



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Aki Saarnio

Uuden teknologian korroosionestopigmenttien toimivuus teollisissa korroosionestomaaleissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pinnoitetekniikka

Insinöörityö

3.5.2021

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Aki Saarnio Uuden teknologian korroosionestopigmenttien toimivuus teollisissa korroosionestomaaleissa 68 sivua + 11 liitettä 3.5.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	Materiaali- ja pinnoitetekniikka
Ohjaajat	Vanhempi tutkija Petri Ronkainen Yliopettaja Kai Laitinen
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia kahden sinkkivapaan korroosionestopigmentin toimivuutta verrattuna sinkkifosfaattiin teollisessa korroosionestomaalissa. Työ tehtiin Vantaalla sijaitsevalle Tikkurila Oyj:lle, metalliteollisuuden tutkimus- ja tuotekehityksen tiloissa.</p> <p>Insinööriyön teoriaosassa käsiteltiin työssä käytettyjen korroosionestomaalien ja -pigmenttien kemioita ja vaikutustapoja. Koestus osiossa esitettiin maalin valmistusta ja testausta, maalausta sekä rasiustestejä. Työn tuloksissa esiteltiin hilaristikko-, vetokoe-, kondenssi- ja suolasumukokeiden tuloksia ja arviointeja. Pigmenttien toimivuutta arvioitiin lopuksi tuloksien perusteella.</p> <p>Sinkkivapaiden korroosionestopigmenttien todettiin toimivan vaihtelevasti riippuen maalityypistä. Insinööriyön avulla saatiin kuitenkin selvitettyä uudenlaisten korroosionestopigmenttien toimivuutta teollisissa korroosionestomaaleissa. Tulosten pohjalta voidaan tulevaisuudessa tarkemmin suunnitella sinkkivapaiden korroosionestopigmenttien testausta.</p>	
Avainsanat	maalit, korrosio, korroosionestopigmentit, sinkkifosfaatti

Author Title Number of Pages Date	Aki Saarnio Functionality of New Technology Anti-corrosion Pigments in Industrial Anti-corrosion Paints 68 pages + 11 appendices 3 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Materials Technology and Surface Engineering
Instructors	Petri Ronkainen, Senior Researcher Kai Laitinen, Principal Lecturer
<p>The purpose of this engineering thesis was to test the functionality of two zinc-free anti-corrosion pigments compared to zinc phosphate in industrial anti-corrosion paints. The thesis was done for Tikkurila Oyj in Vantaa, in the research and product development facilities of metal industry.</p> <p>The theoretical part of the engineering thesis addresses the chemistry and modes of action of the anti-corrosion paints and pigments. The testing part presented paint manufacturing and testing, painting and stress tests. Results and evaluations of cross-cut, pull-off, condensation and salt spray tests are presented in the Results chapter. Finally, the performance of the pigments was evaluated on the basis of the results.</p> <p>Zinc-free anti-corrosion pigments were found to work variably depending on the type of paint. However, the functionality of new types of anti-corrosion pigments in industrial anti-corrosion paints was clarified with the help of thesis. On the basis of the results, testing of zinc-free anti-corrosion pigments can be planned in more detail in the future.</p>	
Keywords	paints, corrosion, anti-corrosion pigments, zinc phosphate

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Korroosionestomaalien toiminta	1
2.1	Korroosion syntyminen	1
2.2	Korroosio ilmastossa, vedessä ja maassa	5
2.3	Korroosion estäminen maalauksella	7
2.4	Epoksimaalit	8
2.5	Polyuretaanimaalit	10
3	Korroosionestopigmentit	12
3.1	Sinkkifosfaatti	13
3.2	Sinkkivapaat korroosionestopigmentit	15
3.2.1	Muokatut ortofosfaatit	15
3.2.2	Muokatut polyfosfaatit	17
4	Koemateriaalit	19
4.1	Maalit	19
4.1.1	Valmistus	20
4.1.2	Maalien märkäominaisuudet ja varastointi	23
4.2	Koelevyt	25
4.2.1	Esikäsittely	26
4.2.2	Maalaus	29
5	Maaliyhdistelmien testaaminen	33
5.1	Hilaristikkokoe	33
5.2	Vetokoe	34
5.3	Kondenssitesti	35
5.4	Suolasumukoe	36
6	Epoksi- ja polyuretaanimaalien testien tulokset ja arvioinnit	43

6.1	Märkäominaisuuksien sekä varastoinnin tulokset ja arvioinnit	43
6.2	Maalipinnoitteiden vauriot	47
6.2.1	Kondenssilevyjen vauriot	48
6.2.2	Suolasumulevyjen vauriot	50
6.3	Hilaristikkokokeiden tulokset ja arvioinnit	54
6.3.1	0-levyjen hilaristikkokokeiden tulokset ja arvioinnit	55
6.3.2	Kondenssilevyjen hilaristikkokokeiden tulokset ja arvioinnit	55
6.3.3	Suolasumulevyjen hilaristikkokokeiden tulokset ja arvioinnit	57
6.4	Vetokokeiden tulokset ja arvioinnit	58
6.4.1	0-levyjen vetokokeiden tulokset ja arvioinnit	58
6.4.2	Kondenssilevyjen vetokokeiden tulokset ja arvioinnit	59
6.4.3	Suolasumulevyjen vetokokeiden tulokset ja arvioinnit	61
6.5	Epoksi- ja polyuretaanimaalien toimivuus tulosten perusteella	63
7	Yhteenveto	64
	Lähteet	66
	Liitteet	
	Liite 1. EP1-koelevyjen testitulokset	
	Liite 2. EP2-koelevyjen testitulokset	
	Liite 3. EP3-koelevyjen testitulokset	
	Liite 4. EP4-koelevyjen testitulokset	
	Liite 5. EP5-koelevyjen testitulokset	
	Liite 6. PUR1-koelevyjen testitulokset	
	Liite 7. PUR2-koelevyjen testitulokset	
	Liite 8. PUR3-koelevyjen testitulokset	
	Liite 9. PUR4-koelevyjen testitulokset	
	Liite 10. PUR5-koelevyjen testitulokset	
	Liite 11. EP- ja PUR-valumalevyjen tuloksia	

Lyhenteet ja käsitteet

Adheesio	Tartunta
DFT	Dry Film Thickness eli kuivakalvon paksuus
EP	Vesiohenteinen epoksimaali
NDFT	Nominal Dry Film Thickness eli nimellinen kuivakalvonpaksuus, jolla saavutetaan vaadittava kestävyys
Korroosioinhibiitti	Aine, joka estää ja vähentää korroosiota
PUR	Liutinohenteinen polyuretaanimaali
Tiksotropia	Ominaisuus, jolloin aineen viskositeetti vähenee sekoitettaessa
WFT	Wet Film Thickness eli märkäkalvonpaksuus

1 Johdanto

Maaliteollisuudessa pyritään koko ajan korvaamaan ja vähentämään haitallisia aineita maaleista, jotta ne olisivat enemmän ympäristö- ja käyttäjäystävällisempiä ilman, että niiden ominaisuudet muuttuisivat. Tikkurila Oyj:lle kestävä kehitys on tärkeässä osassa yrityksen toimintaa ja se pyrkii tarjoamaan asiakkaille ympäristöystävällisempiä tuotevaihtoehtoja, oli kyse sitten kuluttaja-, ammattilais- tai teollisuustuotteista.

Insinööriyön tavoitteena oli testaamisen ja vertaamisen perusteella löytää teollisten korroosionestomaalien sisältöön vaihtoehtoja, joilla tuetaan kestävä kehitystä ja saavutetaan ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja asiakkaille. Työn perusteella pystytään myös arvioimaan uuden teknologian korroosionestopigmenttien käyttöä ja toimivuutta teollisissa korroosionestomaaleissa.

Tämän työn kirjallisessa osassa käsitellään korroosionestomaaleja, erityisesti epoksi- ja polyuretaanimaaleja, sekä korroosionestopigmenttejä. Työssä esitetään myös koestusvaiheen eri osia maalinvalmistuksesta lähtien, tuloksia ja niiden arviointia sekä päätelmiä arviointien pohjalta.

2 Korroosionestomaalien toiminta

2.1 Korroosion syntyminen

Korroosionestomaaleilla on tarkoitus suojata metallien pintaa korroosiolta. Korroosio on metallien syöpymistä, joka heikentää metallisten rakenteiden ominaisuuksia. Lähtökohteisesti syy korroosiolle löytyy metallien jalostuksesta. Metallien jalostus vaatii runsaasti energiaa, joka valmistuksen aikana sitoutuu metalliin. Tämä sitoutunut energia pyrkii vapautumaan, jotta metallin energiamäärä palaisi luonnolliselle tasolle ja olisi mahdollisimman alhainen. [1, s. 1.]

Metallien korroosio perustuu galvaanisten paikallisparien eli korroosioparien syntyseen. Nämä parit voivat muodostua saman metallin rakenne- tai pintaeroista, mutta

myös kahden eri metallin liitoskohdassa. Näiden lisäksi tarvitaan myös sähköä johtava liuos eli elektrolyytti, joka on yleisimmin vesi. Kuvassa 1 on esitetty metallien jalousjärjestys 25 °C:n merivedessä. [1, s. 1.]

