ongelmakohtia myös löytyy, koska akryylit ovat selvästi kalliimpia erityisesti autoteollisuudessa kuin muut jauhemaalit. Näin ollen pienemmät autonvalmistajat ovat joutuneet tyytymään halvempiin, polyesteripohjaisiin maaleihin; tosin muutosta on ollut näkyvissä viime aikoina. Toinen ongelmakohta on akryylin yhteensopimattomuus muiden jauhemaalien kanssa. Seurauksena voi polyesterijauhemaalisiin syntyä kraattereita polyesterin ja akryylin suuren pintajännite-eron takia. Akryylit eivät niin ikään kestä korkeaa lämpötilaa, ja siksi ne eivät sovellu korkean lämpötilan alaisiin kohteisiin. [2; 22.]

2.2.3 Maalausmenetelmät

Jauhemaalauksessa sähköisesti varattu, kuiva, hienojakoinen jauhe ruiskutetaan maadoitetun kappaleen pinnalle, joka vetää varattua jauhetta puoleensa. Ylimääräinen jauhemaali, joka ei tartu pintaan, voidaan kierrättää uudelleen ruiskutettavaksi. Jauhemaalauksen suurimpia etuja onkin, että kaikki jauhemaali hyödynnetään. Tämän jälkeen kappale asetetaan uuniin, jossa maali sulaa ja muodostaa kovan, mekaanista ja kemiallista kulutusta kestävästä maalikalvon sekä antaa pinnalle halutun ulkonäön. [3; 4, s. 1–2; 5; 19, s. 52; 15, s. 207–209.]

Metallikappaleiden jauhemaalaukseen käytetään yleensä sähköstaattista ruiskumaalauksena (koronapurkausmenetelmä), jossa korkeaan jännitteeseen (–30kV ... 100kV) kytketyn maalauspistoolin varauksjärjen ja maadoitetun, maalattavan tuotteen välille muodostuu sähkökenttä, joka varaa pistoolista ulos ruiskutetun hienojakoisen jauhemaalilin sähkövarauksella. Varattu jauhe ruiskutetaan ilma-suihkun ja sähköstaattisen kentän avulla suoraan maadoitetun kappaleen pinnalle, joka vetää varattua jauhetta puoleensa. Faradayn häkki-ilmiön seurauksena sähkökenttä on heikko tuotteen sisäkulmissa eikä ulotu monimuotoisen

tuotteen sisäkulmiin ja onteloihin, joissa pinnoite jää ohuemmaksi. [13, s. 28; 22, s. 190–191; 24, s. 330–331, 334.]

Jauhemaalatus tuotteen tiivis maalikalvo toimii sähköisenä eristeenä ja tekee sähkökentästä epätasaisen, joten uudelleenmaalaus koronapurkausmenetelmällä on haasteellista. Uusi jauhe ei tartu vanhaan maalipintaan tasaisesti ja pinnasta tulee epätasainen. [22, s. 192.]

Sähköstaattisessa kitkavarausmaalauksessa (tribo) jauhemaalihiukkaset saavat sähkövarauksen, kun jauhemaalilla ajetaan maadoitetun putken läpi paineilmalla ja se hankautuu putken seinämiin. Korkeaa jännitettä ja sähkökenttää ei tällöin tarvita eikä Faradayn häkki-ilmiötä esiinny. Myös vanhan jauhemaalikalvon tasainen uudelleenmaalaus onnistuu paremmin kuin koronapurkausmenetelmällä. [22, s.193–194; 24, s. 336.]

2.3 Maalipinnoite ja maalausjärjestelmät

Pinnoitekalvo on yhden levityskerran tuloksena saatu yhtenäinen kerros pinnoiteainetta. Kalvonmuodostus on levitetyn pinnoiteaineen muutos nestemäisestä kiinteään olomuotoon tai jauhemaalilla ollessa kyseessä kuivan, hiutalemaisen maalin sulamisesta uunissa nestemäisen olomuodon kautta kiinteään olomuotoon. Kalvonmuodostusta aiheuttavat kuivuminen ja kovettuminen. Molemmat muutokset voivat tapahtua samanaikaisesti. [1.]

Pinnoite on yhtenäinen pinnoitekerros, joka voi muodostua yhdestä tai useammasta pinnoitekalvosta tai -kerroksesta. Tyypillisesti maalipinnoite muodostuu useista eri maalikerroksista, joilla jokaisella on oma tehtävä maalin ja maalausalustan suojauksessa. Usean pinnoitekalvon yhdistelmää kutsutaan myös pinnoiteyhdistelmäksi tai maaliyhdistelmäksi. Käyttöjärjestyksen mukaan eri kerrosten maaleja kutsutaan pohja-, väli- ja pintamaaleiksi. Pohjamaalin tarkoituksena on kostuttaa alusta ja antaa hyvä tartunta seuraavalle maalikerrokselle. Se ehkäisee myös ruosteen muodostumisen kappaleen pinnalle sekä ruosteen kulkeutumisen maalin vaurioituneista kohdista pinnoitteen alle. Välimaalit tarttuvat

hyvin sekä pohjamaalin että pintamaaliin. Nämä myös lisäävät suojamaaliyhdistelmän kerrospaksuutta, mikä parantaa maalausjärjestelmän kykyä eristää teräs kosteudelta, hapelta ja epäpuhtauksilta. Välimaalia terminä ei nykyisin enää käytetä, vaan puhutaan useista pohjamaali- ja pintamaalikerroksista. Pintamaalin tehtävänä on antaa kappaleelle tarvittava sään, UV-säteilyn ja kemikaalien kestävyys sekä oikea kiiltoaste ja värisävy. [17, s. 1–4; 13, s.29; 1.]

Suomessa käytetään korroosionestomaalauksessa käsitettä maalausjärjestelmä, joka muodostuu maalipinnoitteen lisäksi maalattavasta alustasta ja alustan esikäsittelystä. Esimerkiksi teräsrakenteet voidaan suojata korroosiolta eri tavoilla niin, että ne kestävät korroosiorasituksia rakenteiden koko vaaditun käyttöiän. Standardi ISO 12944 (kaikki osat) käsittelee suojausta maalausjärjestelmillä (käyttäen termiä suojamaaliyhdistelmä) ottaen huomioon kaikki tekijät, jotka ovat tärkeitä riittävän korroosioneston saavuttamiseksi. Maalausjärjestelmä valitaan käyttötarkoituksen mukaan, jota kuvaavat suojattava rakenne, pinnan tyyppi ja pinnan esikäsittely, ympäristön tyyppi, suojamaalipinnoitteen tyyppi (kemiallinen koostumus, kalvonmuodostustapa), työn tyyppi (uudisrakennus- tai kunnossapitotyöt) ja maalausjärjestelmän kestävyys. Standardin ISO 12944-5 liitteiden A–E taulukoissa on annettu maaliyhdistelmien kalvojen minimilukumäärät (MNOC) ja vähimmät kuivakalvon nimellispaksuudet (NDFT) riippuen kestävyys- ja korroosiorasitusluokasta erilaisilla esikäsittelyillä ja alustoilla sekä esimerkkiyhdistelmiä. [13, s. 29; 25, s. 8–9; 20, liitteet A–E.]

Ympäristöolosuhteiden tyyppi ja maalausjärjestelmien kestävyys ovat keskeisiä muuttujia valittaessa maalausjärjestelmää. Suojamaaliyhdistelmän kestävyys on odotettu kesto aika ensimmäiseen huomattavaan huoltomaalaukseen. Standardissa ISO 12944-1 kestävyys ilmaistaan neljänä kestävyysluokkana: alhainen (L) 7 vuoteen saakka; kohtalainen (M) 7–15 vuotta; korkea (H) 15–25 vuotta; ja erittäin korkea (VH) yli 25 vuotta. Kestävyysluokka ei ole sama kuin ”takuu aika”. Kestävyys on tekninen arvio, joka voi auttaa omistajaa laatimaan kunnossapito-ohjelman. [13, s. 29; 25, s. 8–10.]

Standardi ISO 12944-2 määrittelee kuusi ilmastokorroosiovaikutusluokkaa (standardin taulukko 1) hyvin lievästä C1 hyvin ankaraan C5 ja äärimmäiseen CX sekä neljää luokkaa (standardin taulukko 2) veteen upotetuille tai maanalaisille rakenteille (Im1 makeavesiupotus; Im2 meri- ja murtovesiupotus; Im3 maanalaiset rakenteet; ja Im 4 meri- ja murtovesi). [13, s. 30; 26, s. 10–11.]

Standardissa ISO 8501-1 määritellään tietyt silmämääräiset puhtausasteet (ilmoitettu "esikäsittelyasteina"), jotka havaitaan pinnan esikäsittelyn jälkeen maalaamattomalla teräksellä sekä teräspinoilla, joista aikaisempi maali on kauttaaltaan poistettu. Nämä silmämääräiset puhtaustasot on suhteutettu yleisiin pinnan puhdistusmenetelmiin, joita käytetään ennen maalausta. Pinnan esikäsittelyä suihkupuhdistuksella merkitään kirjaimilla "Sa" ja suihkupuhdistusasteita on neljä (standardin taulukko 1): kevyt (Sa1), huolellinen (Sa2), hyvin huolellinen (Sa2½) puhdistus ja puhdistus metallin puhtaaksi (Sa3). Käsityökaluilla tai koneellisesti tehty pinnan esikäsittely kuten kaavinta, teräsharjaus, koneellinen harjaus ja hionta, merkitään kirjaimilla "St" ja puhdistusasteita on kaksi: huolellinen (St2) ja hyvin huolellinen puhdistus (St3). [27, s. 10, 12 ja 14.]

Standardissa ISO 8501-2 puolestaan määritellään esikäsittelyasteet, kun teräspinoilta on paikoittain poistettu aikaisemmat maalipinnoitteet. Kokemus on osoittanut, että aikaisempien maalipinnoitteiden poistaminen täydellisesti ei aina ole tarpeellista. Tiukasti kiinniolevien maalipinnoitteiden tulee kuitenkin olla vaurioitumattomia ja pintojen tulee olla vapaita näkyvästä öljystä, rasvasta ja liasta, irtonaisesta maalipinnoitteesta, ruosteesta ja vieraasta aineesta. Ennestään pinnoitettujen pintojen esikäsittelyasteita ovat paikoittaissuihkupuhdistus "P Sa", perusteellinen "P Sa 2" ja hyvin perusteellinen "P Sa 2½" sekä paikoittais-suihkupuhdistus silmämääräisesti puhtaaksi teräkseksi "P Sa 3". Pinnan perusteellinen esikäsittely paikoittaisella puhdistuksella käsi- tai konetyökaluilla kuten kaavinta, harjaus ja hionta merkitään kirjaimilla "P St 2" ja hyvin perusteellinen "P St 3". [28, s. 8, 10 ja 12.]

3 Kestävän maalipinnoitteen edellytykset

Lukuisat tekijät voivat vaikuttaa maalipinnoitteen epäonnistumiseen tai ennenaikaiseen vaurioitumiseen, kuten huonosti suoritettu esikäsittely ja maalaustyö, maalien yhteensopimattomuus, ympäristötekijät, pinnan kostutus, mekaaniset vaikutukset ja sisäinen rasitus, sidoslujuus ja pigmenttikoostumus. Mainitut tekijät voivat aiheuttaa pinnoitteen kuplimoitumista, ruostumista, halkeilua, hilseilyä ja liituuntumista. Ennenaikaisella vaurioitumisella tarkoitetaan vaurioitumista ennen arvioitua tai suunniteltua käyttöaikaa, jonka pinnoitteen tulisi kestää oikeanlaisen esikäsittelyn ja maalaustyön suorittamisen jälkeen ennen ensimmäistä suunniteltua huolto- tai korjausmaalausta.

3.1 Tartunta ja kostutus

Tärkein yksittäinen vaatimus useimmille pinnoitteille on, että pinnoite tarttuu voimakkaasti ja kestävästi alustaan, kun kalvon muodostuminen on valmis.

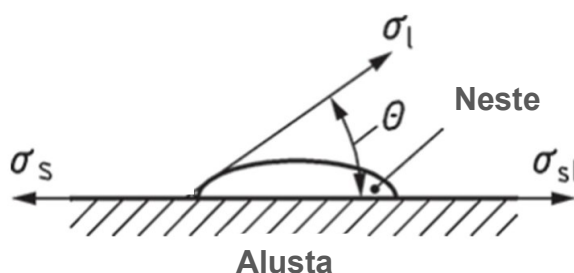
Hyvän tarttuvuuden edellytys on onnistunut pinnan kostutus: Nestemäisen maalin tulee levitä spontaanisti alustan pinnalla, jotta maalimolekyylit saadaan läheiseen molekyylitasoon kosketukseen alustan pinnan kanssa muodostamaan tarttumisen kannalta oleellisia mekaanisia ja kemiallisia sidoksia. Kostutusta säätelee nestemaalint pintajännitys ja kiinteän aineen (alustan) pintaenergia. [16, s. 9; 29, s. 1; 30, s. 21, 29.]

Pinnassa olevilla molekyyleillä on enemmän energiaa kuin materiaalin sisäosissa olevilla molekyyleillä, jotka ovat joka puolelta liittyneet toisiinsa. Pintaenergia voidaan siksi määritellä ylimääräiseksi vapaaksi energiaksi verrattuna materiaalin sisäosien energiaan. [16, s. 10; 31, s. 6.]

Pintaenergia ilmaistaan vapaana energiana suhteessa pinta-alaan (yksikkö mJ/m^2). Termi rajapintajännitys liittyy vuorovaikutukseen nesteiden kanssa, ja se ilmaistaan voimana pituuden yksikköä kohti (mN/m). Vastaava yksikkö on myös dyne/cm, jota käytetään yleisesti kuvaamaan pintajännitystä. Pintaenergia

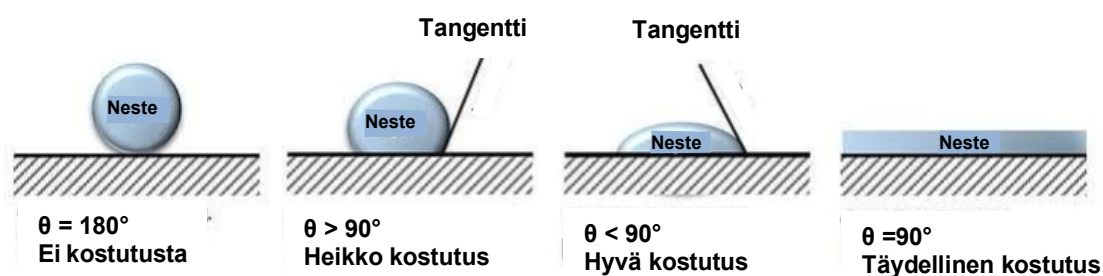
ja pintajännitys ovat numeerisesti ja mittasuhteiltaan vastaavat. Tämä tarkoittaa, että nesteen pintajännitys voidaan ajatella myös pintaenergiana. Usein indeksit "l" nestemäiselle ja "s" kiinteälle aineelle osoittavat kulloisenkin faasin. [16, s. 10; 31, s. 6; 32, s. 1.]

Termodynamiikan periaatteen mukaan järjestelmällä on luonnollinen taipumus etsiä pienimmän vapaan energian tila. Neste hakeutuu pisaramuotoon, koska pallomuoto sulkee maksimitilavuuden pienimmän pinta-alan sisään ja näin minimoi ylimääräisen vapaan pintaenergian. Myös nesteen tullessa kontaktiin kiinteän alustan kanssa, neste joko leviää alustan pinnalle kostuttaen sen tai vetäytyy puolipallon muotoiseksi pisaraksi nesteen pintajännityksen ja alustan pintaenergian mukaan. Pinnan kostutettavuus pystytään selvittämään kosketuskulman θ avulla, jonka pisaran ääriviivan tangentti muodostaa kiinteän pinnan kanssa, kuten kuvassa 1 on havainnollistettu. [16, s. 11–12; 31, s. 7; 30, s. 29.]



Kuva 1. Nestepisara alustalla ja kosketuskulma [31, s. 7].

Kosketuskulman θ ollessa 0° tapahtuu täydellinen kostutus, kun taas sen ollessa 180° kostutusta ei synny. Kulman θ ollessa alle 90° kostutus onnistuu vielä hyvin, mutta mentäessä sen yli se alkaa heiketä, kuten kuvassa 2 on havainnollistettu.



Kuva 2. Erilaisia alustan kostutusasteita [32].

Nesteen pintajännityksen σ_l ja alustan kiinteän aineen vapaan pintaenergian σ_s aiheuttamat, pisaraan kosketuspisteessä vaikuttavat vaakasuuntaiset voimat, kuvataan tasapainotilassa Youngin yhtälön avulla, jossa σ_{sl} on pintojen välinen jännitys nesteen ja alustan välillä. [15, 169–170; 31, s. 9; 30, s. 29.]

$$\sigma_s = \sigma_{sl} + \sigma_l \cdot \cos\theta \quad (1)$$

Alustan kiinteän aineen vapaa pintaenergia σ_s yrittää vetää nesteen pinnan yli muodostamaan vakaampia sidoksia ja vähentämään vapaata pintaenergiaa. Nesteen pintajännitys σ_l yrittää vastustaa alustalle leviämistä ja vetää nestepalloa pinnalle. Yhtälöstä voidaan päätellä spontaanin kostutuksen edellytykseksi, että nesteen (maalattavan maalin) pintajännityksen σ_l on oltava alhaisempi kuin pinnoitettavan kiinteän aineen vapaa pintaenergia σ_s . Toisin sanoen mitä suurempi kiinteän alustan pintaenergia on suhteessa nesteen pintajännitykseen, sitä suurempi mahdollisuus on nesteellä kostuttaa ja levitä kiinteän aineen pinnalle. [15, s. 169–170; 16, s. 11–12; 31, s. 9; 29; 32; 30, s. 29; 33, s. 3.]

Tätä nesteen leviämistä ja virtausta vastustavat viskoelastiset voimat. Korkean viskositeetin omaava neste ei virtaa tai kostuta yhtä helposti kuin matalan viskositeetin neste, jolla on sama pintajännitys. [16, s. 12.] Nestemäisen pinnoitteen pintajännitykseen vaikuttavat useat tekijät, kuten lämpötila, liuottimet, lisäaineet ja hartsityypit. Joidenkin yleisten liuottimien ja pinnoitehartsityyppien pintajännitykset on esitetty taulukossa 1. Nesteen pintajännitys voidaan ajatella myös pintaenergiana. [16, s. 12.]

Taulukko 1. Muutamien liuottimien ja hartsien pintajännitysarvoja [15, s. 170].

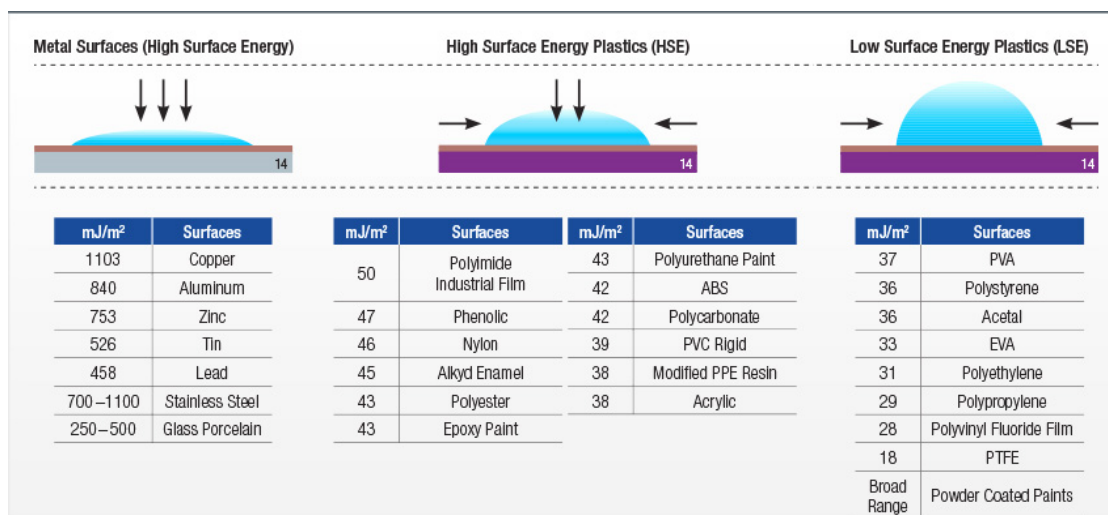
Liquid	σ (mN/m)	Coating resin	σ (mN/m)
water	73	epoxy resins	45 to 60
butyl glycol	30	melamine resins	42 to 58
toluene	29	chlorinated rubber	57
2-propanol	22	alkyd resins	33 to 60
n-octane	21	poly(meth)acrylates	32 to 41
hexamethyl disiloxane	16	polyvinyl alcohol	37
isopentane	14	polyvinyl acetate	36

Käytännössä liuotinhenteisten nestemaalien ja päällysteiden pintajännitysten arvot ovat käytetyn liuottimen ja sideaineen mukaan välillä 25–40 mN/m. Tavanomaiset päällystysjärjestelmät löytyvät yleensä alueen alaosasta ja ovat siten "luontevampia" kostutuksen ja tarttuvuuden suhteen. Vesiohenteisten pinnoitteiden leviäminen pinnalle on veden suhteellisen korkean pintajännityksen vuoksi vaikeampaa verrattuna useimpiin orgaanisiin liuottimiin. Näin ollen vesiohenteisten pinnoitteiden kostutuksen parantamiseksi käytetään yleisesti orgaanisia apuliuottimia ja sopivia kostutusaineita. [15, s. 366; 32.]

Alustan (kiinteän aineen) pintaenergian sanelee suurelta osin sen kemiallinen koostumus (teräs, alumiini, polymeeri, jne.) ja sen puhtausaste. Eri lähteistä saatavat alustamateriaalien pintaenergiat vaihtelevatkin jonkin verran. Kuvassa 3 on esitetty muutamien alustamateriaalien pintaenergiat eri suuruusluokissa. [16, s. 11; 34.]

Useimpien metallien pintaenergia-arvot ovat hyvin korkeita mahdollistaen yleensä hyvän kostutuksen nestemaaleilla. Muovimateriaaleilla puolestaan on suhteellisen alhaiset pintaenergiat, mikä aiheuttaa haasteita tartunnan suhteen. Kirjallisuudessa jopa mainitaan, että polaarittomien muovien, kuten polyetyleni tai polypropyleeni, pinnoituksessa ei ole edes mahdollista saavuttaa hyvää

tartuntaa niiden alhaisen pintaenergian ja heikon kostuttavuuden vuoksi, ellei käytetä polarisoivia pintakäsittelyjä. [15, s. 366; 30, s. 29.]



Kuva 3. Muutamien alustamateriaalien pintaenergiat [34].

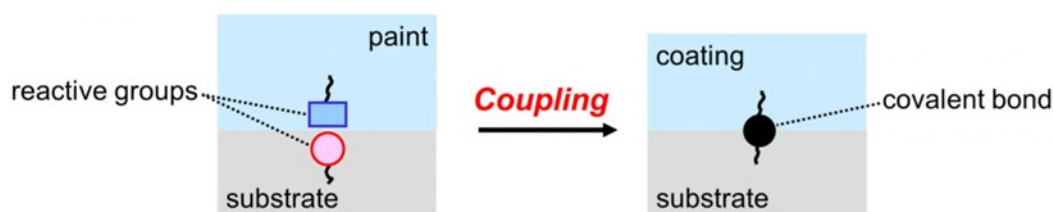
3.2 Tartuntamekanismit

Pintojen välinen tarttuvuus riippuu sidosvoimista (molekyylivoimista) pinnoitteen kalvojen välillä tai kalvon ja alustan välillä (tartunta) sekä pinnoitehiukkasten välisistä sidosvoimista, jotka sitovat pinnoitekalvon yhtenäiseksi kokonaisuudeksi [1]. Pinnoitteen tarttuvuus ei riipu pelkästään pinnoitteesta, vaan pinnoitemateriaalin valinnassa on otettava huomioon myös pinnoitettavan alustan erityisominaisuudet ja muokattava pinnoite ja alusta mahdollisimman yhteensopiviksi [35, s. 76]. Pinnoitteen ja alustan välisille tartuntamekanismeille on olemassa monia teorioita, kuten kemialliset sidokset, adsorptio (van der Waalsin voimat), diffuusio, mekaaninen tartunta jne., joilla kaikilla voi olla merkittävä rooli tartunnan syntymisessä [36; 16; 37; 29; 32; 30, s. 21–22; 33].

3.2.1 Kemialliset sidokset

Suurimmat tartuntavoimat alustan ja pinnoitteen välille on saavutettavissa kemiallisilla sidoksilla: kovalenttiset sidokset ja ionisidokset. Kemiallisia sidoksia muodostuu kalvonmuodostuksen aikana, kun pinnoitteen sideaineen kemialliset

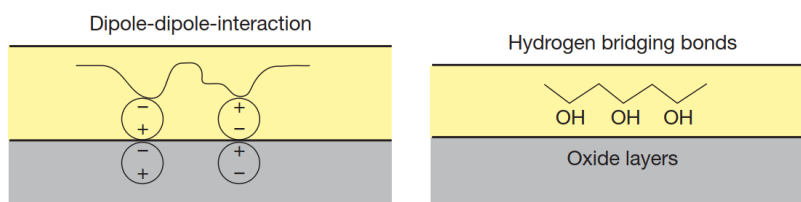
ryhmät reagoivat alustan pintamateriaalin kemiallisten ryhmien kanssa, kuten kuvassa 4 on havainnollistettu. Orgaaniset pinnoitteet, kuten polymeeripinnoitteet muodostuvat kovalenttisista sidoksista. [36, s. 3; 16, s. 9–10; 29; 32; 30. s. 24–25; 33.]



Kuva 4. Kovalenttisten sidosten muodostuminen kalvonmuodostuksen aikana [29].

3.2.2 Adsorptio

Adsorptioteorian mukaan pinnoitemateriaali tarttuu alustan pintaan myös pintamolekyylien ja pinnoitemolekyylien välisten vuorovaikutusten, kuten van der Waals -voimien ja vetysidosvoimien, vaikutuksesta. Van der Waals -voimat perustuvat molekyylien ja atomien varausjakaumien epätasaisuuteen eli poolisuuteen ja poolisten molekyylien välisiin heikkoihin sähköisiin vetovoimiin, dispersiovoimiin. Poolisissa molekyyliissä on pysyvä poolisuus eli dipoli, jolloin kahden molekyylin välille voi muodostua sähköinen dipoli-dipoli-vuorovaikutus, joka vetää molekyyliä toisiinsa päin, kuten kuvassa 5 on havainnollistettu. Ei-poolisissa molekyyliissä ei ole pysyvää dipolia, vaan dipoli syntyy hetkellisesti molekyylien varausjakaumien muuttuessa. Keskimäärin molekyylin elektronit ovat jakautuneet tasaisesti, mutta yksittäisellä hetkellä ne voivat olla kerääntyneinä molekyylien yhdelle puolelle aiheuttaen hetkellisen dipolin. Hetkellinen dipoli voi näin ollen aiheuttaa hetkellisen dipolin (indusoitunut dipoli) muodostumisen ympäröiviin molekyyliin, jolloin molekyylien dipolit kohdistavat toisiinsa dispersiovoimia (Lontoon dispersiovoimat). Vetysidos on happi-, typpi- tai fluoriatomiin liittyneen vetyatomin ja toisen happi-, typpi- tai fluoriatomin vapaan elektroniparin välinen sähköinen vetovoima. [36, s. 2–3; 16, s. 10; 29; 32; 30, s. 27; 33; 38, s. 375.]



Kuva 5. Dipoli-dipolivuorovaikutus ja vetysidokset [38, s 374].

3.2.3 Mekaaninen tartunta

Mekaaninen tarttuvuus ja sisäinen jännitys ovat yksi tarttuvuuteen vaikuttavista tekijöistä. Alustan profiili vaikuttaa suuresti maalattavan pinnoitteen tarttumiskykyyn. Sileät pinnat antavat heikomman tartunnan alustaan niiden pienemmän pinta-alan vuoksi ja näin ollen tarjoaa pinnoitteelle vähemmän pinta-alaa lukittua alustaan (kuva 6A). Erittäin karkeat alustat puolestaan vaikeuttavat nestemäisen pinnoitteen kykyä kostua ja tunkeutua pinnan laaksoihin (kuva 6C). Tästä syystä pinnan karheudessa pyritään saavuttamaan näiden kahden välimuoto (kuva 6B), jossa ei ole taskuja ja huokosia ja joihin pinnoite ei kykene tunkeutumaan. Näin pystytään ehkäisemään kosteutta ja liukoisia ioneja sisältävien ilmataskujen, ja sen myötä rakkuloiden sekä korroosion syntyminen. Nämä yhdessä voivat aiheuttaa pinnoitteen ennenaikaisen irtoamisen ja kalvovian. [36, s. 2–3; 16, s. 10; 29; 32; 30, s. 27–28; 33.]

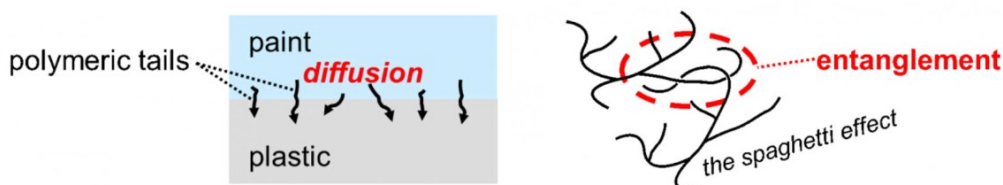


Kuva 6, Alustan pintaprofiilin vaikutus mekaaniseen tartuntaan [32].

Mekaanisen tarttuvuuden kannalta nestemäiset pinnoitteet, joilla on pieni pintajännitys ja matala viskositeetti, edistävät kostutusta ja pinnoitteen mikroskooppista tunkeutumista. Haitallisesti pinnoitteen tarttuvuuteen vaikuttavat jännitykset, joita esiintyy kutistumisen seurauksena, kun pinnoite kuivuu tai kovettuu. Ympäristövaikutuksilla, kuten altistumisella kosteudelle, valolle, lämmölle, epäpuhtauksille ja lämmönvaihteluille, voi myös olla rooli tartunnan heikkenemisessä. [32.]