Jalompi metalli (katodi)
Platina
Kulta
Hopea
Ruostumaton teräs
Nikkeli
Monel (2/3 Ni, 1/3 Cu)
Alumiinipronssi
Kupari
Messinki
Tina
Lyijy
Valurauta, saostamaton
Teräs, vähän saostettu
Hiiliteräs, valssattu
Kadmium
Alumiini
Sinkki
Magnesium
Epäjalompi metalli (anodi)

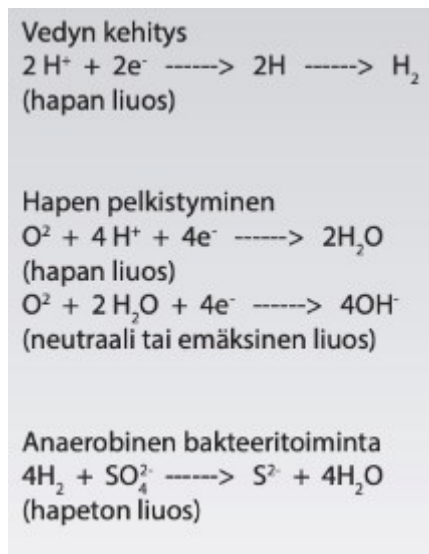
Kuva 1. Metallien jalousjärjestys 25 °C:n merivedessä [1, s. 1].

Galvaanisessa paikallisparissa epäjalompi metalli muodostaa anodin ja jalompi metalli katodin. Anodi ja katodi ovat elektrodeja. Korroosioreaktion aikana anodi syöpyy ja katodi säilyy. Tämän reaktion nopeuteen vaikuttavat anodin ja katodin jännite-ero ja ympäristöolosuhteet. [1, s. 1.] Korroosioreaktio tapahtuu, kun metalleihin sitoutunut energia vapautuu hapettumalla, joka on elektronien luovuttamista. Kaavassa 1 on raudan hapettumisen reaktio. [2, s. 21.]



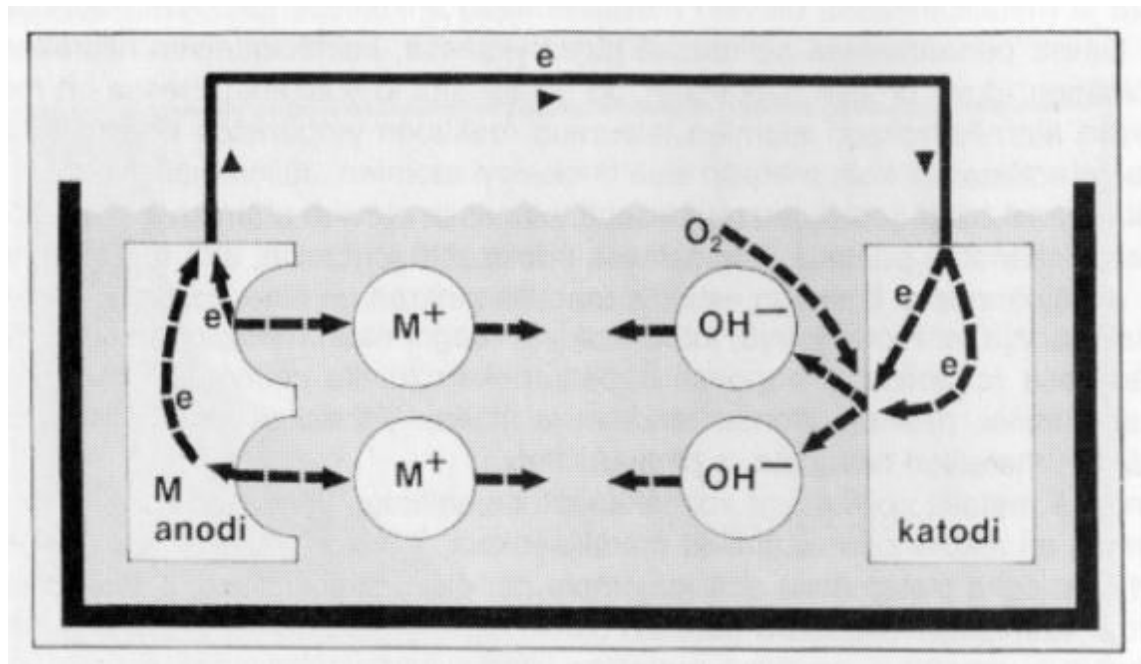
Kaavassa 1 tapahtuu raudan hapettuminen, jossa rauta luovuttaa elektroneja ja muuttuu vesiliukoisiksi Fe^{2+} -rautaioneiksi. Hapettumisessa vapautuneet ylimääräiset elektronit kulutetaan pois pelkistysreaktioissa, joissa vastaanotetaan elektroneja, jotta reaktio jatkuu. [2, s. 21.] Kuvassa 2 on esitetty näitä pelkistysreaktioita, joita on olemassa

lukuisia. Tässä on esitetty tavallisimmat pelkistymisreaktiot, joita ovat hapen ja vedyn pelkistysreaktiot.



Kuva 2. Raudan pelkistymisreaktioita vesiliuoksissa [1, s. 1].

Jos anodin ja katodin välillä on sähköä johtava yhteys eli sähköjohdin ja ne ovat samassa elektrolyytissä, muodostuu korroosiokenno. Tämä kenno muodostaa virtapiirin, jossa kulkee sähkövirta. Sähkövirran suuruus vaikuttaa anodin syöpymisnopeuteen; mitä suurempi sähkövirta on, sitä nopeammin anodin syöpyminen tapahtuu. [2, s. 22–23.] Kuvassa 3 on esitetty korroosiokenno.

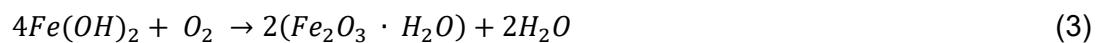


Kuva 3. Korroosiokenno [2, s. 23].

Korroosiokenno toimii anodin ja katodin välisen jalouseron takia, joka on esitetty kuvan 1 galvaanisessa jännitesarjassa. Metallilla on aina korroosiokennon kolme osaa: anodi, katodi ja sähköjohdin. Aikaisemmin mainittuna elektrolyytinä voi toimia esimerkiksi merivesi tai tiivistyvä kosteus. Kaavan 1 mukaisessa hapettumisessa syntyy Fe²⁺ -rautai-
oneja, jotka reagoivat jonkun toisen aineen kanssa tuottaen korroosiotuotteita. Kaavassa 2 on esitetty rauta (II) hydroksidien syntyminen. [2, s. 22, 26.]



Kaavassa 3 rauta (II) hydroksidi reagoi hapen kanssa muodostaen hydratoitunutta rauta (III) oksidia eli ruostetta [2, s. 26].



Ruosteeseen johtava korroosio on yleisintä ilmassa, vedessä tai maassa.

2.2 Korroosio ilmastossa, vedessä ja maassa

Korroosioreaktio voi tapahtua ilmassa, vedessä ja maassa. Ilmastollisessa korroosiossa metallin pintaa täytyy peittää elektrolyyttikalvo, esimerkiksi vesisateesta, jotta korroosiota tapahtuisi. Metallipinnan kosteutta kutsutaan märkäajaksi, kun se on kostea tietyn ajanjakson ollen altis ilmatilakorroosiolle. Useille metalleille löytyy kriittinen suhteellisen kosteuden arvo, jonka yläpuolella korroosio kiihtyy. [1, s. 2.] Kriittinen kosteus esimerkiksi teräkselle on 60–70 % [3, s. 45]. Syöpyymisen alettua korroosion jatkumiseen vaadittu kosteuspitoisuus voi olla alhaisempi. Teräksen pinnalla ollessa kloridipitoisia suoja syöpyminen voi tapahtua jopa alle 40 %:n ilman suhteellisessa kosteudessa. [1, s. 2.]

Lämpötilan kasvu nopeuttaa metallin korroosiota. Veden jäätymispisteen alapuolella korroosio on erittäin vähäistä tai olematonta. Epäpuhtaalla pinnalla korroosiota voi kuitenkin tapahtua, vaikka oltaisiin hiukan veden jäätymispisteen alapuolella, koska monet suolat alentavat elektrolyytin, eli veden, jäätymispistettä. [1, s. 2.]

Myös ilman epäpuhtaudet nopeuttavat metallin korroosiota. Kaksi tärkeintä epäpuhtautta ovat kloridit ja rikkidioksidi. Rannikolla kloridit ovat peräisin merivedestä ja sisämaassa esimerkiksi maantiesuolasta. Rikkidioksidi on peräisin lähinnä rikkipitoisista polttoaineista. Ilman kosteuden kanssa rikkidioksidi muodostaa rikkihappoa, joka muuttuu metallin pinnalla sulfaatti-ioneiksi. Näiden ionien vaikutusmekanismi vaihtelee metalleittain. [1, s. 2.]

Vedessä korroosion nopeuteen vaikuttaa hapen siirtyminen metallipinnalle. Jos siirtyminen on hidasta, korroosionopeus on hidasta. Hapen siirtymiseen vaikuttaa veden happipitoisuus, virtausnopeus, lämpötila, liuenneet suolat ja biologinen toiminta. Luonnon vesissä korroosionopeus on suurin merivesissä. [1, s. 2.]

Maassa korroosio on äärimmillään samantapaista kuin ilmassa tai vedessä. Maaperässä syövyttävänä ympäristönä toimii heterogeeninen ja huokoinen ympäristö. [1, s. 2.]

Standardissa SFS-EN ISO 12944–2 on lueteltu ilmastoympäristöt, jotka on luokiteltu kuuteen ilmatilakorroosiovaikutusluokkaan [4, s. 9]. Nämä on esitetty taulukossa 1.

Taulukossa 1 on myös esitetty standardin SFS-EN ISO 12944–1 mukaiset kestävyysluokat. Kestävyys on tekninen arvio, joka antaa suuntaa korroosionkestävyydestä. [5, s.10.]

Taulukko 1. Ilmatilakorroosiovaikutusluokat ja kestävyysluokat [4, s. 9; 5, s.10].