3.2.4 Diffuusio

Diffuusioteorian mukaan tartunta syntyy pinnoitteen ja alustan molekyylien välisen diffuusion kautta. Diffuusioteoria on ensisijaisesti sovellettavissa, kun sekä pinnoite että kiinnitysaine ovat polymeerisiä ja niissä on yhteensopivia, pitkäketjuisia ja liikekykyisiä molekyylejä. Diffuusiossa polymeeripinnoitteen polymeerihartsin ”häntiä” diffuusoituu eli kulkeutuu kalvonmuodostuksen aikana syvälle alustamateriaaliin ja kietoutuu alustan polymeerihäntien ja ketjujen kanssa muodostaen voimakkaan mekaanisen tartunnan, kuten kuvassa 7 on havainnollistettu. Termoplastisten substraattien liuotin- tai lämpöhitsauksen katsotaan johtuvan molekyylien diffuusiosta. [29; 33; 35, s. 76.]



Diffusion and entanglement.

Kuva 7. Polymeerihartsin häntien diffuusio ja kietoutuminen [29].

3.3 Menetelmiä tartunnan parantamiseen

Pinnoitteen tarttuvuus ei riipu pelkästään pinnoitteesta, vaan pinnoitemateriaalin valinnassa on otettava huomioon myös pinnoitettavan alustan erityisominaisuudet. Pinnoitettavan alustan tartuntaominaisuuksia voidaan parantaa pinnan puhdistuksella, sopivalla pinnan esikäsittelyllä sekä tartuntaa lisäävillä aineilla. Jauhemaalattujen pintojen käsittelyyn korjausmaalausta varten on varsin vähän kirjallisuutta, mutta jauhemaalattu pinta voidaan hyvin rinnastaa yleisesti muovipintoihin. Lisäksi samoja esikäsittelymenetelmiä, joita käytetään muoveille liiman tartunnan parantamiseksi, voidaan soveltaa maalipinnoitteen tartunnan parantamiseen. Muovin pinnan esikäsittely on yksi tapa saavuttaa tietyn pinnoitteen tarttuvuus alustaan. On olemassa useita mekaanisia esikäsittelyjä, mukaan lukien plasmapurkaus, silloitus aktivoitujen inerttikaasujen avulla ja liekki-käsittely. Myös kemiallisia ja liuotinesikäsittelyjä käytetään. Mekaanisen

esikäsitteilyn tarkoituksena on poistaa mahdolliset tartuntaa heikentävät kerrokset ja lisätä pinnan karheutta. Liutinesikäsitteilyt (neste tai höyry) poistavat myös tartuntaa heikentävät kerrokset ja lisäävät pinnan karheutta sekä heikentävät pintaa pehmentämällä sitä tai muodostamalla huokoisen kerroksen. Kemialliset esikäsitteilyt suorittavat kaikki nämä tehtävät sekä muuttavat pinnan kemiallisen ja aiheuttavat muutoksia kostutusnopeudessa ja -asteessa. [35, s. 76–77; 38, s. 465–470.]

3.3.1 Puhdistus

Pinnoitettavan materiaalin pinnassa on aina jonkin verran myös epäpuhtauksia, jotka vaikuttavat tarttuvuuteen. Näitä epäpuhtauksia saattavat olla pöly, öljy, rasva, sormenjäljet tai mikä tahansa muu lika, joka saattaa päätyä pinnalle. Epäpuhtaudet voivat huonontaa alustan kostuttamista pinnoitteella, vähentää pinnoitteen ja alustan välistä kosketusta sekä heikentää syntyviä sidosvoimia. Hyvän tartunnan aikaansaamiseksi onkin tärkeää, että pinnoitusprosessia edeltää aina esikäsitteily, joka poistaa epäpuhtaudet pinnoitettavalta pinnalta. Erityisen tärkeää on puhdistus pinnoitettaessa materiaaleja, joilla on alhaiset pintaenergiat, kuten muovit ja jauhemaalipinnoitteet. [38, s. 378.]

Tavanomaiseen huoltopesuun käytetyt menetelmät, kuten pesu tavallisilla vesipitoisilla kotitalous- tai teollisuuspesuaineilla, joiden pH-arvo on 5–9, ovat usein sopivia keinoja perusteelliseen suorapuhdistukseen. [6, s.1; 7, s. 4; 37; 39; 40; 38, s. 468.]

Yleensä muovipintojen ja jauhemaalipintojen huoltopesuun puhdistustarkoituksessa ei suositella aggressiivisiä pesuaineita, hankausaineita tai liuotteita, koska niiden käyttö voi vaurioittaa vanhaa maalipintaa (esimerkiksi kiillon väheneminen, värinmuutos tai maalin pehmeneminen). Missään tapauksessa ei suositella käytettävän hankaavia puhdistustapoja (pinnan rikkova), kuten mekaanista pesua, johon liittyy harjaus. [6, s.1; 7, s. 4; 37; 39, s. 1–2; 40; 38, 468.]

3.3.2 Pinnan karhentaminen

Pinnan karhennus parantaa pinnoitteen tarttuvuutta alustaansa johtuen suuremman pinta-alan ja karhennetun pinnan mikrohuokoisen rakenteen ankkurointi-vaikutuksen yhdistelmästä. Alustan pinta voidaan karhentaa joko mekaanisella tai kemiallisella menetelmällä.

Mekaaniseen hiomiseen voidaan käyttää esimerkiksi käsihiontaa hiekkapaperilla, rae- tai hiekkapuhallusta tai teräsharjaa. Käsihionta on varsin työläs, ja siksi se on kallis varsinkin suuremmilla pinnoilla. Hiekkapaperin suurempi karheus aiheuttaa nopeammin suuremman pinnan karheuden alustalle, mutta suurempi karheus ei aina edistä tartuntalujuutta. Päinvastoin on havaittu, että tartuntalujuus kasvaa karheuden myötä tiettyyn karheusarvoon asti, mutta alkaa laskea tämän jälkeen. Lisäksi suuri pinnan karheus saattaa aiheuttaa pinnoitetta heikentäviä sisäisiä jännityksiä. Julkaisuissa suositellaan hiekkapaperin karheuksia arvoon P320 asti. Rae- ja hiekkapuhalluksella on yllättäen vaikeampi saavuttaa sopivaa karheutta kuin hiekkapaperilla, minkä lisäksi hiottuun maalipintaan saattaa jäädä vaikeasti poistettavia hioma-ainejäämiä tai maalipinta saattaa vaurioitua. Mekaanisen pinnan karhennuksen suurin haittapuoli on pinnan likaantuminen roskilla ja hankaavilla hiukkasilla. Pinta tulee puhdistaa kuivalla ilmalla, puhtaalla harjalla tai pesemällä mekaanisen hionnan jälkeen. [36, s. 3–4; 39; 40; 32; 38, s. 468.]

Kemiallinen peittäus (etching) on kemiallinen menetelmä, jossa yleensä metallipintaa syövytetään happamilla tai alkalisilla kemiallisilla aineilla. Peittäus poistaa irtonaisen oksidikerroksen metallipinnalta, lisää metallipinnan karheutta ja muokkaa sitä huokoisemmaksi, mikä parantaa uuden pinnoitteen tartuntaa. Monissa tapauksissa happoetsaus voi tarjota riittävän pinnan esikäsittelyn pinnoitusta varten, riippuen tietysti halutusta tartunta-asteesta.

Happopeittausta voidaan käyttää tehokkaasti myös tiettyjen muovien kanssa, esimerkiksi kromihappoa käytetään polyolefiinien, ABS:n, polystyreenin, polyfenyylioksidin ja asetaalien käsittelyyn. Kromihappopeittäus lisää muovin ja

pinnoitteen kemiallisia ja polaarisia sidoksia tuomalla muovin pintaan reaktiivisia kohtia, kuten hydroksyyli-, karbonyyli-, karboksyylihappo- ja SO_2H -ryhmiä, ja muodostaa onteloita, jotka tarjoavat paikkoja mekaaniselle tartunnalle. Tämän käsittelyn vaikutukset vaihtelevat substraatista toiseen. [36, s. 5;38; 41, s. 75.] Pinnan karhennusta voidaan tehdä myös plasmaetsauksella, jossa kohteen pinnalta poistetaan kiinteää ainesta sublimoimalla se kaasuksi ja imemällä pois [42, s. 4].

Peittauksessa joudutaan käsittelemään syövyttäviä aineita, jotka ovat vaarallisia sekä käyttäjälle että ympäristölle. Suurempien kappaleiden peittäus suoritetaan yleensä joko ruiskupeittauksella tai allashapotuksella. Allashapetus suoritetaan yleensä uppopeittamiseen erikoistuneessa yrityksessä. Myös ruiskupeittaaminen vaatii asiantuntevan ammattilaisen ja tarvittavat työ- sekä suojavälineet, joten peittäus sopii huonosti ainakin suurempien laitteiden ja erityisesti kentällä tapahtuvaan huoltomaalaukseen.

3.3.3 Polaaristen ryhmien rikastaminen

Tarttumislujuus tulee pääasiassa toissijaisista sidosvoimista, joihin polaaristen ryhmien lukumäärällä on merkittävä vaikutus. Muoveilla on luonnostaan ei-polaarinen rakenne. Polaaristen ryhmien määrää lisäämällä voidaan parantaa molekyylien välisiä voimia ja siten parantaa tartuntaa. Joidenkin ei-polaaristen muovien tapauksessa, kuten polyetyleeni ja polypropyleeni, joiden pintaenergia on 30 mJ/m^2 tai vähemmän, on vaikeaa saavuttaa hyvää pinnoitteen tartuntaa ilman polarisoivaa pintakäsittelyä. Polaarisuuden lisäämiseksi muovipinta voidaan hapettaa (oksidoida) tai fluorata eri menetelmillä, jolloin ei-polaariset C-H-sidokset muuttuvat polaariseksi C-O-, C=O-, COO- tai C-F-sidoksiksi. Hapen käyttäminen hydroksyylifunktionaalisuuden luomiseen kasvattaa pinnan pintaenergiaa ja siten kostuvuutta eli parantaa nesteen leviämistä pinnalle. Yleisimpiä menetelmiä ovat liekkikäsittely, plasmakäsittely, koronakäsittely ja fluoriointi. Kuvassa 8 havainnollistetaan plasmakäsittelyä. [15, s. 270–272; 35, s. 75–76; 38, s. 375.]



Kuva 8. Polymeeripinnan aktivointi hapella plasmamenetelmällä [38, s. 469].

Plasma on tila, jossa kaasun atomit ovat ionisoituneet. Plasma muodostuu, kun plasmageneraattorin tuottamalla korkeataajuisella energialla kuumennetaan kaasu ionisaatiolämpötilaan. Matalapaineplasmakäsittelyssä materiaalin pinta altistetaan alipaineammiossa synnytetyn kaasuplasman ionisoidulle kaasulle (yleensä happi tai happi-typpiseos), joka muuttaa pinta-atomien kemiallista reagoitavuutta. Normaalipaineplasmakäsittelyssä (atmosfääriplasma) kohde käsitellään plasmakärkeen synnytettyllä plasmasuihkulla vapaassa ilmassa. Plasman toiminta perustuu positiivisten ionien ja negatiivisten elektronien, niin sanottujen vapaiden radikaalien, vaikutukseen käsiteltävällä pinnalla. Nämä vapaat radikaalit pyrkivät muodostamaan pysyviä sidoksia atomitasolla. Esimerkiksi happiplasmalla tapahtuvan aktivoinnin aikana muovipolymeerien ei-polaariset vetysidokset korvataan happisidoksilla, jotka tarjoavat vapaita valenssielektroneja nestemolekyylien sitomiseksi. Käsittelyn vaikutusaika on melko pitkä, muutamasta minuutista useisiin kuukausiin käsiteltävän polymeerin mukaan. Polypropeenin jatkokäsittely on mahdollista useita viikkoja plasmakäsittelyn jälkeen. On silti suositeltavaa olla varastoimatta käsiteltyjä osia pitkään, koska ne vetävät puoleensa pölyä, orgaanisia epäpuhtauksia ja kosteutta. [15, s. 271; 35, s. 77; 38, s. 278–279; 41, s. 75; 43, s. 4; 42, s. 1–3.]

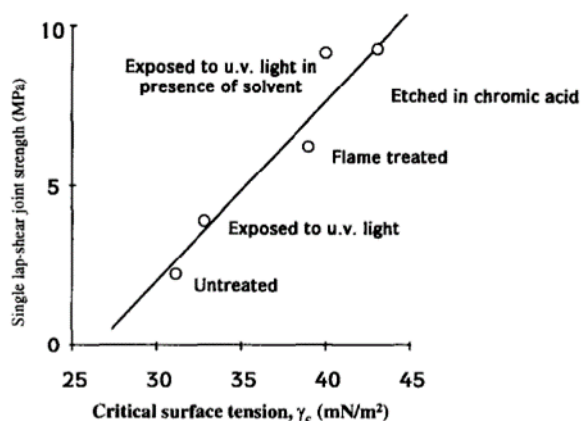
Koronapurkauskäsittelyssä kaasuplasma (koronapurkaus) muodostetaan korkeajännite-elektrodin avulla muovipinnan lähelle normaalissa ilmakehän paineessa. Korona siis aiheuttaa happimolekyylien ja typpimolekyylien hajoamisen reaktiiviseen atomimuotoon, jolloin happi/typpiatomit voivat kiinnittyä käsiteltävään pintaan polarisoiden pinnan ja kasvattaen pintaenergiaa jopa yli 10 mJ/m^2 . Plasma myös karhentaa pintaa ja parantaa mekaanista tartuntaa. Pintaenergia heikkenee nopeasti, joten pinnoitus olisi hyvä tehdä muutaman tunnin sisällä käsittelystä. [15, s. 272; 35, s. 77–78; 38, s. 278–279; 41, s. 75; 43, s. 3–4; 42, s. 1–2.]

Liekkikäsitelyssä viedään kaasuliekki (hapen ja esim. metaanin, propaanin tai butaanin seos) muovimateriaalin (esim. polyeteenin) pinnan yli, mikä hapettaa käsiteltävän pinnan, nostaa pintaenergiaa ja siten parantaa kostutusominaisuuksia ja pinnoitteen tartuntaa. Liekkikäsitelyn onnistumisen kannalta on tärkeää ilma/kaasuseoksen suhde. Eri kaasuseoksilla voidaan saada huomattavasti erilaisia lopputuloksia. Lisäksi kaasuliekin etäisyys ja käsittelyn nopeus ovat tärkeitä. Liian lähellä oleva liekki saattaa aiheuttaa pinnan hiiltymistä ja liian etäinen liekki puolestaan ei anna riittävää hapettumista. Liekkimenetelmä voi aiheuttaa vakavan palovaaran, jos käsittelypaikalla on helposti syttyviä aineita, kuten liuottimia. [15, s. 272; 35, s. 78, 81–82; 41, s. 75.]

Liimauksen esikäsitelyinä käytetään myös lämpökäsittelyä, jossa muovin pintaan puhalletaan kuumaa ilmaa (noin 500 °C), joka hapettaa pinnan, nostaa pintaenergiaa ja siten parantaa kostutusominaisuuksia ja liiman tartuntaa. Lämpökäsittely kuumailmapuhaltimella saattaisi olla tutkimisen arvoinen vaihtoehto korjausmaalaukseen. [41, s.76.]

UV-käsittelyssä käsiteltävää muovipintaa säteilytetään voimakkaalla ultraviolettisäteilyllä, joka aiheuttaa muovipinnassa polymeeriketjujen katkeamista, silloittumista ja hapettumista [15; s. 272; 41, s. 76].

Kuvassa 9 on esimerkki erilaisten esikäsitelyiden vaikutuksesta polyetyleenin (PE) tartuntalujuuteen. Kuvasta voidaan nähdä, että jokainen käsittely kasvattaa polyetyleenipinnan pintaenergiaa ja limiliitoksen tartuntalujuutta verrattuna käsittelemättömään pintaan. Tartuntalujuus kasvaa lähes lineaarisesti pintajännityksen (tai pintaenergian) mukana. Kromihappopeittaus antaa parhaan tartunnan.



Kuva 9. Eri esikäsittelyjen vaikutus polyetyleenin (PE) pintajännitykseen ja limi-leikkauslujuuteen [35, s. 81].

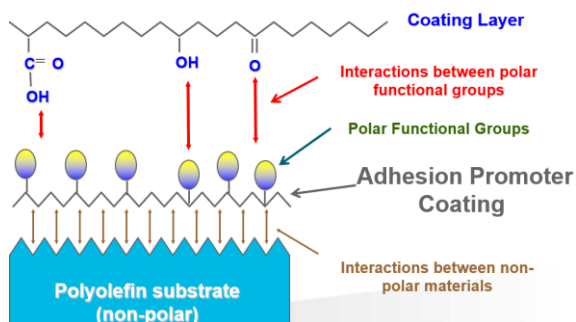
3.3.4 Tartuntaa edistävät aineet

Tartuntaa edistäviä aineita (adhesion promoter) käytetään yleisesti joko lisäaineina pinnoitteissa tai erityisinä tartuntapohjusteina (primer) parantamaan pinnoitteen tartuntaa pintamateriaaleihin, joilla on hyvin alhainen pintaenergia, kuten muovit. Tartunnan edistäjät sisältävät alustan pintamateriaaliin sopivia reaktiivisia ryhmiä, jotka mahdollistavat sidosten syntymisen. Myös erilaiset muut pinnoitteen lisäaineet voivat vaikuttaa tartuntaan, kuten kiinnitysaineet (coupling agent), pigmentit, liuottimet, jne. Erityisesti liuottimella voi olla suuri merkitys tartunnan lisääntymiseen. [36, s.8.]

Tartuntaa edistävän pohjusteen käytön etuna on, että tartunnan edistäjä sijoittuu suoraan alustan pinnan ja pinnoitteen väliin antamaan parhaan vaikutuksen ja että kullekin pintamateriaalille voidaan valita sopivin tartuntaa edistävä aine. Haittapuolena on, että tarvitaan ylimääräinen työvaihe. Yleisesti oletetaan, että tartunnan edistäjien vaikutus perustuu osittain kemiallisten sidosten muodostamiseen alustan pinnan ja pinnoitteen sideaineen kanssa ja osittain pinnan kostumisen parantumiseen tai välikerroksen muodostumiseen alustan ja pinnoitteen sideaineen väliin. [30, s. 35; 35, s. 82.]

Kuvassa 10 on esitetty esimerkki pohjusteen toiminnasta. Tartunnan edistäjä on polymeeri, esimerkiksi polyolefiinipolymeeri, johon on muodostettu polaarisia funktionaalisia ryhmiä. Kun tartunnan edistäjäkerros levitetään ei-polaariselle

muovipinnalle, tartunnanedistäjäpolymeerin ei-polaarisen pääketjun ja ei-polaarisen muovipinnan välisen tartunnan oletetaan syntyvän niiden välisten Van der Waalsin voimien (Lontoon dispersiovoimat) vaikutuksesta tai diffuusion (polymeerihäntien kietoutuminen) vaikutuksesta. Tartunnanedistäjän polaariset funktionaaliset ryhmät ovat puolestaan vapaana muodostamaan dipoli-dipoli-sidoksia tai vetysidoksia pinnoitteen polaaristen ryhmien kanssa. [44.]



Kuva 10. Tartunnanedistäjäkerros pinnoitekerroksen ja ei-polaarisen muovipinnan välissä [44].

Tartunnanedistäjän käyttö lisäaineena pinnoitteessa ei vaadi erillistä työvaihetta. Lisättäessä tartunnanedistäjä pinnoitteeseen täytyy kuitenkin varmistaa miten se reagoi pinnoitteen muiden aineiden kanssa ja vaikuttaa pinnoitteen muihin ominaisuuksiin. [35, s. 82; 44.]

Tartunnanedistäjinä käytetään usein samantyyppistä polymeeriä kuin käsiteltävän pinnan polymeeri. Yleisimmät muoveille käytetyt tartunnanedistäjät ovat kloorattuja polyolefiineja (chlorinated polyolefin, CPO), joissa polymeerinä on polypropyleeni tai polyetyleni. Kloorauksessa polymeerimolekyylisiin on lisätty tai korvattu klooriatomeja. Kloorattuja polyolefiineja käytetään ensisijaisesti liuotinpohjaisina tartuntapohjusteina. Niissä ulkopinnalla olevien klooriatomien uskotaan kasvattavan polaarisuutta ja parantavan maalin tartuntaa. Myös liuotinmäärä ja tyyppi voivat näytellä merkittävää roolia tartunnan parantamisessa lisäämällä pohjusteen ja käsiteltävän pinnan välistä dispersiota. Saatavilla on myös vesiohenteisia CPO-tartunnanedistäjiä, mikä vähentää VOC-päästöjä ja ympäristöhaittoja, mutta niissä on edelleen mukana haitallinen kloori.

Uudet vesiohenteiset, kloorittomat polyolefiiniin perustuvat tartunnanedistäjät (non-chlorinated polyolefin, N-CPO) ovat parannus tähän. [35, s. 82; 45, s. 17–18; 43, s. 4–5; 46, s. 138; 47.]

Viime aikoina on myös kehitetty syntesoituja vesiohenteisia lohkopolymeerejä, joilla tartuntaa voidaan edistää ympäristöystävällisemmin erityisesti erilaisten polymeerien välillä. Lohkopolymeeri on erityinen polymeeri, joka on valmistettu yhdistämällä kaksi tai useampia polymeerisegmenttejä, joilla on erilaiset molekyyliarakenteet ja ominaisuudet. [46, s. 138.]

4 Huolto- ja korjausmaalaus

4.1 Yleistä

Maalauksen kestävyys on rajallinen. Sää, kosteus, syövyttävät kaasut ym. ympäristötekijät huonontavat maalipinnan kuntoa. Ajan kuluessa maalatut metallirakenteet liutuuntuvat, halkeilevat, kuplivat, ruostuvat ja maali hilseilee.

Huolto- ja korjausmaalauksen tarkoituksena on säilyttää pinnoitteen haluttu kestävyys mekaanisia, kemikaalisia ja ympäristöllisiä rasituksia vastaan tai palauttaa toivottu ulkonäkö pinnoitteelle. Huoltomaalaus joudutaan suorittamaan, mikäli vanha maalikerros on irronnut osittain tai kokonaan alustastaan tai se on mekaanisesti kulunut. Yleisimpiä syitä maalipinnan uudelleenmaalaukselle ovat värisävyn ja kiillon muutos, joihin vaikuttaa erityisesti ilman epäpuhtaudet sekä auringon UV- ja lämpösäteily. Näitä epäpuhtauksia voi olla esimerkiksi pöly, noki, rikkidioksidi, kloridi ja typpiyhdisteet. Vauriot ovat pahimmillaan kohdissa, joissa epäpuhtaudet eivät pääse huuhtoutumaan pois kappaleen pinnalta.

Käyttöikää voidaan mitata kahdella eri tavalla: esteettisesti ja toiminallisesti. Esteettisellä käyttöiällä tarkoitetaan aikaa, jona pinnan ulkonäkö ei vastaa enää alkuperäisiä vaatimuksia. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi sitä, että värisä ei esiinny merkittäviä muutoksia tai epätasaisuutta. Toiminallisella käyttöiällä tarkoitetaan puolestaan aikaa, jonka maalipinta suojaa alla olevaa rakennetta.

Levyssä käytetty pinnoite, metallipinnoitteen tyyppi ja paksuus sekä erityisesti ympäristöolosuhteet vaikuttavat suuresti toiminalliseen käyttöikänsä. [48; 4; 6, s. 2; 7, s. 3.]

Huoltomaalaus tehdään joko paikkamaalauksena tai poistamalla vanha maali kokonaan ja maalaamalla rakenne uudelleen. Paikkamaalaus tulee kysymykseen, kun vauriota esiintyy pienellä alueella. Vaurion, esimerkiksi viillon, yltäessä pohjamaaliin, yksi maalikerros riittää. Mikäli viilto pääsee rakenteeseen asti, joudutaan toinen maalikerros lisäämään ensimmäisen kuivuttua. Uudelleenmaalaus joudutaan suorittamaan, mikäli maalipinta on vaurioitunut niin laajalta alueelta, että pelkkä paikkamaalaus ei enää riitä. Syitä voivat olla muun muassa pinnan haalistuminen, korroosio tai värinmuutos.

Standardi ISO 4628 määrittelee järjestelmän virheiden määrän ja koon sekä muutosten voimakkuuden merkitsemiseen. Tämä järjestelmä on tarkoitettu käytettäväksi erityisesti vanhentumisesta ja säärasituksesta aiheutuviin virheisiin sekä yhtenäisiin muutoksiin, esimerkiksi kellastuminen. Virheiden määrä ja koko sekä muutosten intensiteetti luokitellaan numeerisella asteikolla 0...5. Arvo 0 merkitsee, että virheitä tai muutoksia ei esiinny, ja arvo 5, että virheet tai muutokset ovat niin vakavia, että pitemmälle menevä erottelu ei ole järkevää. Muut luokitteluarvot 1, 2, 3 ja 4 on määritetty niin, että saavutetaan mahdollisimman hyvä erottelu asteikon koko alueella. Standardin eri osissa 2–10 on määritetty arviointiperiaatteet yleisimmille virhetypeille: rakkuloitumisaste, ruostumisaste, halkeilemisaste, hilseilyaste, liituamisaste, korroosio ja delaminaatio sekä lankaomainen korroosio. Ruostumisaste kuvataan standardissa ISO 4628-3 asteikoilla R1-R5, jota luetaan samalla tavalla, kuin numeroasteikkoa. [49].

Ruostumisasteen ollessa R2–R3 huoltomaalaus tehdään paikkamaalauksena. Sitä vaikeammissa ruostumisasteissa R4–R5 joudutaan huolto tekemään uusintamaalauksena. [7, s. 5; 13, s. 51.]

4.2 Jauhemaalatun rakenteen hoito

Jauhemaalatun alustan kestävyys kannalta hankalimpia ovat kolhut ja naarmut. Näissä kohdissa epäpuhtaudet pääsevät kontaktiin pintamaalin alla olevien kerrosten kanssa. Rakenteet, jotka sijaitsevat raskaamman teollisuuden tai merenpinnan läheisyydessä ovat erityisesti alttiina voimakkaille epäpuhtauksille, joilla rikkidioksidi- tai kloridiesiintymät ovat suuria. Esimerkiksi katetut rakenteet ovat alttiimpia vauriolle kuin paljaat rakenteet. Tämä johtuu siitä, että tuulen kuljettamat suolat ja muut saasteet saattavat kiinnittyä rakenteen pintaan, jota vesisade ei pysty huuhtomaan pois. Julkisivujen säännöllinen puhdistaminen onkin tärkeä osa jauhemaalatun rakenteen huoltoa ja siten sen käyttöiän maksimoimista.

Jauhemaalattu rakenne tulisi puhdistaa hankaamattomalla pesimellä ainakin puolen vuoden välein, jotta suurilta huoltomaalauksilta välttyttäisiin. Jos pinnat keräävät paljon likaa, on puhdistus hyvä tehdä useammin. Pesuun soveltuvat tavalliset puhdistusaineet, joiden pH-arvo on 5–9. Laajoilta pinnoilta lika voidaan poistaa esimerkiksi painepesurilla käyttämällä emulgoivaa pesuainetta. Pesuaineet eivät saa sisältää hankausaineita eivätkä liuotteita. Mekaanista pesua, johon liittyy harjaus, sekä soveltumattomia ja aggressiivisiä pesuaineita tulisi välttää, koska ne saattavat vaurioittaa maalipintaa. Esimerkiksi ulkotiloissa olevien rakenteiden puhdistukseen voidaan käyttää vettä ja laimeaa pesuainetta kuten ammoniakkia sisältävää emäksistä pesuainetta. Haastavien epäpuhtauksien, kuten likatahrojen, poistoon voidaan käyttää lakkabensiinillä kostutettua kangasta. Pesun jälkeen pinta huuhdellaan huolellisesti runsaalla vedellä ylhäältä alaspäin, jotta pesuainetta ei jää jauhemaalain pintaan. Lopuksi maalipinta vielä kuivataan. Erikoissävyjen, kuten tekstuuri- ja struktuuriefektien, sekä metallisävyisten maalipintojen puhdistuksessa on käytetyn pesuliuoksen soveltuvuus hyvä tarkistaa pienellä alalla ja huomaamattomassa paikassa ennen laajempien pintojen puhdistamista. [6, s. 2; 7; 37; 39; 40].

4.3 Jauhemaalatun pinnan korjausmaalaus

Jauhemaalatut pinnat korjaus- ja huoltomaalataan yleensä nestemaaleilla. Jauhemaalatun rakenteen korjausmaalaus jauhemaalausmenetelmillä on mahdollista, mutta on hyvin hankala ja työläs prosessi ja vain harvoin järkevää esimerkiksi rakennusten tai koneiden tapauksessa. Maalattavat rakenteet tulisi purkaa osiksi ja kuljettaa jauhemaalamaan maalattaviksi ja maalauksen jälkeen koota ja kuljettaa takaisin.

Parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi pinnoitteesta tulisi poistaa ennen maalausta kaikki epäpuhtaudet, kuten suolat, valssihilse, lika ja rasva. Ruoste ja irtoava maali tulee poistaa hiomalla. Puhdistukseen voidaan käyttää samoja pesuaineita kuin edellä kuvattiin huoltopesun yhteydessä. Pesussa voidaan käyttää suurpainesuihkua. [7; 39; 40; 50.] Yleisesti huoltomaalausohjeet suosittelevat pinnan karhentamista hiomalla tartunnan parantamiseksi siten, että pinnasta tulee himmeä. Suositeltuja hiontakarkeuksia ovat P180–P320. Pinnat tulee puhdistaa ja pestä huolellisesti mekaanisen hionnan jälkeen. [7; 39; 40; 50.]