Ilmatilakorroosiovaikutusluokat		Kestävyysluokat	
C1	hyvin lievä korroosiovaikutus	Alhainen (L)	7 vuoteen saakka
		Kohtalainen (M)	7–15 vuotta
		Korkea (H)	15–25 vuotta
		Erittäin korkea (VH)	yli 25 vuotta
C2	lievä korroosiovaikutus	Alhainen (L)	7 vuoteen saakka
		Kohtalainen (M)	7–15 vuotta
		Korkea (H)	15–25 vuotta
		Erittäin korkea (VH)	yli 25 vuotta
C3	kohtalainen korroosiovaikutus	Alhainen (L)	7 vuoteen saakka
		Kohtalainen (M)	7–15 vuotta
		Korkea (H)	15–25 vuotta
		Erittäin korkea (VH)	yli 25 vuotta
C4	ankara korroosiovaikutus	Alhainen (L)	7 vuoteen saakka
		Kohtalainen (M)	7–15 vuotta
		Korkea (H)	15–25 vuotta
		Erittäin korkea (VH)	yli 25 vuotta
C5	hyvin ankara korroosiovaikutus	Alhainen (L)	7 vuoteen saakka
		Kohtalainen (M)	7–15 vuotta
		Korkea (H)	15–25 vuotta
		Erittäin korkea (VH)	yli 25 vuotta
CX	äärimmäinen korroosiovaikutus	Alhainen (L)	7 vuoteen saakka
		Kohtalainen (M)	7–15 vuotta
		Korkea (H)	15–25 vuotta
		Erittäin korkea (VH)	yli 25 vuotta

Vesi- ja maaperäkorroosiolle pätevät eri rasitusluokat. Näissä korroosio on luonteeltaan paikallista ja täten korroosioluokat ovat vaikeasti määriteltävissä. [4, s. 10.]

2.3 Korroosion estäminen maalauksella

Metallien pintoja maalaamalla pyritään suojaamaan metallipintoja korroosiolta sekä samalla antaa maalauskohteelle haluttu ulkonäkö. Tätä kutsutaan korroosionestomaalaukseksi. Korroosionestomaalaus perustuu maalikalvon kykyyn estää korroosiota. Maalikalvo korroosionestomaaleissa sisältää korroosionestopigmenttejä tai katodisen suojan antavia pigmenttejä. Myös maalikalvon tiiviys ja tarttuvuus maalattavaan alustaan vaikuttaa korroosion syntymiseen. Korroosion syntymiseen vaikuttaa usein edellä mainittujen seikkojen yhdistelmä. [1, s. 3.]

Maalauksen avulla korroosiota estetään estämällä katodireaktio tai anodireaktio, tai aikaansaamalla suuri vastus korroosioparin virtapiiriin. Katodireaktio estetään, kun happea ja vettä ei pääse katodille. Maalikalvo toimii eristäjänä hidastamalla veden ja hapen kulua maalikalvon läpi. Maalikalvon paksuutta lisäämällä tai käyttämällä levymäisiä pigmenttejä voidaan parantaa korroosionesto-ominaisuuksia. Katodireaktion estää myös sinkkiä sisältävät korroosionestopigmentit. Sinkki-ionit saostuvat sinkkihydroksidiksi katodipinnoille ja estävät katodireaktion. [1, s. 3.]

Anodireaktio pysäytetään estämällä rautaionien liukeneminen anodilla. Tämä on saavutettavissa esimerkiksi maalaamalla maalilla, joka mahdollistaa katodisen suojauksen. Maalin täytyy sisältää runsaasti rautaa epäjalompia johtavia pigmenttejä, kuten esimerkiksi sinkkiä. Anodireaktio voidaan pysäyttää myös anodisella inhiboinnilla. Anodisella inhiboinnilla tarkoitetaan sitä, että aktiiviset korroosionestopigmentit ottavat osaa sekaoksideista koostuvan anodialueiden suojakerroksen muodostumiseen. Korroosionestopigmentit suojaavat korroosiolta myös saostamalla anodialueelle yhdisteitä, jotka eivät läpäise rautaioneja. Tällainen korroosionestopigmentti on esimerkiksi erittäin yleisessä käytössä oleva sinkkifosfaatti. Sinkkifosfaatti voi toimia sekä anodisena että katodisena korroosionestopigmenttinä. [1, s. 3.]

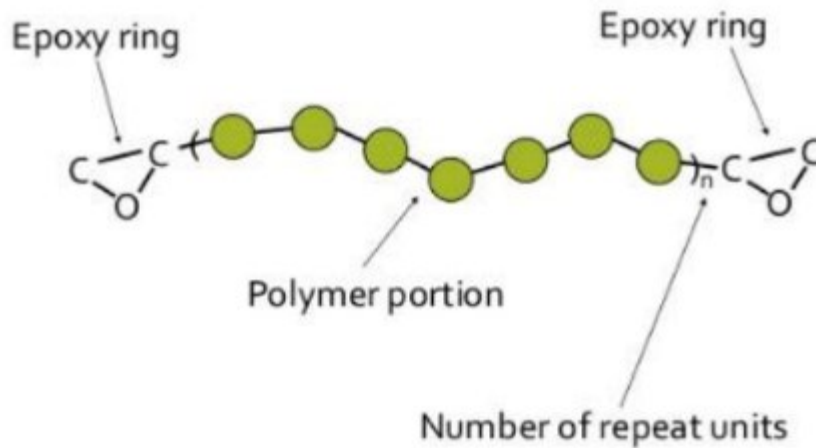
Sähkövirran kulun estämisessä maalikalvon täytyy muodostaa riittävän suuri vastus korroosioparin välissä kulkevalle sähkövirralle. Tällaisissa maaleissa korroosionesto perustuu ionien kulkeutumisen estämiseen korroosioparin välillä, ja näitä maaleja käytetään erityisesti estämään korroosiota vesi- ja maapotuksissa. [1, s. 3.]

2.4 Epoksimaalit

Epoksimaalit ovat kaksikomponenttisia maaleja. Maaliosa sisältää epoksihartsia. Epoksihartsia on yleensä kiinteää liuoteohenteisissa maaleissa ja nestemäistä vesiohenteisissa maaleissa. Koveteosa voi koostua polyamiinista, polyamidista, amiiniadduktista tai amidiadduktista. Eri kovetteilla voidaan säädellä maalien ominaisuuksia. Maaliosa ja koveteosa sekoitetaan toisiinsa määrättyssä suhteessa, esimerkiksi 1:1. Sekoituksen jälkeen epoksimaalilla on rajoitettu käyttöaika eli pot-life. [1, s. 37.] Vesiohenteisissa epoksimaaleissa maaliosa voi koostua amiineista ja koveteosa epoksista helpomman valmistamisen takia.

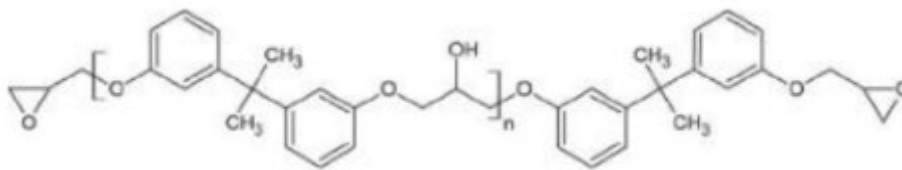
Epoksimaalit ovat kemiallisesti kovettuvia maaleja. Tämä tarkoittaa sitä, että maalikalvo muodostuu kemiallisessa reaktiossa, jossa sideaine verkkoutuu ja sen molekyylikoko kasvaa. Maalikalvon muodostuminen alkaa liuottimien tai veden haihtumisella. Muodostunut maalikalvo ei ole termoplastinen, joten se ei pehmenne lämmössä, eikä myöskään liukene liuotteisiin. [1, s. 34.]

Epoksimaaleja pystytään muokkaamaan eri tarkoituksia varten. Ennen muokkaamisessa käytettiin kivihiilitervaa, mutta nykyisin käytetään erilaisia hartseja kivihiilitervan työterveydellisten haittojen takia [1, s. 37]. Epoksihartsit koostuvat epoksirenkaista ja polymeeriosasta (kuva 4) [6, s. 53].



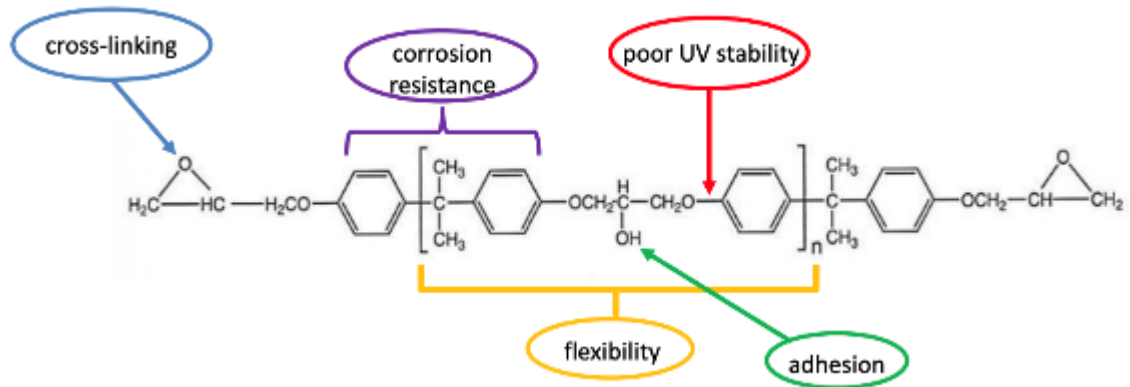
Kuva 4. Epoksihartsin rakenne [6, s. 53].

Epoksihartsit perustuvat useimmiten bisfenoli A:n (DGEBA) diglysidyyliettereihin (kuva 5), jotka ovat epikloorihydriinin ja bisfenoli A:n reaktiotuote. Yleisimpiä kovetusaineita ovat polyamiinit, esimerkiksi trietyleenitriamiini (TETA). [6, s. 54.]