Pinnoitteen vauriokohdat, jotka ulottuvat alustametalliin, pohjamaalataan sopivalla pohjamaalilla. Sävyvaihdon ja pienten naarmujen korjauksen yhteydessä ei pohjamaalin käyttö ole tarpeellista. [7; 39; 40; 50.]

Maalattavat pinnat pyyhitään ohentimella kostutetulla liinalla. Pintamaalaus tehdään soveltuvalla nestemaalilla käyttäen sivellintä tai ruiskua. Alkuperäisen jauhemaalalin valmistaja antaa usein suosituksen sopivista pohja- ja pintamaaleista. [7; 39; 40; 50.]

5 Tutkimusaineisto

Tässä tutkimuksessa arvioidaan teoreettisia syitä tartunnan onnistumiselle tai epäonnistumiselle Niko Kuisminin insinöörityössä [12, s. 55–81] esitettyjen koe- maalausten ja tutkimustulosten pohjalta. Käytetyt maalausmenetelmät, käsitteilyvaiheet ja koemenetelmät on kuvattu yksityiskohtaisesti Kuisminin työssä ja

niitä käsitellään tässä tutkimuksessa vain siltä osin kuin niillä on merkitystä teoreettisen tarkastelun kannalta. Seuraavassa yhteenveto koemaalauksesta ja testauksesta.

Koemaalaukset suoritettiin standardisoiduille Q-panel-teräslevyille (360 kpl). Koemaalauksessa neljällä eri jauhemaalityypillä jauhemaalattut Q-panel-teräslevyt päällemaalattiin kuudella eri nestemaaliyhdistelmällä. Jauhemaalityyppeinä käytettiin sinkkiepoksipolyesteri-, epoksipolyesteri- ja kahta eri polyesterijauhetta. Nestemaaleina käytettiin epoksi-, alkydi-, akrylaatti-, uretaani-alkydi- ja kahta eri polyuretaanimaalia.

Tutkittavia maalausjärjestelmiä oli yhteensä kuusi kappaletta, jotka koostuivat neljästä eri jauhemaalista, kuudesta eri nestemaaliyhdistelmästä sekä neljästä eri jauhemaalattun pinnan esikäsittelystä (sarjasta). Pintamaalaus tehtiin ilman hiontaa ja tartuntapohjamaalausta, hionnalla ilman tartuntapohjamaalausta, tartuntapohjamaalauksella ilman hiontaa ja tartuntapohjamaalauksella hionnan kanssa. Hionta suoritettiin Mirka Oy:n hiontalaitteistolla, jossa käytettiin hionta-verkon karkeutena P-180.

Nestemaalaukset suoritettiin käsin ilma-avusteisella suurpaineruiskulla (airmix) maalausammiossa, jossa ilman lämpötila oli keskimäärin 19 °C ja suhteellinen kosteus keskimäärin 37 %. Vesiohenteiset nestemaalit maalattiin ruiskulla, jonka painesuhde oli 30:1 sekä suutinkoko 0,011 tuumaa. Liutinohteiset nestemaalit maalattiin ruiskulla, jonka painesuhde oli 40:1 sekä suutinkoko 0,013 tuumaa. Nestemaaleja ei ohennettu. Nestemaalauksien jälkeen koelevyt kuivuivat tilassa, jossa ilman lämpötila oli 19,7 °C ja suhteellinen kosteus 24 %. Tartuntapohjamaalattujen levyjen annettiin kuivua maalausammiossa tuoteselosteiden vaatiman ajan verran ennen kuin niiden päälle voitiin päällemaalata eri pintamaaleilla.

Nestemaalauksien ja koelevyjen kuivumisen jälkeen osalta koelevyistä (ns. 0-levyt) tutkittiin tartuntaa hilaristikko- ja veitsikokeella. Lopuista koelevyistä tutkittiin ympäristöolosuhdekestävyyttä standardin SFS-EN ISO 12944-6 mukaisella

kondenssitestillä, jossa koelevyt pidettiin 240 tuntia lämpötilassa 38 ± 2 °C ja suhteellisessa kosteudessa 100 %. Kondenssitestatuille koelevyille suoritettiin myös veitsi- ja hilaristikkokoe. Tutkimuksessa käytettävät jauhemaalit, neste-maalien yhdistelmät sekä sarjat on esitetty alla olevassa taulukossa 2.

Taulukko 2. Maalausjärjestelmät jauhemaalatuille teräslevyille. LO on liuotinhenteinen maali. VO on vesiohenteinen maali. 1K on yksikomponenttinen maali ja 2K on kaksikomponenttinen maali. [12, taulukko 6.]

			Jauhemaalatut teräslevyt			
Maa- lausjär- jes- telmä	Nestemaaliyhdistelmä	levy- määrä	Epoksi- polyes- teri	Sink- kiepok- sipoly- esteri	Poly- es- teri 1	Po- ly- es- teri 2
1	Epoksipohjamaali 1 + Poly- uretaanipintamaali, LO, 2K					
	ei hiontaa, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	hionta, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	hionta, primer, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	primer, pintamaalaus	16	4	4	4	4
2	Epoksipohjamaali 2 + Poly- uretaanipintamaali, LO, 2K					
	ei hiontaa, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	hionta, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	hionta, primer, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	primer, pintamaalaus	16	4	4	4	4
3	Alkydipohjamaali + Ure- taanialkydipintamaali, VO, 1K					
	ei hiontaa, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	hionta, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	hionta, primer, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	primer, pintamaalaus	16	4	4	4	4

4	Akrylaattipintamaali, VO, 1K					
	ei hiontaa, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	hionta, pintamaalaus	16	4	4	4	4
5	Alkydipintamaali, VO, 1K					
	ei hiontaa, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	hionta, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	hionta, primer, pintamaalaus	0				
	primer, pintamaalaus	0				
6	Epoksipohjamaali 3 + Epoksipintamaali, VO, 2K					
	ei hiontaa, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	hionta, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	hionta, primer, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	primer, pintamaalaus	16	4	4	4	4
	Levyjen määrä yhteensä	320	80	80	80	80

6 Koemaalauksen tulokset

6.1 Testitulosten arviointi teorian valossa

Jauhemaalipinnoitteen pintaenergian määrää jauhemaalain kemiallinen koostumus, erityisesti sideaineena käytetty polymeeri. Myös kovettuneessa jauhemaalipinnoitteessa olevat lisäaineet, erityisesti väripigmentit tai muut partikkelit voivat vaikuttaa pinnoitteen pintaenergiaan. Jauhemaalattujen pintojen pintaenergiaa ei yleensä erikseen ilmoiteta, mutta jauhemaalattu pinta voidaan hyvin rinnastaa yleisesti muovipintoihin.

Tässä arvioinnissa käytetään käsittelemättömille jauhemaalialustoille taulukon 4 mukaisia pintaenergioita, jotka perustuvat luvun 3.1 kuvan 3 arvoihin. Itse polymeerien eli sideaineiden pintaenergiat ovat olennaisesti samat, joten tartuntaerot liittyvät jauhemaalialustojen muihin eroihin koostumuksessa ja

ominaisuuksissa, joista muutamia on mainittu taulukossa 3. Ominaisuudet on poimittu maalien tuoteselosteista.

Taulukko 3. Jauhemaalialustojen pintaenergiat [Kerätty kuvasta 3].

Jauhemaalialusta	Pintaenergia (mJ/m ²)	Muita ominaisuuksia
Epoksipolyesteri	43	
Sinkkiepoksipolyesteri	43	Sinkkiä > 50 %
Polyesteri 1	43	TGIC-vapaa
Polyesteri 2	43	TGIC-vapaa

Nestemaalipinnoitteen pintajännitykseen vaikuttavat useat tekijät, kuten lämpötila, liuottimet, lisäaineet ja hartsityypit. Tässä arvioinnissa nestemaalien pintajännitysten esittämiseen käytetään taulukon 4 mukaisia pintaenergioita, jotka on valittu nestemaalien sideaineiden mukaan kuvasta 3. Käytännössä liuotinpohjaisten (LO) nestemaalien pintaenergia-arvot ovat käytetyn liuottimen mukaan todennäköisesti hieman pienempiä. Vastaavasti vesiohenteisten (VO) nestemaalien pintaenergia-arvot voivat olla huomattavasti suurempia aina veden korkeaan pintaenergia-arvoon 73 mJ/m² asti riippuen mahdollisesti käytetyistä, pintajännitystä alentavista lisäaineista. TGIC (Triglysidyyli-isosyanuraatti) on terveydelle haitallinen kovete, jota on käytetty polyesterijauhemaaleissa. TGIC-vapaisissa maaleissa se on korvattu muilla aineilla.

Taulukko 4. Pinta- ja tartuntapohjamaalien pintaenergiat ja ominaisuudet.

			Pinta- energia (mJ/m²)	LO/VO	1K/2K
Maalausjärjestelmä 1	Pinta- maali	Polyuretaani 1	43	LO	2K
	Pohja- maali	Epoksi 1	43	LO	2K
Maalausjärjestelmä 2	Pinta- maali	Polyuretaani 2	43	LO	2K
	Pohja- maali	Epoksi 2	43	LO	2K
Maalausjärjestelmä 3	Pinta- maali	Uretaanialkydi	45	VO	1K
	Pohja- maali	Alkydi 1	45	VO	1K
Maalausjärjestelmä 4	Pinta- maali	Akrylaatti	38	VO	1K
	Pohja- maali				
Maalausjärjestelmä 5	Pinta- maali	Alkydi 3	45	VO	1K
	Pohja- maali				
Maalausjärjestelmä 6	Pinta- maali	Epoksi 3	43	VO	2K
	Pohja- maali	Epoksi 4	43	VO	2K

Tässä tutkimuksessa on oletuksena, että kussakin maalausjärjestelmässä pintamaali ja tartuntapohjamaali ovat yhteensopivia ja niiden välinen tartunta on hyvä. Pintamaali- ja pohjamaalin yhdistelmän veitsikokeissa ja hilaristikkokokeissa ei esiintynyt pintamaalin ja pohjamaalin irtoamista toisistaan, joten ne kertovat ensisijaisesti pohjamaalin tartunnasta jauhemaalialustaan. Näin

voidaan tarkastella yhteensä kymmenen eri nestemaalien tartuntaa erilaisiin jauhemaalialustoihin.

6.2 Tartuntatestitulosten esittäminen

Tartunnan arvioimiseksi jokaisen maalausjärjestelmän 0-levyille ja kondenssitestatuille levyille suoritettiin veitsikoe ja hilaristikkokoe standardin SFS-EN ISO 12944-6 mukaisesti. Lisäksi suoritettiin kondenssitestattujen levyjen arviointi silmä määräisesti standardin SFS-EN ISO 4628 osien 2–5 mukaisesti.

Jokaiselle maalausjärjestelmälle on muodostettu oma taulukko, jossa on esitetty kyseisen maalausjärjestelmän kaikki testitulokset. Hyväksytyjä ja hylättyjä tuloksia on merkitty erilaisilla taustaväreillä tai ikoneilla, jotta erojen havaitseminen olisi helpompaa.

Veitsikokeessa maalipinnoitteeseen viillettiin ristikkäin kaksi viiltoa X-kuvioksi. Veitsen kärkeä työnnettiin jauhemaalipinnan ja nestemaalikalvon väliin ja nostettiin sekä arvioitiin nestemaalikalvon irtoamista jauhemaalipinnasta. Hyvällä tartunnalla maalikalvo ei irtoa ja huonolla irtoaa. Arviointitulokset merkittiin havaitun vaurion mukaisena luokituksena taulukon 5 mukaisesti.






Taulukko 5. Veitsikokeen luokitusten kuvaukset ja merkinnät [12, s. 48].

Kuvaus	Merkintä
Virheetön tulos. Nestemaalikalvoa ei irtoa.	++
Nestemaalikalvoa irtoaa vain pieniä palasia.	+
Nestemaalikalvoa irtoaa melko paljon	-
Nestemaalikalvoa irtoaa suuria alueita.	--

Taulukoissa veitsikokeen arviointitulosta ”++” pidetään hyväksyttynä tuloksena, joka on merkitty valkoisella taustalla. Tulos ”+” on mahdollisesti hyväksyttävissä

erikoismerkinnällä ja korostettu, merkitty vaalean harmaalla taustalla. Hylätyt tulokset "-" ja "- -" on korostettu tumman harmaalla taustalla.

Hilaristikkokokeessa pinnoitteeseen leikattiin ristikkokuvio. Ristikon teon jälkeen pintaa harjattiin kevyesti irtonaisen maalin poistamiseksi. Tämän jälkeen ristikon päälle asetettiin itseliimautuva teippi, joka vedettiin irti ja katsottiin, lähtikö pinnoitetta irtoamaan. Mitä enemmän maalikalvoa ja ruutuja irtosi, sitä huonompi oli tartunta. Pinnoitteen leikattu alue arvioitiin paljaalla silmällä ja luokiteltiin kuvan 11 mukaisesti esimerkkipiirroksiin vertaamalla ensin harjauksen jälkeen ja sitten teipin asettamisen ja poistamisen jälkeen.

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

^a Luvut ovat esimerkkejä hilaristikosta eri luokissa. Ilmoitetut prosenttiosuudet perustuvat kuvien perusteella saatuihin silmämääräiseen vaikutelmaan, eikä samoja prosenttiosuuksia välttämättä saada digitaalisella kuvantamisella..

Kuva 11. Hilaristikkokokeen koetulosten luokittelu [SFS-EN ISO 2409:2020, s. 14].

Taulukoissa hilaristikkokoetuloksissa on ilmoitettu harjauksen jälkeinen ja teipin jälkeinen tulos. Hyväksytyinä tuloksina pidettiin arvoja 0–2. Ne on merkitty täysin tai osittain valkoisilla ympyröillä. Hylätyt tulokset on merkitty mustilla ympyröillä.

Kondenssitestatuissa levyissä virheitä esiintyi vain rakkuloitumisen suhteen. Hyväksytyjä tuloksia olivat kaikki ne, joissa ei esiintynyt lainkaan rakkuloitumista. Jos rakkuloita havaittiin, rakkuloitusaste arvioitiin vertaamalla rakkuloitumista standardin SFS-EN ISO 4628-2:2016 referenssikuvuihin 1–4 [SFS-EN ISO 4628-2:2016, sivut 7–10]. Rakkuloitusaste annetaan ilmoittamalla rakkuloiden määrä (tiheys) ja koko. Esimerkiksi jos pinnoitteessa arvioidaan rakkuloiden määrän olevan 2 ja koon 2 (kuten standardin kuvassa 1 a), rakkuloitusaste ilmoitetaan 2(S2). Taulukoissa kaikki hylätyt eli rakkuloituneet tulokset on korostettu harmaalla taustalla.

6.3 Maalausjärjestelmä 1

Maalausjärjestelmän 1 ominaisuudet on esitetty taulukossa 6. Maalausjärjestelmän 1 pintamaali ja pohjamaali ovat liuotinpohjaisia kansikomponenttimaaleja. Pintamaalin sideaine on polyuretaani ja pohjamaalin epoksi. Ne on nimetty polyuretaani_1 ja epoksi_1 erotuksena muiden maalausjärjestelmien maaleille, joissa on sama sideaine mutta erilainen koostumus. Koska tarkoituksena on arvioida nestemaalin tartuntaa jauhemaalipintaan, pintamaalia ja pohjamaalia tarkastellaan eri nestemaaleina. Maalausjärjestelmien pohjamaalin ja pintamaalin välisen tartunnan oletetaan olevan hyvä.

Taulukko 6. Maalausjärjestelmän 1 ominaisuudet [Taulukosta 4].

			Pinta- energia (mJ/m²)	LO/VO	1K/2K
Maalaus- järjestelmä 1	Pintamaali	Polyuretaani 1	43	LO	2K
	Pohjamaali	Epoksi 1	43	LO	2K

Polyuretaani_1 sisältää liuottimena ksyleeniä, ja kovete on alifaattinen isosyanaattiharts. Myös epoksi_1 sisältää käyttöturvallisuustiedotteen mukaan ksyleeniä.

Taulukkoihin 7 ja 8 on koottu yhteen Kuisminin työstä maalausjärjestelmän 1 veitsi-, hilaristikko- ja kondenssikokeiden koetulokset. Ne kertovat maalausjärjestelmän 1 pinta- ja pohjamaalien tartunnasta erilaisiin jauhemaalipintoihin.

Taulukko 7. Maalausjärjestelmän 1 pintamaalin koetulokset. [12, taulukot 14, 20, 26, 32 ja 38.]

Polyuretaani 1

	0-levy				Kondenssilevy				Veitsikoe				Rakku- loitumis- aste	
	Hilaristikkokoe				Hilaristikkokoe									
	Harjaus		Teippi		Harjaus		Teippi		0-levy		Kondenssi- levy		Kondenssi- levy	
Jauhe- maali		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta
Epoksi- poly- esteri	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0
Sinkki- epoksi- poly- esteri	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0
Poly- esteri 1	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0
Poly- esteri 2	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0

Taulukko 8. Maalausjärjestelmän 1 pohjamaalin koetulokset. [12, taulukot 14, 20, 26, 32 ja 38.]

Epoksi 1

	0-levy				Kondenssilevy				Veitsikoe				Rakku- loitumis- aste	
	Hilaristikkokoe				Hilaristikkokoe								Kondenssi- levy	
	Harjaus		Teippi		Harjaus		Teippi		0-levy		Kondenssi- levy			
Jauhe- maali		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta
Epoksi- poly- esteri	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0
Sinkki- epoksi- poly- esteri	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0
Poly- esteri 1	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0
Poly- esteri 2	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0

Polyuretaani_1:n tartunta oli hyvä kaikkiin jauhemaalipintoihin riippumatta esikä-
sittelystä tai koemenetelmästä. Myös epoksi_1:n tartunta oli hyväksyttävä kaik-
kiin jauhemaalipintoihin kaikissa kokeissa

Rakkuloitumista ei esiintynyt.

6.4 Maalausjärjestelmä 2

Maalausjärjestelmän 2 ominaisuudet on esitetty taulukossa 9. Maalausjärjestel-
män 2 pintamaali ja pohjamaali ovat liuotinpohjaisia kaksikomponenttimaaleja.

Pintamaalin sideaine on polyuretaani ja pohjamaalin epoksi. Ne on nimetty polyuretaani_2 ja epoksi_2 erotuksena muiden maalausjärjestelmien maaleille, joissa on sama sideaine, mutta erilainen koostumus.

Polyuretaani_2 sisältää ksyleeniä liuottimena, mutta vähemmän kuin polyuretaani_1. Kovete on alifaattinen isosyaniittiharts. Myös epoksi_2 sisältää käyttöturvallisuustiedotteen mukaan ksyleeniä.

Taulukko 9. Maalausjärjestelmän 2 ominaisuudet [Taulukosta 4].

			Pinta- energia (mJ/m²)	LO/VO	1K/2K
Maalaus- järjestelmä 2	Pintamaali	Polyuretaani 2	43	LO	2K
	Pohjamaali	Epoksi 2	43	LO	2K

Taulukoihin 10 ja 11 on koottu yhteen Kuismen työstä maalausjärjestelmän 2 veitsi-, hilaristikko- ja kondenssikokeiden koetulokset. Ne kertovat maalausjärjestelmän 2 pinta- ja pohjamaalien tartunnasta erilaisiin jauhemaalipintoihin.

Taulukko 10, Maalausjärjestelmän 2 pintamaalin koetulokset. Hylätyt tulokset on korostettu harmaalla. [12, taulukot 15, 21, 27, 33 ja 39].

Polyuretaani 2

	0-levy				Kondenssilevy				Veitsikoe				Rakku- loitu- mis- aste	
	Hilaristikkokoe				Hilaristikkokoe									
	Harjaus		Teippi		Harjaus		Teippi		0-levy		Kondenssi- levy		Kondenssi- levy	
Jauhe- maali		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta
Epoksi- poly- esteri	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0
Sinkki- epoksi- poly- esteri	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0
Poly- esteri 1	1	0	2	0	1	0	3	0	+	++	+	++	0	0
Poly- esteri 2	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0

Polyuretaani 2:n tartunta epoksipolyesteri-, sinkkiepoksipolyesteri- ja polyesteri 2-alustoihin oli hyvä riippumatta esikäsitteystä tai koemenetelmästä. Samoin veitsikoetulokset olivat virheettömät.

Polyuretaani_2:n tartuntatulos polyesteri 1-alustaan oli heikompi kuin maalausjärjestelmän 1 polyuretaani_1:llä. Hilaristikkokokeissa esiintyi pientä tai merkittävää hilseilyä, kun hiontaesikäsitteystä ei tehty. Tartunta hiomattomaan kondenssilevyyn hylättiin. Veitsikokeissa esiintyi pientä pinnoitteen irtoamista hiomattomien koelevyjen tapauksessa. Kaikki koetulokset antoivat parhaan hyväksyttävän arvon, kun koelevyt oli esikäsitelty hiomalla.

Taulukko 11. Maalausjärjestelmän 2 pohjamaalin koetulokset. Hylätyt tulokset on korostettu harmaalla. [12, taulukot 15, 21, 27, 33 ja 39].

Epoksi 2

	0-levy				Kondenssilevy				Veitsikoe				Rakku- loitumis- aste	
	Hilaristikkokoe				Hilaristikkokoe									
	Harjaus		Teippi		Harjaus		Teippi		0-levy		Kondenssi- levy		Kondenssi- levy	
Jauhe- maali		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta
Epoksi- poly- esteri	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0
Sinkki- epoksi- poly- esteri	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0
Poly- esteri 1	2	1	3	1	5	1	5	1	+	++	+	++	0	0
Poly- esteri 2	2	0	0	2	2	0	2	0	+	++	+	++	0	0

Epoksi_2:n tartunta oli huonompi kuin epoksi_1:n tartunta epoksipolyesterialustaan ja sinkkiepoksipolyesterialustaan eli paras mahdollinen. Tartunta polyesteri_1-alustaan ja polyesteri_2-alustaan oli myös huonompi kuin epoksi_1:llä. Hiomattomat 0-levyt ja kondenssilevyt hylättiin teipin jälkeen hilaristikkokokeessa polyesteri_1-alustan tapauksessa. Kaikki hiotut koelevyt saivat hyväksyttävän tuloksen. Veitsikokeissa esiintyi pientä pinnoitteen irtoamista hiomattomien koelevyjen tapauksessa.

Rakkuloitumista ei esiintynyt.

6.5 Maalausjärjestelmä 3

Maalausjärjestelmän 3 ominaisuudet on esitetty taulukossa 12. Maalausjärjestelmän 3 pintamaali ja pohjamaali ovat vesiohenteisia yksikomponenttimaaleja. Pintamaalin sideaine on uretaanialkydi ja pohjamaalin alkydi. Se on nimetty alkydi_1:ksi erotuksena muiden maalausjärjestelmien alkydimaaleille.

Taulukko 12. Maalausjärjestelmän 3 ominaisuudet [Taulukosta 4].

			Pinta- energia (mJ/m²)	LO/VO	1K/2K
Maalaus- järjestelmä 3	Pintamaali	Uretaanial- kydi	45	VO	1K
	Pohjamaali	Alkydi 1	45	VO	1K

Taulukoihin 13 ja 14 on koottu yhteen Kuisminin työstä maalausjärjestelmän 3 veitsi-, hilaristikko- ja kondenssikokeiden koetulokset. Ne kertovat maalausjärjestelmän 3 nestemaalien tartunnasta erilaisiin jauhemaalipintoihin.

Taulukko 13. Maalausjärjestelmän 3 pintamaalin koetulokset. Hylätyt tulokset on korostettu harmaalla. [12, taulukot 16, 22, 28, 34 ja 40].

Uretaanialkydi

	0-levy				Kondenssilevy				Veitsikoe				Rakkuloitu- misaste	
	Hilaristikkokoe				Hilaristikkokoe									
	Harjaus		Teippi		Harjaus		Teippi		0-levy		Kondenssi- levy		Kondenssi- levy	
Jauhe- maali		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta
Epoksi- poly- esteri	2	1	5	1	2	1	5	2	--	+	--	+	5(S2)	4(S2)
Sinkki- epoksi- poly- esteri	1	1	5	3	1	1	5	4	--	+	--	+	4(S2)	5(S2)
Poly- esteri 1	5	1	5	3	5	1	5	3	--	-	--	-	5(S2)	5(S2)
Poly- esteri 2	1	0	5	1	4	1	5	2	--	+	--	+	5(S2)	5(S2)

0-levyjen hilaristikkokokeessa uretaanialkydi- ja alkydimaalikalvot irtosivat teipin mukana suurina alueina kaikilta hiomattomilta jauhemaalialustoilta. Kondenssi-levyjen hilaristikkokokeessa teipin jälkeen hyväksyttiin vain alkydi_1 maalattuna hiomattomalle epoksipolyesterialustalle.

Hionta paransi tulosta. Uretaanialkydimaali sai hilaristikkokokeessa teipin jälkeen hyväksyttävän tuloksen hiotuilla epoksipolyesteri- ja polyesteri_2-jauhemaalialustoilla, mutta hylättiin myös hiotuille sinkkiepoksipolyesteri- ja polyesteri_1-alustoille maalattuna. Tämä päti sekä 0- että kondenssilevyille.

Taulukko 14. Maalausjärjestelmän 3 pohjamaalin koetulokset. Hylätyt tulokset on korostettu harmaalla. [12, taulukot 16, 22, 28, 34 ja 40].

Alkydi 1

	0-levy				Kondenssilevy				Veitsikoe				Rakkuloitu- misaste	
	Hilaristikkokoe				Hilaristikkokoe									
	Harjaus		Teippi		Harjaus		Teippi		0-levy		Kondenssi- levy		Kondenssi- levy	
Jauhe- maali		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta
Epoksi- poly- esteri	3	1	5	1	2	1	2	2	--	++	-	+	2(S3)	2(S2)
Sinkki- epoksi- poly- esteri	5	1	5	1	4	2	5	3	--	-	--	-	2(S2)	2(S3)
Poly- esteri 1	5	1	5	1	5	2	5	2	--	+	--	-	3(S4)	2(S3)
Poly- esteri 2	3	2	5	2	3	2	4	2	--	+	-	+	2(S3)	2(S2)

Alkydi_1-nestemaali hylättiin hilaristikkokokeessa teipin jälkeen vain hiotulle sinkkiepoksipolyesterikondenssilevylle maalattuna.

Veitsikokeessa kaikki hiomattomat koelevyt hylättiin. Hionnan jälkeen hyväksyttiin uretaanialkydimaali ja alkydi_1-maali epoksipolyesteri- ja sinkkiepoksipolyesterialustoilla.

Molemmilla nestemaaleilla esiintyi runsaasti ja suuria rakkuloita kaikissa koelevyissä.

6.6 Maalausjärjestelmä 4

Maalausjärjestelmän 4 ominaisuudet on esitetty taulukossa 15. Maalausjärjestelmän 4 pintamaali on vesiohenteinen yksikomponenttinen akrylaattimaali. Maalausjärjestelmässä 4 ei ole tartuntapohjamaalia.

Taulukko 15, Maalausjärjestelmän 4 pintamaalin ominaisuudet [Taulukosta 4].

			Pinta- energia (mJ/m²)	LO/VO	1K/2K
Maalaus- järjestelmä 4	Pintamaali	Akrylaatti	38	VO	1K

Taulukkoon 16 on koottu yhteen Kuisminin työstä maalausjärjestelmän 4 veitsi-, hilaristikko- ja kondenssikokeiden koetulokset. Ne kertovat maalausjärjestelmän 4 akrylaattimaalin tartunnasta erilaisiin jauhemaalipintoihin.

Akrylaatin tartuntatulokset olivat hyväksyttävät kaikilla jauhemaalialustoilla, kun niille oli tehty hionta.

Kuitenkin polyesteri_1-jauhemaalina ollessa alustana hiomattomat 0- ja kondenssilevyt hylättiin sekä hilaristikkokokeessa teipin jälkeen että veitsikokeessa.

Sinkkiepoksipolyesterijauhemaalina ollessa alustana hiomaton kondenssilevy hylättiin hilaristikkokokeessa teipin jälkeen ja hyväksyttiin veitsikokeessa erityismerkinnällä.

Sekä hiomattomilla että hiotuilla kondenssilevyillä, jotka oli maalattu sinkkiepoksipolyesterijauhemaalilla, esiintyi runsaasti ja suuria rakkuloita. Muilla jauhemaalilla rakkuloita ei esiintynyt.

Taulukko 16. Maalausjärjestelmän 4 pintamaalin koetulokset. Hylätyt tulokset on korostettu harmaalla. [12, taulukot 17, 23, 29, 35 ja 41.]

Akrylaatti

	0-levy				Kondenssilevy				Veitsikoe				Rakkuloitumisaste	
	Hilaristikkokoe				Hilaristikkokoe									
	Harjaus		Teippi		Harjaus		Teippi		0-levy		Kondenssi-levy		Kondenssi-levy	
Jauhe-maali		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta
Epoksi-poly-esteri	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0
Sinkki-epoksi-poly-esteri	0	0	0	0	0	0	3	1	++	++	+	+	3(S2)	3(S2)
Poly-esteri 1	2	0	5	0	1	0	5	0	-	++	--	++	0	0
Poly-esteri 2	0	0	0	0	1	0	1	0	++	++	++	++	0	0

6.7 Maalausjärjestelmä 5

Maalausjärjestelmän 5 ominaisuudet on esitetty taulukossa 17. Maalausjärjestelmän 5 pintamaali on vesiohenteinen yksikomponenttinen alkydimaali. Se on nimetty alkydi_1:ksi erotuksena muiden maalausjärjestelmien alkydimaaleille.

Maalausjärjestelmässä 5 ei ole tartuntapohjamaalia. Käyttöturvallisuustiedotteen mukaan maali sisältää ksyleeniä.

Taulukko 17. Maalausjärjestelmän 5 pintamaalin ominaisuudet [Taulukosta 4].