Kuva 5. Bisfenoli A:n diglysidyylietteri [6, s. 55].

Kuvassa 6 on esitetty epoksihartsin eri ominaisuuksia sen rakenteessa, kuten esimerkiksi silloittamista, josta johtuu tiivis maalikalvo, korroosionkestävyyttä ja adheesiota [6, s. 56].



Kuva 6. Epoksihartsin ominaisuuksia [6, s. 56].

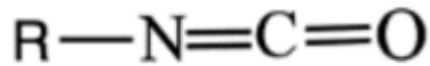
Epoksimaalit ovat kulutuksenkestävyydeltään hyviä, koska niiden maalikalvot ovat kovia ja kimmoisia. Myös niiden adheesio metallipintoihin on hyvä. Tämän vuoksi epoksimaaleja käytetään laajasti kemikaalirasitukseen ja mekaaniseen rasitukseen joutuvilla metallipinnoilla, sekä betonipinnoilla, rasitusluokissa C3, C4, C5-M ja C5-L. [1, s. 37.] Epoksimaaleilla on erittäin hyvä sähköneristysominaisuudet, mutta huono UV-kestävyys [6, s. 57].

2.5 Polyuretaanimaalit

Polyuretaanimaaleja on olemassa vesi- ja liuotinhenteisina, yksi- ja kaksikomponenttisina. Teollisuuden korroosionestomaaleissa käytetään kuitenkin kaksikomponenttisiä polyuretaanimaaleja. Kaksikomponenttisten polyuretaanimaalien maaliosa muodostuu yleensä akryyli-, polyesteri-, polyeetteri- tai epoksihartsista, joissa on reaktiivisia hydroksyyli ryhmiä. Polyuretaani muodostuu, kun maaliosa reagoi koveteosan kanssa. Koveteosa voi olla aromaattinen tai alifaattinen isosyanaatti. Aromaattisia kovetteita käytetään kuitenkin vain sisäkohteissa, koska alifaattisilla kovetteilla saadaan säänkestäviä ja kellastumattomia maaleja. Kuten epoksimaaleillakin, maaliosan ja koveteosan sekoituksessa on tietty sekoitussuhde ja pot-life. [1, s. 40.]

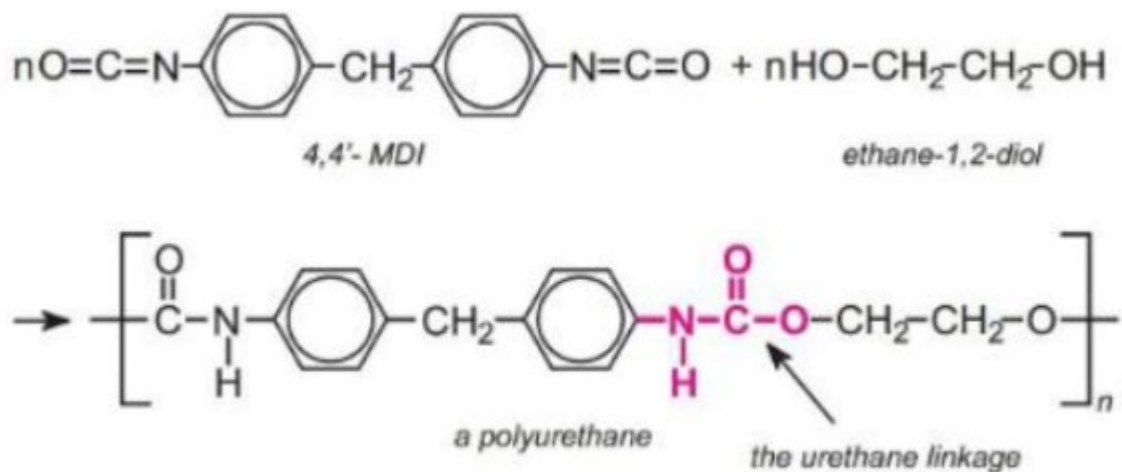
Koveteosan isosyanaattiryhmä (kuva 7) voi olla aromaattinen tai alifaattinen. Aromaattinen yhdiste on syklinen yhdiste, ja alifaattinen yhdiste ei ole syklinen yhdiste. Syklisessä yhdisteessä hiiliatomit muodostavat renkaan. Aromaattinen yhdiste voi olla esimerkiksi

tolueenidi-isosyanaatti (TDI) ja alifaattinen voi olla isoforonidi-isosyanaatti (IPDI). Isosyanaatit ovat reaktiivisia useiden nukleofiilien, kuten alkoholien, fenolien, amiinien ja veden, kanssa. Di-isosyanaatit koostuvat kahdesta isosyanaattiryhmästä. [6, s. 48.]



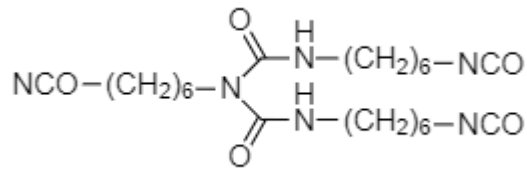
Kuva 7. Isosyanaatti-ryhmä. R voi olla aromaattinen tai alifaattinen yhdiste [6, s. 48].

Isosyanaatin reagoidessa alkoholin kanssa muodostuu uretaaniryhmä. Di-isosyanaatit voivat reagoida yhdisteen kanssa, joka sisältää kaksi tai useampia hydroksyyliiryhmiä. Näitä ovat esimerkiksi diolit ja polyolit. Molemmat ovat alkoholeja, mutta dioleilla on kaksi hydroksyyliiryhmää ja polyoleilla on useampia hydroksyyliiryhmiä. [7.] Di-isosyanaatin ja diolin reaktiossa syntyy polyuretaania (kuva 8) [6, s. 50].



Kuva 8. Aromaattisen metyleenidifenyylidi-isosyanaatin reaktio etyleeniglykolin eli etaani-1,2-diolin kanssa. Reaktiossa syntyy polyuretaania, jossa purppuralla värillä on esitetty muodostunut uretaanisidos. [6, s. 50; 7.]

Teollisissa korroosionestomaaleissa käytetään alifaattista heksametyleenidi-isosyanaattimonomeerin (HDI) polymerisoituja isosyanaatteja, kuten HDI-biureettia (kuva 9) ja HDI-isosyanuraattia. Nämä polymerisoidut isosyanaatit sisältävät epäpuhtautena erittäin pieniä määriä myrkyllistä monomeeria. [8.] Di-isosyanaatit voivat aiheuttaa yliherkkyssairauksia, kuten esimerkiksi astmaa. Herkistymisen tarkkaa pitoisuutta ei kuitenkaan tiedetä, mutta jo hyvinkin pienet di-isosyanaattipitoisuudet voivat aiheuttaa oireita. [9.]



Kuva 9. Polymerisoitu HDI-biureetti, jota käytetään paljon metalliteollisuuden alifaattisena isosyanaattina [8].

Polyuretaaneilla on kuitenkin hyviä ominaisuuksia, joiden takia sitä kannattaa käyttää, kuten naarmuuntumattomuus ja kovuus suhteessa elastisuuteen matalissa ja korkeissa lämpötiloissa, nopea kuivuminen ja kemiallinen kestävyys sekä hyvä tarttuvuus useimpiin alustoihin. Polyuretaanimaaleja voidaan käyttää useissa kohteissa vaihtamalla kovetetta, mutta teollisuuskohteissa sitä käytetään erityisesti lattiapinnoitteissa ja korroosionestomaaleissa, kuten epoksimaalejakin. [6, s. 52.]

3 Korroosionestopigmentit

Nykyisin käytössä oleva sinkkifosfaatti on yleisimmin käytössä oleva korroosionestopigmentti. Tätä ennen on kuitenkin käytetty lyijymönjää ja sinkkikromaatteja korroosionestossa. Lyijymönjää Pb_3O_4 on käytetty antiikin ajoista aina nykypäivään asti sen kemiallisen, mekaanisen ja sähkökemiallisen ruosteenestokyvyn takia. Vaihtoehtona lyijymönjälle markkinoille julkaistiin sinkkikromaattimaaleja 1950-luvulla. Julkaistut sinkkikromaattimaalit olivat lyijymönjämaalien tasoisia korroosionestossa. Lyijymönjä- ja sinkkikromaattimaaleja käytetään kuitenkin nykypäivänä erittäin harvinaisissa tilanteissa niiden aiheuttamien ympäristöhaittojen ja terveysriskien vuoksi. [10.]

Korroosionestoinhibiitit reagoivat ympäristön tai suojattavan metallipinnan kanssa muodostamalla korroosiosuojauksen [11, s. 24]. Kuten luvussa 2.3 on esitetty, korroosionestopigmentit estävät katodisen tai anodisen reaktion, tai sähkövirran kulun korroosioparin virtapiirissä. Korroosionestoinhibiitit jaetaan yleisesti anodisiin, katodisiin ja sekainhibiitteihin, jotka ovat pääsääntöisesti pigmenttejä, yleisnimityksenä korroosionestopigmenttejä. [1, s. 3; 11, s. 24–25.] Nykyisin käytetyt korroosionestopigmentit ovat suurilta osin

sinkkipitoisia, mutta markkinoille on kuitenkin julkaistu uusia sinkkivapaita korroosionestopigmenttejä, joissa korroosionesto ei enää perustu sinkkiin.