			Pinta- energia (mJ/m²)	LO/VO	1K/2K
Maalaus- järjestelmä 5	Pintamaali	Alkydi 2	45	VO	1K

Taulukkoon 18 on koottu yhteen Kuisminin työstä maalausjärjestelmän 5 veitsi-, hilaristikko- ja kondenssikokeiden koetulokset. Ne kertovat maalausjärjestelmän 5 alkydimaalin tartunnasta erilaisiin jauhemaalipintoihin.

Alkydi_2:n tartuntatulokset olivat hyväksyttävät kaikilla jauhemaalialustoilla, kun niille oli tehty hionta.

Sinkkiepoksipolyesterijauhemaalilla ollessa alustana hiomaton 0-levy hylättiin hilaristikkokokeessa teipin jälkeen, mutta kondenssilevyn tulos oli yllättäen hyväksyttävä. Veitsikokeessa hiomattomat 0- ja kondenssilevyt hyväksyttiin varauksella.

Polyesteri_1-jauhemaalilla ollessa alustana hiomattomat kondenssilevyt hylättiin sekä hilaristikkokokeessa teipin jälkeen että veitsikokeessa. Hiottu 0- ja kondenssilevyt hyväksyttiin veitsikokeessa varauksella.

Polyesteri_2-jauhemaalilla ollessa alustana hiomattomat kondenssilevyt hylättiin hilaristikkokokeessa teipin jälkeen, mutta hyväksyttiin varauksella veitsikokeessa. Sekä hiomattomilla että hiotuilla kondenssilevyillä, jotka oli maalattu polyesteri_2-jauhemaalilla, esiintyi runsaasti pieniä rakkuloita. Muilla jauhemaalilla rakkuloita ei esiintynyt.

Taulukko 18. Maalausjärjestelmän 5 koetulokset. Hylätyt tulokset on korostettu harmaalla. [12, taulukot 18, 24, 30, 36 ja 42.]

Alkydi 2

	0-levy				Kondenssilevy				Veitsikoe				Rakkuloitu- misaste	
	Hilaristikkokoe				Hilaristikkokoe									
	Harjaus		Teippi		Harjaus		Teippi		0-levy		Kondenssi- levy		Kondenssi- levy	
Jauhe- maali		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta
Epoksi- poly- esteri	0	0	0	0	0	0	1	1	++	++	++	++	0	0
Sinkki- epoksi- poly- esteri	1	1	3	2	2	0	2	1	+	++	+	++	0	0
Poly- esteri 1	2	1	5	2	2	2	4	2	-	+	-	+	0	0
Poly- esteri 2	0	0	1	0	2	2	4	2	++	++	+	++	5(S2)	4(S2)

6.8 Maalausjärjestelmä 6

Maalausjärjestelmän 6 ominaisuudet on esitetty taulukossa 19. Maalausjärjestelmän 6 pintamaali ja pohjamaali ovat vesiohenteisia kaksikomponenttimaaleja. Molempien sideaine on epoksi. Ne on nimetty epoksi_3:ksi ja epoksi_4:ksi erotuksena muiden maalausjärjestelmien epoksimaaleille.

Taulukko 19. Maalausjärjestelmän 6 ominaisuudet [Taulukosta 4].

			Pinta- energia (mJ/m²)	LO/VO	1K/2K
Maalaus- järjestelmä 6	Pintamaali	Epoksi 3	43	VO	2K
	Pohjamaali	Epoksi 4	43	VO	2K

Taulukoihin 20 ja 21 on koottu yhteen Kuisminin työstä maalausjärjestelmän 6 veitsi-, hilaristikko- ja kondenssikokeiden koetulokset. Ne kertovat maalausjärjestelmän 6 pinta- ja pohjamaalien tartunnasta erilaisiin jauhemaalipintoihin.

Taulukko 20. Maalausjärjestelmän 6 pintamaalin koetulokset. Hylätyt tulokset on korostettu harmaalla. [12, taulukot 19, 25, 31, 37 ja 43.]

Epoksi 3

	0-levy				Kondenssilevy				Veitsikoe				Rakkuloitu- misaste	
	Hilaristikkokoe				Hilaristikkokoe									
	Harjaus		Teippi		Harjaus		Teippi		0-levy		Kondenssi- levy		Kondenssi- levy	
Jauhe- maali		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta
Epoksi- poly- esteri	0	0	5	0	1	0	5	0	-	++	-	++	2(S2)	0
Sinkki- epoksi- poly- esteri	0	0	0	0	0	0	2	0	++	++	++	++	0	0
Poly- esteri 1	5	1	5	2	3	1	5	3	--	-	--	-	3(S2)	2(S2)
Poly- esteri 2	5	0	5	2	4	1	5	2	--	-	--	-	2(S2)	2(S2)

Taulukko 21. Maalausjärjestelmän 6 pohjamaalin koetulokset. Hylätyt tulokset on korostettu harmaalla. [12, taulukot 19, 25, 31, 37 ja 43.]

Epoksi 4

	0-levy				Kondenssilevy				Veitsikoe				Rakkuloitu-	
	Hilaristikkokoe				Hilaristikkokoe								misaste	
	Harjaus		Teippi		Harjaus		Teippi		0-levy		Kondenssi- levy		Kondenssi- levy	
Jauhe- maali		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta		Hionta
Epoksi- poly- esteri	0	0	5	0	5	1	2	2	-	++	--	+	2(S2)	0
Sinkki- epoksi- poly- esteri	0	0	0	0	5	0	5	0	++	++	+	+	0	0
Poly- esteri 1	5	1	5	2	5	1	5	1	--	-	--	-	2(S2)	0
Poly- esteri 2	5	0	5	2	5	1	5	2	--	-	--	-	0	0

Maalausjärjestelmä 6 menestyi selvästi huonoiten. Molemmat epoksimaalit, epoksi_3 ja epoksi_4, olivat tartuntaominaisuuksiltaan hyvin samanlaiset.

Epoksi_3-pinnoitteen tulos sinkkiepoksipolyesterialustalla oli virheetön lähes kaikissa kokeissa sekä hionnalla että ilman hiontaa. Hiomattomien kondenssilevyjen hilaristikkokokeessa teipin jälkeen pinnoite oli hilseillyt urien vieressä ja leikkauskohdissa, mutta tulos oli kuitenkin hyväksyttävä.

Epoksi_3-pinnoitteen tulos hiotuilla epoksipolyesterialustoilla oli virheetön kaikissa kokeissa. Hiomattomien 0- ja kondenssilevyjen hilaristikkokokeessa teipin jälkeen pinnoite oli irronnut laajoina alueina. Samoin hiomattomien levyjen veitsikokeet antoivat hylkäävän tuloksen. Hiomattomilla kondenssilevyillä esiintyi myös jonkin verran pieniä rakkuloita.

Epoksi_4-pinnoite sinkkiepoksipolyesterialustalla irtosi suurina alueina ja hylättiin hiomattomien kondenssilevyjen hilaristikkokokeessa teipin jälkeen. Kondenssilevyjen veitsikoe hyväksyttiin varauksella.

Epoksi_4-pinnoitteen tulos hiotuilla epoksipolyesterialustoilla oli hyväksyttävä kaikissa kokeissa, mutta kondenssilevyissä hyväksytyssä tuloksessa oli hilseilyä urien leikkauskohdissa ja sivuilla. Hiomattomien 0- ja kondenssilevyjen hilaristikkokokeessa teipin jälkeen pinnoite oli irronnut laajoina alueina. Samoin hiomattomien levyjen veitsikokeet antoivat hylkäävän tuloksen. Hiomattomilla kondenssilevyillä esiintyi myös jonkin verran pieniä rakkuloita.

Polyesteri_1- ja polyesteri_2-alustoilla hylättiin hilaristikkokokeessa teipin jälkeen ja veitsikokeessa kaikki hiomattomat epoksi_3- ja epoksi_4-koelevyt, koska pinnoite irtosi suurina alueina. Hiotuilla polyesteri_1- ja polyesteri_2-alustoilla hilaristikkokokeessa saavutettiin hyväksyttävät tulokset, vaikka urien riisteysskohdissa ja reunoilla esiintyi pinnoitteen hilseilyä. Veitsikokeessa hylättiin myös kaikki hiotut levyt.

Epoksi_3-pinnoitteessa, joka oli maalattu polyesteri_1- ja polyesteri_2-alustoille, esiintyi jonkin verran pieniä rakkuloita kaikissa 0- ja kondenssilevyissä.

Polyesteri_1-alustalle maalatussa epoksi_4-pinnoitteessa esiintyi jonkin verran pieniä rakkuloita hiomattomissa kondenssilevyissä.

7 Pohdinta ja johtopäätökset

Testituloksista voidaan selkeästi havaita liuotinhenteisten ja vesiohenteisten nestemaalien merkittävät erot tartunnassa jauhemaalipintoihin.

Maalausjärjestelmissä 1 ja 2, joille saatiin parhaat testitulokset, oli käyttöturvallisuustiedotteiden mukaan käytetty sekä polyuretaanipintamaalissa että epoksi-pohjamaalissa ja niiden kovettimissa liuottimena ksyleeniä. Maalausjärjestelmässä 2 polyuretaanipintamaalissa oli puolet vähemmän ksyleeniä kuin maalausjärjestelmässä 1, mikä saattoi olla syynä hieman huonompaan tartuntaan polyesteri_1-jauhemaalialustalla.

Maalausjärjestelmissä 3 ja 6, joille saatiin huonoimmat testitulokset, olivat sekä pintamaali että pohjamaali puhtaasti vesiohenteisia. Maalausjärjestelmässä 6 pintamaalin ja pohjamaalin sideaineena oli epoksi kuten maalausjärjestelmien 1 ja 2 pohjamaalissakin, jolloin sideaineiden pintaenergiat ovat samat ja voidaan arvioida, että erot tartunnassa samoihin jauhemaalialustoihin voivat johtua pääosin veden käytöstä liuotteena ksyleenin sijasta.

Tämä oli odotettavissa myös teorian valossa, koska veden pintaenergia on noin 73 mJ/m^2 , kun taas orgaanisten liuottimien pintaenergia on alle 40 mJ/m^2 , kuten luvun 3.1 taulukosta 1 voidaan nähdä. Vertailun helpottamiseksi nesteiden pintajännitysarvot on muutettu pintaenergia-arvoiksi. Vesi liuottimena nostaa maalin pintaenergiaa suuremmaksi kuin jauhemaalialustan pintaenergia heikentäen alustan kostumista ja sidosten muodostumista. Orgaaninen liuotin puolestaan laskee maalin kokonaispintaenergiaa, jolloin se saadaan pienemmäksi kuin jauhemaalialustan pintaenergia noin 43 mJ/m^2 , kostuminen paranee ja sidosten muodostuminen helpottuu. Lisäksi orgaaninen liuotin pehmittää jauhemaalint pintaa edistäen edelleen sidosten muodostumista nestemaalint ja jauhemaalint välille tai mahdollistaen nestemaalint polymeerint diffuusion jauhemaalint pintaan.

Vesiohenteisten nestemaalint pintaenergiaa voidaan laskea esimerkiksi apuliuottimella, mikä voi selittää maalausjärjestelmint 3 ja 5 vastakkaisia

tartuntatuloksia. Maalin parempi tartunta voi johtua myös lisäliuottimen kyvystä liuottaa alustan pintaan muodostuneita rasvoja tai epäpuhtauksia, jotka estävät nestemaalin läheisen kontaktin jauhemaalipintaan.

Maalausjärjestelmän 5 vesiohenteinen alkydimaali sisältää käyttöturvallisuustiedotteen mukaan ksyleeniä apuliuottimena, jolloin saavutettiin lähes liuotinohenteisten maalausjärjestelmien 1 ja 2 tartuntatuloksia, vaikka sideaineen alkydin pintaenergia on lähtökohtaisesti korkeampi kuin jauhemaalialustojen.

Vastaavasti maalausjärjestelmän 3 puhtaasti vesiohenteinen pohjamaali, jolla on sideaineena alkydi, sai odotetusti merkittävästi huonommat tulokset ja hylättiin monissa tapauksissa kokonaan.

Maalausjärjestelmän 4 vesiohenteisen akrylaattimaalin tartuntatulos oli lähes liuotinohenteisten maalausjärjestelmien 1 ja 2 luokkaa. Yksi syy tähän voi olla akrylaatin pintaenergia, joka on alhaisempi kuin jauhemaalialustan pintaenergia. Ilmeisesti maalin sisältämä vesi ei nostanut akrylaattimaalin pintaenergiaa alustan pintaenergian yli.

Kokeessa esikäsittelyinä olivat puhdistus paineilmalla sekä hionta. Tuloksista on nähtävissä, että alustan karheuttamisella hiomalla oli merkittävä vaikutus nestemaalin tartuntaan, jos tartunta oli huono tai alentunut hiomattomalla alustalla. Hilaristikkotestissä tulos parani kaikissa testeissä, parhaimmillaan jopa arvosta 5 arvoon 0 ja 1.

Hionta vaikuttaa olevan välttämätön erityisesti vesiohenteisia maaleja käytettäessä.

Testitulosten perusteella myös nestemaalin sideaineen ja jauhemaalialustan sideaineen yhteensopivuudella eli niiden välisten sidosten tyypillä näyttää olevan vaikutusta tartuntaan. Esimerkiksi maalausjärjestelmissä 1 ja 2 polyuretaanin tartunta oli parempi kuin epoksin lähes kaikilla alustoilla, mikä todennäköisesti liittyy erilaisiin sidostyyppeihin. Kuitenkin pinnoitteen muu koostumus, käytetty

liuotin ja nestemaalien pintaenergia suhteessa alustaan näyttävät olevan niin määrääviä, että sidostyyppien vaikutusta on vaikea arvioida.

Polyesteri_1- ja polyesteri_2-jauhemaalit ovat TGIC-vapaita, jolloin terveydelle haitallinen kovete triglysidyyli-isosyanuraatti (TGIC) on korvattu muilla aineilla. Tämä koostumuksen muutos näyttää vaikuttavan jauhemaalien ominaisuuksiin siten, että hyvän tartunnan saavuttaminen ilman hiontaa oli haastavaa kaikilla nestemaaleilla maalausjärjestelmää 1 lukuun ottamatta. Maalausjärjestelmässä 1 oli suurin liuotinmäärä.

Rakkuloitumista kondenssikokeessa esiintyi vain vesiliukoisilla nestemaaleilla. Maalausjärjestelmän 3 kaikki kondenssilevyt hylättiin rakkuloitumisen seurauksena. Maalausjärjestelmässä 4 hylättiin sinkkiepoksipolyesterikoelevyt ja maalausjärjestelmässä 5 polyesteri_2-koelevyt. Maalausjärjestelmässä 6 hylättiin epoksi_3-pintamaalilla maalatut polyesteri_1- ja polyesteri_2-koelevyt sekä hiomattomat epoksipolyesterikoelevyt. Epoksi_4-pohjamaalilla maalatut hiomattomat epoksipolyesterilevyt ja polyesteri_1-levyt hylättiin.

Rakkuloituminen on yhteydessä pinnoitteen ja alustan väliseen tartuntaan. Rakkuloitumisella tarkoitetaan maalikerroksen paikallista tartunnan heikkenemistä, jolloin maali irtoaa alustastaan muodostaen kuplia. Yksi mahdollinen syy rakkuloitumiseen voi olla rasva tai epäpuhtaudet maalattavalla alustalla. Esimerkiksi alustaan jääneet suolat imevät vettä maalikalvon läpi.