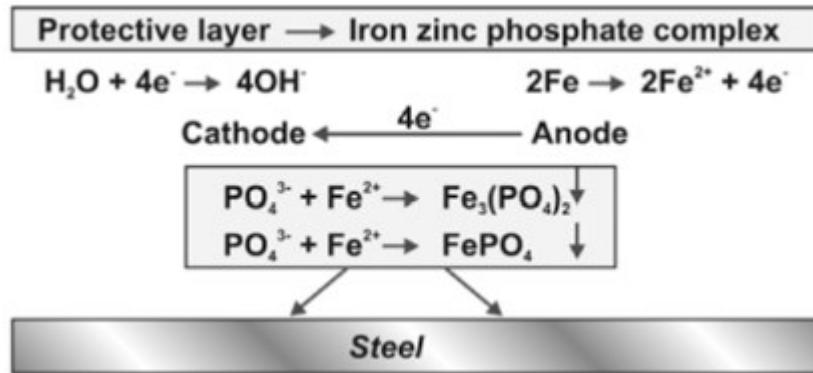
3.1 Sinkkifosfaatti

Sinkkifosfaatti on ortofosfaateista yleisimmin käytetty korroosionestopigmentti. Ortofosfaateissa fosfaattiryhmään on kiinnittynyt kationi, jolla pystytään muokkaamaan pigmentin korroosiosuojauksen tehoa. Sinkkifosfaatissa fosfaattiryhmään on kiinnittynyt sinkkikationi Zn^{2+} . [11, s. 28.]

Sinkkifosfaattia tuotetaan saostamalla liukoisia sinkkisuoloja vesiliukoisessa fosfaatissa. Tästä syntyy sinkkifosfaatti tetrahydraattia (kaava 4). Sinkkifosfaatti tetrahydraattia kuumentamalla $110\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen saadaan sinkkifosfaattidihydraattia (kaava 5). [11, s. 29; 12, s. 77.]



Sinkkifosfaatti toimii sekä katodisena että anodisena korroosionestopigmenttinä teräspinnoilla [11, s. 29]. Kuvassa 10 on esitetty sinkkifosfaatin toiminta metallipinnalla. Korrosioreaktion alkaessa rauta hapettuu ja hapettumisreaktiossa vapautuneet elektronit pelkistyvät. Hapettumisessa syntyy Fe^{2+} -rautaioneja. Sinkkifosfaatin fosfaatti-ionien PO_4^{3-} kanssa reagoiessaan rautaionit muuntuvat rauta (II) fosfaatiksi $Fe_3(PO_4)_2$ ja rauta (III) fosfaatiksi $FePO_4$. Molemmat rautafosfaatit hidastavat ja estävät metallin hapettumisreaktiota anodilla. Sinkkifosfaatin sinkki-ionit reagoivat hydroksidi-ionien kanssa muodostaen sinkkihydroksidia. Rautafosfaatit ja sinkkihydroksidi muodostavat suojakerroksia metallipinnan anodialueille estäen ruostumista. [11, s. 29; 12, s. 78; 13, s. 215.]



Kuva 10. Fosfaatin reaktiot liukenevalla rautametallipinnalla [12, s. 78].

Sinkkifosfaatin suorituskyky teräspinnalla perustuu reagoimiseen epäorgaanisten ionien tai maalien sideaineiden karboksyyliyhymien kanssa, missä syntyy kompleksihappoja. Nämä hapot reagoivat korroosiotuotteiden kanssa estäen rautahydroksidin $\text{Fe}(\text{OH})_2$ syntymistä sekä parantaen metallipinnan ja pinnoitteen välistä adheesiota. Sinkkifosfaatti toimii myös maalien sideaineissa, joissa ei ole karboksyyliyhymiä, liukenemalla veteen ja kulkeutumalla metallipinnalla. [11, s. 29; 12, s. 78; 13, s. 215.]

Sinkkifosfaatti ei toimi tasaisesti kaikissa olosuhteissa. Se on niukkaliukoinen ja liukenee parhaiten alhaisilla pH-arvoilla. Neutraalilla pH-alueella sinkkifosfaatti on lähes liukene maton. Sinkkifosfaatti toimii parhaiten hiukan happamissa olosuhteissa, mutta pH:n kasvaessa sinkkifosfaatin korroosionestokyky heikkenee huomattavasti. Sinkkifosfaatin toimintakyky korreloi vahvasti myös pigmentin rakenteen, partikkelikokojakauman ja pigmentin dispergoituvuuden kanssa. [11, s. 29; 12, s. 78; 13, s. 215.]

Sinkkifosfaattia käytettäessä pitää ottaa huomioon siihen liittyvät käsittelymääräykset. Sinkkifosfaatti on vuodesta 2000 luokiteltu ympäristölle vaaralliseksi ja erittäin vaaralliseksi vesieliöille. Sinkkifosfaatti hävitetään vaarallisena jätteenä ja sen pääsyä ympäristöön estetään. Tämä ilmaistaan kuvan 11 symbolilla. [13, s. 229.]



Kuva 11. Ympäristölle vaarallisten aineiden symboli [14].

Maaleissa sinkkifosfaatin pitoisuus vaihtelee korroosionestomaalien ominaisuuksien ja käyttökohteiden perusteella. Nykyiset pitoisuudet korroosionestomaaleissa ovat 1–10 painoprosentin välillä. Maaleihin sekoitettuna sinkkifosfaatti on ympäristölle ja vesieliöille vaarallista. [15.]

3.2 Sinkkivapaat korroosionestopigmentit

3.2.1 Muokatut ortofosfaatit

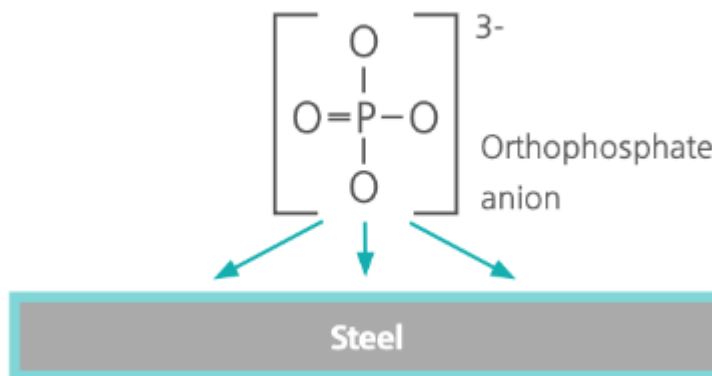
Sinkkifosfaatilla on monia korroosionestopigmenteille toivottavia ominaisuuksia, mutta se ei silti mahdollista lyijy- ja kromaattipigmenttien tasoista korroosiosuojaa. Tämän takia on keskitytty kehittämään paranneltuja ortofosfaatteja. Ortofosfaatteja on paranneltu modifioimalla pigmenttiä muilla funktionaalisilla ryhmillä, erilaisilla anioneilla, orgaanisilla pintakäsittelyillä tai hyödyntämällä synergisiä vuorovaikutuksia eli sekoittamalla pigmenttiä muihin epäorgaanisiin korroosiota estäviin aineisiin. [12, s. 78; 13, s. 215–216.]

Taulukossa 2 on esitetty erilaisia muokkauksia, joita ortofosfaateille on tehty [12, s. 79].

Taulukko 2. Ortofosfaatteihin perustuvat korroosionestopigmentit. Sinkkivapaissa fosfaateissa muokkauksia on tehty muuttamalla kationeja esimerkiksi kalsiumfosfaatilla ja/tai magnesiumfosfaatilla. Sinkkivapaissa fosfaattisilikaateissa muokkauksia on tehty vaihtamalla kationeja esimerkiksi kalsiumfosfaattisilikaatilla, bariumfosfaatilla ja strontiumfosfaatilla. [12, s. 79.]

Pigment	Modification
Zinc aluminium phosphates	with aluminium phosphate ^[83-85]
Basic zinc phosphates	contains basic contents (e.g. zinc hydroxide) ^[83, 84]
	with different organic compounds treated ^[83, 86]
	with zinc molybdate and/or calcium molybdate ^[73, 86, 88]
	with basic zinc borate ^[73, 86]
	with iron phosphate ^[89]
	with calcium phosphate ^[88]
	with potassium phosphate ^[84]
	with barium phosphate ^[88]
	with aluminium phosphate and zinc molybdate ^[90]
	with inorganic compounds treated ^[86]
Zinc-free phosphates	altering the cations e.g. with calcium phosphate and/or magnesium phosphate ^[91, 92]
Zinc phosphate silicates	with calcium silicate and strontium phosphate ^[90, 91, 93]
	with barium phosphate ^[94]
	with calcium carbonate ^[95]
	with different organic compounds treated ^[91, 94]
Zinc-free phosphate silicates	variation of the cations, e.g. with calcium phosphate silicate ^[94]
	with barium phosphate ^[94]
	with strontium phosphate ^[94]

Kuvassa 12 on esitetty sinkkivapaan ortofosfaatin toiminta metallipinnalla [16].



Kuva 12. Sinkkivapaan ortofosfaatin toiminta metallipinnalla. Sinkkivapaa ortofosfaatti muodostaa anodille fosfaattisia passivaatiokerroksia fosfaatti-ionien reagoiessa rautaionien kanssa. Muokattuun ortofosfaattiin kiinnittynyt kationi, esimerkiksi kalsium, saostuu reagoiessa hydroksidi-ionien kanssa muodostaen kalsiumhydroksidia. Kalsiumhydroksidi ja fosfaatit muodostavat suojakerroksia anodialueille. [16.]

Sinkkivapailla ortofosfaateilla ei ole samanlaisia käsittelymääräyksiä kuin sinkkifosfaateilla. Suositeltavat pitoisuudet korroosionestomaaleissa sinkkivapailla ortofosfaattipigmenteillä on suurin piirtein samat kuin sinkkifosfaateilla. [15.]

3.2.2 Muokatut polyfosfaatit

Muokatut polyfosfaatit ovat vielä seuraava askel eteenpäin muokatuista ortofosfaateista. Ortofosfaatit valmistetaan käyttämällä ortofosforihapon reaktiota emäksisten ja/tai amfoteeristen aineiden kanssa. Valmistetuista ortofosfaateista saadaan polyfosfaatteja kondensoimalla happamia ortofosfaatteja korkeammassa lämpötiloissa. [12, s. 80; 13, s. 217.]

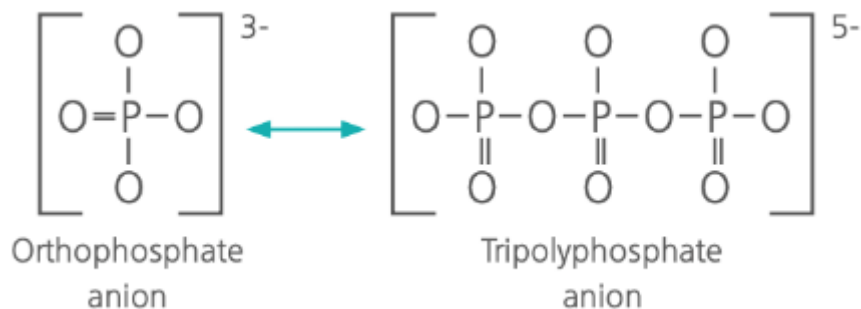
Suurin osa polyfosfaateista ovat happaman alumiinitripolyfosfaatin reaktiotuotteita sinkkiin, kalsiumiin, magnesiumiin ja strontiumiin perustuvien yhdisteiden kanssa. Polyfosfaattien kehitys on keskittynyt happaman alumiinitripolyfosfaatin ja metalli-ionien korkeaan kelaatin muodostumiskykyyn. Kelaatin muodostumisessa metalli-ioni muodostaa metallikompleksin alumiinitripolyfosfaatin molekyylien kanssa. Kelaatiossa metallikationit viedään reaktioon tai poistetaan kokonaan. [12, s. 80; 13, s. 217.]

Taulukossa 3 on esitetty tripolyfosfaatteihin perustuvia korroosionestopigmenttejä [13, s. 218].

Taulukko 3. Tripolyfosfaatteihin perustuvat korroosionestopigmentit. Sinkkivapaissa alumiini-fosfaateissa muokkauksia on tehty strontiumfosfaatilla, kalsiumsilikaatilla, magnesiumfosfaatilla sekä osittain bariumfosfaatilla ja käsitellyillä epäorgaanisilla yhdisteillä. [13, s. 218.]

Product	Modification
Zinc aluminum phosphates	with aluminum phosphate partly with calcium silicate partly with strontium chromate partly with silicon dioxide partly with differently treated organic compounds
Zinc-free aluminum phosphates	with strontium phosphate with calcium silicate with magnesium phosphate partly with barium phosphate partly with treated inorganic compounds

Kuvassa 13 on esitetty orthofosfaatti- ja tripolyfosfaattianioni [16].



Kuva 13. Tripolyfosfaatin toiminta. Polyfosfaattikalvot laskeutuvat metallipinnalle stabiloiden metallikationeja kelatoivalla vaikutuksella poistaen ioneja. Tämän jälkeen polyfosfaatti disosioituu takaisin ortofosfaatiksi ja muodostaa suojakerroksia anodialueille fosfaattien ja hydroksidin ansiosta. [16.]

Aivan kuten sinkkivapailla ortofosfaateilla, sinkkivapailla polyfosfaateilla ei ole samanlaisia käsittelymääräyksiä kuin sinkkifosfaatilla. Suositeltavat pitoisuudet

korroosionestomaaleissa sinkkivapailla polyfosfaattipigmenteillä ovat myös suurin piirtein samat kuin sinkkifosfaatilla. [15.]

4 Koemateriaalit

4.1 Maalit

Uusia sinkkivapaita pigmenttejä testattiin kahdessa erilaisessa maalissa, vesiohenteisessa epoksissa ja liuotinohteisessa polyuretaanissa. Näitä molempia tehtiin viisi tuotetta. Yksi molemmista oli referenssimaali, joka tehtiin alkuperäisen kaavan mukaan sisältäen sinkkifosfaattia. Lopuissa maaleissa käytettiin kahta eri sinkkivapaita pigmenttiä kahdessa eri pitoisuudessa. Maalit on nimetty ja esitetty pitoisuuksineen taulukossa 4. Pigmentti A on muokattu polyfosfaatti kalsium-alumiini-polyfosfaatti-silikaatti-hydraatti. Pigmentti B on muokattu ortofosfaatti kalsium-magnesium-ortofosfaatti.

Taulukko 4. Maalien, pigmenttien ja pitoisuuksien nimeäminen.

Vesiohenteinen epoksi	Liuotinohteinen polyuretaani	Pigmentti	Pitoisuus
EP1	PUR1	Sinkkifosfaatti	1
EP2	PUR2	Pigmentti A	1
EP3	PUR3	Pigmentti A	2
EP4	PUR4	Pigmentti B	1
EP5	PUR5	Pigmentti B	2

Työssä käytetyt sinkkivapaat korroosionestopigmentit ovat painoltaan kevyempiä kuin sinkkifosfaatti eli sinkkivapaiden pigmenttien tiheys on pienempi. Pitoisuuksissa 1 pigmenttejä on painoprosenteina saman verran kuin referenssimaaleissa. Pitoisuuksissa 2 pigmenttejä on tilavuusprosentteina saman verran kuin referenssimaaleissa.

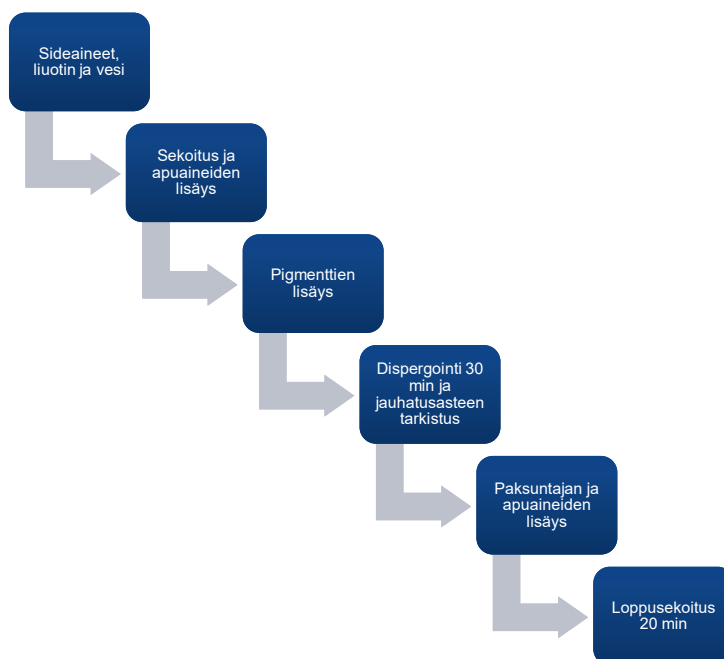
4.1.1 Valmistus

Maalien valmistus tehtiin Tikkurila Oyj:n metalliteollisuuden tutkimus- ja tuotekehityksessä. Vesiohenteista epoksimaalia valmistettiin neljän litran erissä ja liuotinhohteista polyuretaanimaalia kolmen litran erissä. Maalit valmistettiin kuvan 14 dissolverilla.



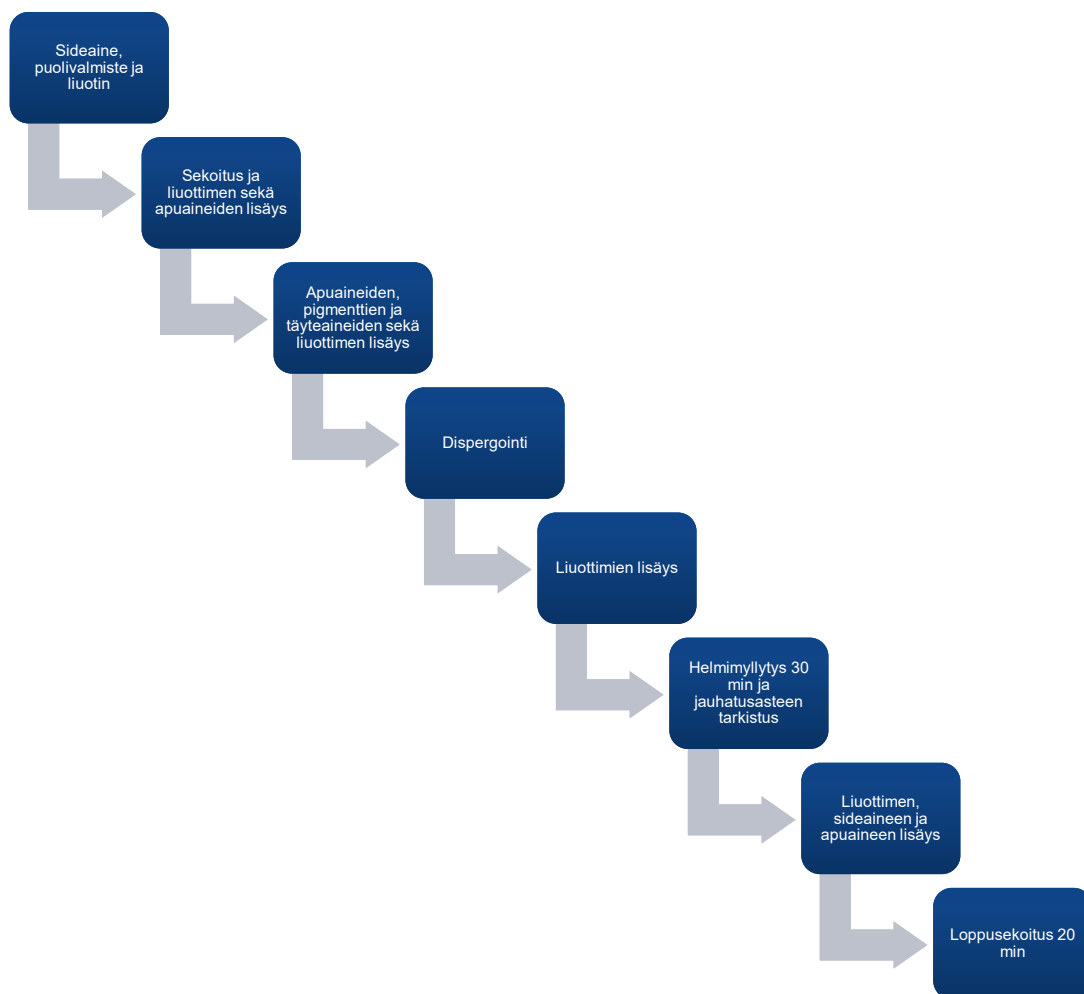
Kuva 14. Maalin valmistukseen käytetty dissolveri. Dispergointi eli pigmenttien ja täyteaineiden hajottaminen ja sekoittaminen sideaineeseen on yksi nestemaalien valmistuksen tärkeimmistä vaiheista.