Testilevyt puhdistettiin ilmasuihkulla, mutta minkäänlaista pesua ei suoritettu. Tämä on saattanut jättää jauhemaalipinnalle rasvaa ja epäpuhtauksia, mikä on osaltaan saattanut sekä heikentää vesiohenteisten maalien tartuntaa että lisätä niiden rakkuloitumista.

Jauhemaalipinnan pesu rasvan ja epäpuhtauksien poistamiseksi ennen maalausta on tärkeää erityisesti vesiohenteisiä maaleja käytettäessä.

Yleensä muovipintojen ja jauhemaalipintojen huoltopesuun puhdistustarkoituksessa ei suositella aggressiivisiä pesuaineita, hankausaineita tai liuotteita,

koska niiden käyttö voi vaurioittaa vanhaa maalipintaa (esimerkiksi kiillon väheneminen, värinmuutos tai maalin pehmeneminen). Missään tapauksessa ei suositella käytettävän hankaavia puhdistustapoja (pinnan rikkova), kuten mekaanista pesua, johon liittyy harjaus.

Nämä normaalissa pesussa ei-toivotut vaikutukset pinnan ominaisuuksiin ovat kuitenkin osin samoja, joita tavoitellaan maalauksen esikäsitteilyillä. Hankausaineiden tai hankaavien puhdistustapojen käyttö voisi olla mielenkiintoinen vaihtoehto karhentaa vanhaa jauhemaalipintaa. Tällainen pesu saattaisi olla yksinkertainen ja nopea toteuttaa jopa kenttäolosuhteissa eikä pesua ja karhennusta tarvitse tehdä erikseen. Lopputulos olisi todennäköisesti tartunnan kannalta parempi kuin pelkkä pesu. Mukana voi olla myös liuotinaineita pehmittämässä vanhaa maalipintaa. Kirjallisuudessa ei tällaista hiovaa pesuvaihtoehtoa ole esitetty, joten sen toteutuskelpoisuutta tartunnan parantamiseen jauhemaalipintojen huoltomaalauksessa voisi tutkia.

8 Yhteenveto

Testituloksista voidaan selkeästi havaita liuotinhenteisten ja vesiohenteisten nestemaalien merkittävät erot tartunnassa jauhemaalipintoihin. Parhaat tulokset saavutettiin liuotinhenteisillä maaleilla ja orgaanista liuotinta apuliuottimena käyttävillä vesiohenteisillä maaleilla. Veden korkea pintajännitys nostaa maalin pintaenergiaa suuremmaksi kuin jauhemaalialustan pintaenergia heikentäen alustan kostumista ja sidosten muodostumista. Orgaaninen liuotin puolestaan laskee maalin kokonaispintaenergiaa, jolloin kostuminen paranee ja sidosten muodostuminen helpottuu. Lisäksi orgaaninen liuotin pehmittää jauhemaalipintaa edistäen edelleen sidosten muodostumista nestemaalipintaan ja jauhemaalipintaan. Alustan karheuttamisella hiomalla oli merkittävä vaikutus nestemaalipintaan. Hionta vaikuttaa olevan välttämätön vesiohenteisiä maaleja käytettäessä, jotta voidaan kompensoida korkeaa pintajännitystä. Myös huolellinen pesu ennen maalausta on tärkeää, sillä jauhemaalipinnalle jääneet rasva ja epäpuhtaudet voivat heikentää erityisesti vesiohenteisten maalipintojen tartuntaa ja

lisätä niiden rakkuloitumista. Mielenkiintoinen jatkotutkimuksen aihe olisi hionnan ja pesun yhdistäminen käyttämällä hankausaineita tai hankaavia puhdistustapoja vanhan jauhemaalipinnan karhentamiseen. Tällainen yhdistetty pesu ja karhennus saattaisi olla yksinkertainen ja nopea toteuttaa myös kenttäolosuhteissa.

Lähteet

- 1 SFS-EN 4618:2014. Maalit ja lakat. Termit ja määritelmät. Suomen Standardisoimisliitto.
- 2 Why Acrylic Powder Coatings are Superior for Vehicle Application. 2018. Verkkoaineisto. <<https://medium.com/@psaminc/why-acrylic-powder-coatings-are-superior-for-vehicle-application-55c1e71b17c1>>. Luettu 11.12.2020.
- 3 Jauhemaalalaus. Verkkoaineisto. Teollisuusmaalaamo VTM OY. <<https://vtm.fi/pintakasittely/jauhemaalalaus-pulverimaalaus/>>. Luettu 30.11.2020.
- 4 Posti, Janne. 2014. Inter-coat adhesion of powder coating. Master`s theses. Aalto University.
- 5 Jauhemaalalaus. Verkkoaineisto. Teräsrakenneyhdistys ry. <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/154/ac8d2e4/try_jauhemaalauksen_perusteet.pdf>. Luettu 22.11.2020.
- 6 Huolto-ohje – Jauhemaalautut julkisivuverhoustuotteet. 2012. Verkkoaineisto. Ruukki Construction Oy. <<https://www.ruukki.com/docs/default-source/b2b-documents/facades/joint-folder/huolto-ohje-jauhemaalautut-julkisivuverhoustuotteet.pdf?sfvrsn=2637269705806170000>>. Luettu 1.12.2020.
- 7 Maalipinnoitettu GreenCoat®-teräs; huolto-ohjeet. Verkkoaineisto. Ruukki Construction Oy. <https://www.ruukki.com/docs/default-source/b2b-documents/facades/joint-folder/ruukki-maalipinnoitetut-terakset-huolto_ohje.pdf?sfvrsn=2637269705799570000>. Luettu 1.12.2020.
- 8 Historia. Verkkoaineisto. Teknos Oy. <<https://www.teknos.com/fi-FI/tietoa-meista/historia/>>. Luettu 17.11.2020.
- 9 Teknos strategia. 2015–2019. Verkkoaineisto. Teknos Oy. <<https://www.teknos.com/fi-FI/tietoa-meista/teknos-strategia-2019-2025/>>. luettu 17.11.2020.
- 10 Teknos maailmalla ja yhteystietomme. Verkkoaineisto. Teknos Oy. <<https://www.teknos.com/fi-FI/teollisuus/teknos-maailmalla/>>. Luettu 17.11.2020.

- 11 Teknos lähikuvassa. Verkkoaineisto. Teknos Oy. <https://www.teknos.com/globalassets/teknos.fi/tietoa-meista/teknos_lahikuvassa.pdf>. Luettu 17.11.2020.
- 12 Kuusmin, Niko. 2021. Jauhemaalattujen teräspintojen maalaus nestemäällä. Insinööritö, Metropolian Ammattikorkeakoulu, Bio- ja kemiantekniikka. Theseus-tietokanta.
- 13 Korroosionestomaalauksen käsikirja. 2013. Verkkoaineisto. Teknos Oy. <https://www.teknos.com/globalassets/teknos.fi/teollisuuteen/aineisto/fi_korroosionestomaalauksen_kasikirja_2013.pdf>. Luettu 25.11.2020.
- 14 Korroosionestomaalit. Verkkoaineisto. Teräsrakenneyhdistys ry. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/155/aeca931/try_korroosionestomaalit.pdf>. Luettu 15.12.2020
- 15 European Coatings Handbook, 2nd revised edition. 2010. Ebook. Vincentz Network GmbH & Co KG.
- 16 Failure Analysis of Paints and Coatings, Revised Edition, John Wiley & Sons Ltd, 2009.
- 17 Laitinen, Kai. 2017. Korroosionestomaalaus ja kuumaupotus. Luentoaineisto. Metropolia.
- 18 Metallipintojen teollinen maalaus. 2015. Verkkoaineisto. Tikkurila Oy. <<https://www.yumpu.com/fi/document/read/38867566/metallipintojen-teollinen-maalaus-pdf-tikkurila>>. Luettu 26.11.2020
- 19 Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) liuottimia käyttävässä pintakäsittelyssä. SUOMEN YMPÄRISTÖ 23 | 2008. Verkkoaineisto. Suomen ympäristökeskus SYKE. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38357/SY_23_2008.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Luettu 12.12.2020
- 20 SFS-EN 12944-5:2019. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 5: Suojamaaliyhdistelmät. Suomen Standardisoimisliitto.
- 21 Maalaustyö ja välineet. Verkkoaineisto. Teräsrakenneyhdistys ry. <www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/158/77c35fd/try_maalaustyö_ja_valineet.pdf>. Luettu 14.12.2020.
- 22 Jokinen Isto, Kuusela Asko, Nikkari Tapani, 2012. Pinnalla 2 - Metallituotteiden maalaus. Opetushallitus.

- 23 INFRALIT EP/PE 8087-30. 2019. Tuoteseloste. Teknos Oy.
<https://www.teknos.com/document/tds/fi_8087-30_4.pdf>. Luettu 16.12.2020.
- 24 Powder Coatings: Chemistry and Technology, 3rd Revised Edition. 2012. Vincent Network.
- 25 SFS-EN 12944-1:2017. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 1: Yleistä. Suomen Standardisoimisliitto.
- 26 SFS-EN 12944-2:2017. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Suomen Standardisoimisliitto.
- 27 SFS-EN 8501-1:2007. Teräspintojen esikäsittely ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Osa 1: Teräspintojen ruostumisasteet ja esikäsittelyasteet. Maalaamattomat teräspinnat ja aiemmista maaleista kauttaaltaan puhdistetut teräspinnat. Suomen Standardisoimisliitto.
- 28 SFS 8501-2:2001. Teräspintojen esikäsittely ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Osa 2: ennestään pinnoitetun teräksen esikäsittelyasteet sen jälkeen, kun aikaisemmat pinnoitteet on poistettu paikoittain. Suomen Standardisoimisliitto.
- 29 Achieving Superior Adhesion of Coatings. 2020. Prospector Knowledge Center. Verkkoaineisto. <<https://knowledge.ulprospector.com/11212/pc-achieving-superior-adhesion-of-coatings/>>. Luettu 8.1.2021.
- 30 Theory of Adhesion and its Practical implication – A Critical Review, Journal of Faculty of Engineering & Technology, 2007–2008, s. 21–45.
- 31 SFS EN 19403-1:2017. Paints and varnishes. Wettability. Part 1: Terminology and general principles. Suomen Standardisoimisliitto.
- 32 A Guide to Providing Perfect Coating Adhesion. 2019. Verkkoaineisto. Prospector Knowledge Center. <<https://knowledge.ulprospector.com/10127/pc-a-guide-to-providing-perfect-coating-adhesion/>>. Luettu 10.1.2021.
- 33 Adhesion in Paints and Coatings. Verkkoaineisto. SpecialChem. <<https://coatings.specialchem.com/coatings-properties/adhesion>>. Luettu 12.1.2021.

- 34 Surface Energy. 2018. Verkkoaineisto. 3M. <<https://industrialcommunity.3m.com/blog/author/jmerchant/>>. Luettu 15.1.2021
- 35 R. A. Ryntz. 1994. Coating adhesion to low surface free energy substrates. *Progress in Organic Coatings* 25 (1994) 73–83. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0300944094005036>>. Luettu 14.1.2021.
- 36 Wei, Hongyu & Xia, Jun & Zhou, Wanlin & Zhou, Laishui & Hussain, Ghulan & Li, Qin & Ostrikov, Kostua. 2020. Adhesion and cohesion of epoxy-based industrial composite coatings. *Composites Part B* 193 (2020) 108035, Elsevier. <<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108035>>. Luettu 14.1.2021.
- 37 Jauhemaalattujen pintojen huolto. 2013. Verkkoaineisto. Teknos Oy. <https://www.teknos.com/globalassets/teknos.fi/teollisuuteen/aineisto/fi_jauhemaalattujen_pintojen_huolto_2013.pdf>. Luettu 17.1.2021.
- 38 BASF Handbook on Basics of Coating Technology, 2nd Revised Edition. 2007. BASF Coatings AG.
- 39 Technical Requirements for Cleaning and Maintenance of Powder coatings and plastic coatings. Verkkoaineisto. ALM Products Ltd. <https://www.almproducts.co.uk/media/document/Technical_Requirements_for_Cleaning_and_Maintenance_of_Powder_Coatings_2016.pdf>. Luettu 19.1.2021.
- 40 Powder coating cleaning and maintenance. 2016. Verkkoaineisto. BOS GmbH Best Of Steel. <https://www.bestofsteel.de/fileadmin/media_bos_global/user_upload/Powder_coating_cleaning_and_maintenance_JS.pdf>. Luettu 21.1.2021.
- 41 The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, Volume 6, 2011, s. 75–76. Verkkoaineisto. <http://dm.henkel-dam.com/is/content/henkel/LT-2197_Plastic%20Guide_v6%20LRpdf>. Luettu 22.1.2021.
- 42 Plasmakäsittely - Pinnan muokkaus plasmalla. Verkkoaineisto. Diener electronic. <http://www.foxy.fi/PDF/Esite_Plasma.pdf>. Luettu 20.1.2021.
- 43 Adhesive Bonding of Polyolefin. 2013. Verkkoaineisto. Techsil Ltd. <https://www.techsil.co.uk/media/wysiwyg/Blog-PDFs/White-Papers/Polyolefin_Bonding_white_paper.pdf>. Luettu 23.1.2021.
- 44 Guidelines for Using Polyolefin Adhesion Promoters. Chempoint. <<https://www.chempoint.com/insights/eastman-polyolefin-adhesion-promoters-how-to-use>>. Luettu 25.1.2021.

- 45 Adhesion Promoters: Adhesion Basics & Material Selection Tips for Adhesives. Verkkoaineisto. SpecialChem. <<https://adhesives.specialchem.com/selection-guide/adhesion-promoters-adhesives-sealants>>. Luettu 26.1.2021.
- 46 Schellekens, Mike & Twene, Derrick & van der Waals, Adri. 2011. Block copolymers for waterborne coatings—A novel eco-friendly approach for improved coating adhesion to untreated polypropylene-based plastics. Progress in Organic Coatings 72 (2011), s. 138–143.
- 47 Waterborne, Non-Chlorinated Modified Polyolefin Adhesion Promoters. Verkkoaineisto. Advanced Polymer Inc. <https://digital.bnp-media.com/publication/?m=12020&i=670990&view=articleBrowser&article_id=3744970&ver=html5>. Luettu 27.1.2021.
- 48 Huoltoohje: Maalipinnoitetut ohutlevyteräkset. Verkkoaineisto. Ruukki. <https://www.taloon.com/media/wysiwyg/tp/ruukki-maalipinnoitetut-terakset-huolto_ohje.pdf>. Luettu 25.1.2021.
- 49 SFS-EN 4628-1:2016 Maalit ja lakat. Pinnoitteiden huononemisen arviointi. Yleisten virhetyyppien esiintymisen voimakkuuden, määrän ja koon merkintä. Osa 1: Yleistä ja merkintäjärjestelmä.
- 50 INFRALIT polyesterijauhemaalilla maalattujen kohteiden uudelleenmaalaus TEKNODUR 0130/0190:llä. 2012. Verkkoaineisto. Teknos.