Ensin valmistettiin viisi vesiohenteista epoksimaalia. Nämä tehtiin taulukon 4 numerojärjestyksessä. Vesiohenteisten maalien valmistuksessa ei käytetty helmimyllytystä, joten maali pystyttiin valmistamaan yhdessä astiassa. Kuvassa 15 on esitetty vesiohenteisten epoksimaalien valmistusprosessi.



Kuva 15. Vesiohenteisten epoksimaalien valmistusprosessi. Tällä tavalla valmistettuja vesiohenteisiä epoksimaaleja kutsutaan epoksidispersioiksi, jossa aineet on sekoitettu tasaisesti toisiinsa.

Viiden liuotinhenteisen polyuretaanimaalin valmistuksessa noudatettiin myös taulukon 4 mukaista numerojärjestystä. Kuvassa 16 on esitetty liuotinhenteisten polyuretaanimaalien valmistusprosessi.



Kuva 16. Liuotinhenteisten polyuretaanimaalien valmistusprosessi.

Eroja valmistuksen aikana kuitenkin oli. Pigmentit A ja B eivät käyttäytyneet vesiohenteisten tuotteiden valmistuksen aikana samalla tavalla. Käytettäessä pigmenttiä A maali käyttäytyi valmistuksen aikana referenssimaalin tavoin. Pigmentin B kanssa maali oli jäykempää, mutta päästiin myös parempaan jauhatusasteeseen. Valmistus tämän pigmentin kanssa ei ollut vaikeampaa, kunhan osasi huomioida muutokset ja menetellä niiden mukaan. Tässä tapauksessa terää täytyi nostaa dispergointia ennen noin 50 mm, kierroksia (RPM) nostaa noin 1200–1500:aan ja pitää jäähdytysvesi kierrossa.

Liuotinhenteisten polyuretaanimaalien valmistuksessa eroja pigmenttien A ja B välillä ei ollut lähes yhtään. Pigmentit käyttäytyivät valmistuksen aikana yhtä hyvin, vaikka pigmenttiä B käytettäessä maali oli jauhatuksessa hieman paksumpaa. Helmimyylytyksellä

päästiin tasaisesti yhtä hyvin jauhatusteisiin. Saantoprosentti helmimyllystä oli PUR1-maalilla kuitenkin parempi kuin maaleilla PUR2–PUR5.

Jatkossa vesiohenteisista epoksimaaleista ja liuotinohenteisistä polyuretaanimaaleista käytetään yksinkertaisesti nimitystä epoksimaalit ja polyuretaanimaalit.

4.1.2 Maalien märkäominaisuudet ja varastointi

Maalien valmistuksen jälkeen maaleille suoritettiin erilaisia ominaisuuksia kuvaavia märkämaalitestejä. Näitä testejä olivat

- KU viskositeetti
- ominaispaino
- jauhatuste grindometrillä
- seosviskositeetti
- kiilto kiiltomittarilla ja
- sävy spektrofotometrillä.

Näistä testeistä kaikki suoritettiin epoksimaaleille. Polyuretaanimaaleista ei tarkastettu sävyä. Maaleihin käytettävistä kovetteista ei esimerkiksi ominaispainoa tarvinnut testata, sillä nämä oli jo tehty ennalta. Taulukossa 5 on avattu maalien märkäominaisuuksien testejä.

Taulukko 5. Maaleista testattuja märkäominaisuuksia. Sävy on selitetty erikseen tuloksissa.

KU viskositeetti ja seosviskositeetti	Viskositeetti kuvaa maalin juoksevuutta. KU on Krebs-yksiköitä, joka johtuu mitaustavasta. Seosviskositeetti kuvastaa maali-koveteseoksen viskositeettia ja sitä voidaan mitata useammassa lämpötilassa. Testatut maalit olivat tiksotropisia eli niiden viskositeetti laski sekoitettaessa.
Ominaispaino	Maalin tiheys, joka on ilmoitettu g/cm ³ eli g/ml. Mittaukset on tehty pääosin kuulalla, mutta myös kupilla, kun viskositeetti on ollut epoksimaaleilla liian suuri varastointien jälkeen.
Jauhatusaste	Ilmoittaa maalin karkeuden ja karkeuden koon. Ilmoitetaan hienoutena (µm). Hienous määritettiin grindometrillä.
Kiilto	Ilmoittaa maalin kiiltävyyden. Mitä isompi arvo, sitä enemmän maali kiiltää. Kiilto on tarkastettu BYK-kiiltomittarilla vetopaperille tehdystä 150/300-applikaattorivedosta.

Varastointia testattiin taulukon 6 mukaisesti.

Taulukko 6. Epoksi- ja polyuretaanimaalien varastointiajat.

Maalit	Varastointiajat
Epoksimaalit	1 kuukausi 40 °C, 3 kuukautta 23 °C
Polyuretaanimaalit	3 kuukautta 23 °C

Varastoinnissa testataan samat märkämaaliominaisuudet molemmille maaleille sävyä lukuun ottamatta. Tämän lisäksi maaleista testataan niiden pohjaan laskeutuminen ja sekoitettavuus testiajan päätyttyä.

4.2 Koelevyt

Tämän insinööriyön maaliyhdistelmien testaamisessa on noudatettu standardin SFS-EN ISO 12944–6 mukaisia ohjeita aina testilevyjen valinnasta asti. Maaliyhdistelmien testilevyiksi valittiin hiiliteräslevyt, joiden minimikoon täytyy olla vähintään 150 mm x 75 mm x 3 mm [17, s. 10]. Tikkurila Oyj:n oman ohjeen mukaisesti valittiin koelevyjen kooksi 200 mm x 100 mm x 4 mm. Tämän lisäksi koelevyjen tuli olla ennalta taustamaalattuja siihen tarkoitettulla maalilla, koska hiiliteräslevyt ovat ruostuvaa materiaalia. [18.]

Maaliyhdistelmiä testattiin ilmastorasitusluokkiin C2-VH, C3-H, C4-M ja C5-L. Taulukossa 7 on esitetty yhden maalituotteen koelevyjen vaadittava määrä ilmastorasitusluokissa.

Taulukko 7. Koelevyjen määrä ilmastorasitusluokissa [18]. Koelevyjen määrä on sama kaikissa ilmastorasitusluokissa. 0-levyille tehdään vain hilaristikko- ja vetokokeet. Kondenssi- ja suolasumukokeiden hila- ja vetokoetuloksia verrataan 0-levyjen tuloksiin.

Kondenssi	Suolasumu	0-levyt	Levyjen määrä yhteensä
3	3	3	9

Koelevyjä valmisteltiin yhteensä 110 kappaletta, sillä jokaisella maaliyhdistelmällä maalattiin kaksi ylimääräistä levyä varmuuden vuoksi.

4.2.1 Esikäsitteily

Koelevyt esikäsiteltiin ennen varsinaista maalausta suihkupuhdistamalla ne vähintään esikäsitteilyasteeseen Sa 2½ standardin SFS-EN ISO 12944–6 mukaisesti [17, s. 10]. Esikäsitteilyaste Sa 2½ ja Sa 3 on määritelty standardin SFS-EN ISO 8501–1 mukaisesti taulukossa 8 [19, s. 12].

Taulukko 8. Suihkupuhdistusasteet Sa 2½ ja Sa 3 standardin SFS-EN ISO 8501–1 mukaisesti [19, s. 12].

Suihkupuhdistusasteet	Selitys
Sa 2½, hyvin huolellinen suihkupuhdistus	Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa tai likaa eikä valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Jäljellä olevat epäpuh- tauksien jäämät saavat näkyä ainoastaan lievinä pistemäisinä tai raitamaisina tah- roina.
Sa 3, suihkupuhdistus puhtaaksi metal- liksi	Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa tai likaa eikä valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Pinnalla tulee olla yhte- näinen metallinen väri.

Suihkupuhdistuksessa käytettiin särmikkäitä teräs-grit-rakeita. Näillä metallipinnalle saa-
daan haluttu pinnanprofiili medium eli keskikarhea (G). G kuvastaa raetyyppiä eli tässä
tapauksessa särmikästä grit-raetta. [17, s. 10.] Kuvassa 17 on esitetty suihkupuhdistettu
levy, josta on tarkastettu pinnanprofiili.



Kuva 17. Suihkupuhdistetun levyn pinnanprofiilin tarkastaminen grit-pintaprofiilivertailukappaleella. Standardin SFS-EN ISO 8503-1 mukaan pinnanprofiili on kohtalainen eli keskikarhea (G), kun metallipinnan profiili vastaa osa-aluetta 2:sta 3:een, mutta ei kuitenkaan ole 3 [20, s. 5].

Kuvan 16 suihkupuhdistettu levy täyttää minimivaatimukset, sillä se on puhdistettu suihkupuhdistusasteeseen Sa 3 keskikarheaan (G) pintaprofiiliin. Levyt on suihkupuhdistettu edellisenä päivänä ennen maalausta ja vielä pyyhkäisysuihkupuhdistettu juuri ennen maalausta.

4.2.2 Maalaus

Koelevyjien maalaus suoritettiin korkeapaineruiskulla. Epoksimaalien maalaus suoritettiin ilma-avusteisella korkeapaineruiskulla. Ilma-avusteista korkeapaineruiskutusta käytettiin epoksimaalien suuren viskositeetin takia ja paremman hajotuksen vuoksi. Polyuretaanimaalit maalattiin normaalilla korkeapaineruiskulla.

Käytetyt epoksimaalit ja polyuretaanimaalit olivat valkoisia sekä kemiallisesti kuivuvia, kaksikomponenttisiä maaleja. Tämä tarkoittaa sitä, että maalit tarvitsivat kuivuakseen kovetetta. Epoksimaaleista tehtiin kovetteen kanssa tilavuuden suhteen seos 1:1 ja polyuretaanimaaleista seos 4:1. Epoksi- ja polyuretaanimaaleihin käytettiin niihin tarkoitettuja kovetteita. Esimerkiksi epoksimaaleista tehtiin kahden litran seoksia, joten tarvittiin yksi litra epoksimaalia ja yksi litra kovetetta. Mittaamista helpotettiin kertomalla tilavuudet maalien (kaava 6) ja kovetteiden ominaispainolla (kaava 7). Kaavoissa 6 ja 7 on esitetty esimerkkinä EP1 maalin muovi- ja koveteosan tilavuuden muutokset massaksi.

$$1000 \text{ cm}^3 \times 1,69 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1690 \text{ g} \quad (6)$$

$$1000 \text{ cm}^3 \times 1,09 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1090 \text{ g} \quad (7)$$

Polyuretaanimaaleja ohennettiin seosten tekemisen jälkeen 5 %. Tämä määritettiin seoksen kokonaistilavuudesta. Polyuretaanimaalin seoksista tehtiin myös kaksilitraisia, joten tästä määrästä 5 % ohenninta on 100 ml.

Seosten lisäksi laskettiin myös ennalta kalvonpaksuudet. Tavoitteena oli molemmille maaleille yksi kerros 120 µm:n nimellistä kuivakalvonpaksuutta (NDFT). Standardin SFS-EN ISO 12944–6 mukaisesti kuivakalvo saa olla tässä tapauksessa maksimissaan 150 µm, koska kuivakalvon nimellispaksuus on 120 µm [17, s. 11]. Standardissa SFS-ISO 19840 on lisäksi määriteltä, että jokaisen kuivakalvon paksuuden (DFT) täytyy olla vähintään 80 % nimellispaksuudesta. Tässä tapauksessa kuivakalvon paksuuden täytyy olla 96 µm. Nimelliskuivakalvonpaksuuden alittavia mittaustuloksia saa olla 20 % kaikista mittauksista. Kuivakalvojen mitattujen paksuuksien keskiarvon tulee olla vähintään yhtä suuri kuin kuivakalvon nimellispaksuuden eli 120 µm. [21, s. 12.]

Määriteltyjen kuivakalvopaksuuksien avulla pystyttiin määrittelemään tarvittavat märkäkalvon paksuudet maalauksen onnistumiseen. Kaavassa 8 on esitetty märkäkalvon laskeminen.

$$WFT = DFT \times \frac{100}{V} \quad (8)$$

WFT on märkäkalvonpaksuus (μm)

DFT on kuivakalvonpaksuus (μm)

V on maalin kuiva – ainepitoisuus (%).

Epoksi- ja polyuretaanimaalien maalaustyön suoritti Tikkurila Oyj:n tekninen palvelu. Maalaukset suoritettiin vakioidussa maalaustilassa, joten veden tiivistymisestä metallipinnoille ei tarvinnut huolehtia. Lämpötila epoksimaalien levityksen aikana oli 19 °C ja suhteellinen ilmankosteus eli RH 28 %. Suuttimen koko oli 13 eli 0,013 tuumaa, joka on suuttimen reiän koko. Korkeapaineruiskun pumppu toimi suhteessa 30:1. 5 bar on maalin lähtöpaine, eli 150 bar ja 2 bar on avustavan ilman paine. Taulukossa 9 on esitetty epoksimaalien maalausasetukset.

Taulukko 9. Epoksimaalien maalausasetukset.

Tuote	Kuiva-aine til-%	Ohennus til-%	Suutin	Paine bar	Tavoite kuivaa μm	Tavoite märkää μm
EP1–5	44	0	13	5/2	120	350

Taulukossa 10 on esitetty polyuretaanimaalien maalausasetuksia. Polyuretaanimaalit maalattiin märkää märälle -periaatteella, jossa tarkoituksena on maalata ensin tietty paksuus märkäkalvoa, jonka jälkeen sen päälle maalataan lisää märkäkalvoa. Tällä tyylillä pyritään saamaan parempi maalipinta sekä estää valumisen tapahtumista. Lämpötila maalauksen aikana oli 18 °C ja RH 22 %. Suuttimen reiän koko on 0,011 tuumaa. Korkeapainepumppu toimi suhteessa 30:1. Maalin lähtöpaine oli 120 bar.

Taulukko 10. Polyuretaanimaalien maalausasetukset.

Tuote	Kuiva-aine til-%	Ohennus til-%	Suutin	Paine bar	Tavoite kuivaa μm	Tavoite märkää μm
PUR1-5	65	5	11	4	120	250

Maalaustyön aikana maalattiin myös jokaisella maalilla kaksi valumalevyä (kuva 18). Valumalevyistä tutkittiin valuminen, maalipinta, kiilto ja kuivakalvonpaksuudet.



Kuva 18. PUR2-maalin valumalevy. Vaakasuoran viillon yläosassa sekä sen yläpuolella näkyy läikkämaisissä kohdissa maalin valumista. Levyssä näkyy myös muutama ilmakupla. Karheuden näköinen kohta viillon yläpuolella on muodostunut märkäkalvon mittauksesta.

Maalausten jälkeen levyjä vakioitiin kaksi viikkoa ennen testien aloittamista vakioilmastossa lämpötilassa $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ja suhteellisessa ilmankosteudessa $50 \pm 5 \%$ standardin SFS-EN ISO 12944-6 mukaisesti. Epoksimaaleja uunitettiin $40 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa kolme tuntia seuraavana päivänä maalauksesta, jonka jälkeen niitä vakioitiin kaksi viikkoa. Vakioinnin aikana pystyttiin kuitenkin vahvistamaan koelevyjien reunat maalilla ja

mittaamaan kuivakalvonpaksuuksia. Standardin SFS-ISO 19840 mukaisesti jokaisesta levystä mitataan viisi lukemaa (koelevyt alle 1 m²:n kokoisia), yksi keskeltä ja neljä jokaisesta kulmasta. Mittausten jokaisesta arvosta vähennetään 25 µm, koska otetaan huomioon koelevyjen keskikarhea pinnanprofiili. [18; 21, s. 10–11.] Kuvassa 19 on esitetty EP3 maalin 0-levyjen pinnanlaatu ennen testejä.



Kuva 19. EP3 maalin 0-levyjen pinnanlaatu ennen testejä. Kaikki maalatut levyt olivat pinnanlaadultaan hyviä.

Liitteissä 1–10 on esitetty testattujen koelevyjen mitatut kuivakalvonpaksuudet, joissa on ilmoitettu keskiarvo, minimi ja maksimi. Tavoiteltu kuivakalvonpaksuus 120 µm toteutui lähes kaikissa maalatuissa koelevyissä. Osassa koelevyissä tavoiteltu kuivakalvonpaksuus jäi tietyissä kohdissa alle 120 µm tai yli 150 µm. Tällaisia levyjä käytettiin pääsääntöisesti 0-levyinä tai mahdollisesti kondenssilevyinä. Suolasumutestiin valittiin levyt, joilla oli mahdollisimman tasainen kuivakalvonpaksuus levyjen eri kohdissa. Liitteessä 11 on esitetty valumalevyjen tuloksia.

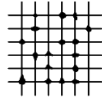
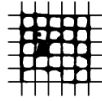
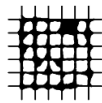
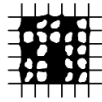
5 Maaliyhdistelmien testaaminen

5.1 Hilaristikkokoe

Kaikille koelevyille tehtiin hilaristikkokokeita standardin SFS-EN ISO 2409 mukaisesti. Epoksi- ja polyuretaanimaalien 0-levyille tehtiin yksi hilaristikko per levy. Kondenssi- ja suolasumulevyille tehtiin kolme hilaristikkoa per levy [18].

Hilaristikkojen viillot tehtiin käsin 3 mm:n välityksellä, koska koelevyjen kuivakalvonpaksuudet olivat yli 120 µm [22, s. 11]. Taulukossa 11 on esitetty hilaristikkokeiden luokituksia [22, s. 14].

Taulukko 11. Hilaristikkokeiden luokituksia. 0 on paras ja 5 on huonoin. Irronneet maalihiukkaset on poistettu harjaamalla. [22, s. 14; 25, s. 65.]

Luokitus	Kuvaus	Ulkonäkö leikkausalueella, josta hilseilyä on tapahtunut (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 ei enempää kuin 15 %	
3	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina tai on hilseillyt osittain tai kokonaan ruutujen eri osista. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 15 % mutta ei enempää kuin 35 %	
4	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina tai joitain ruutuja on irronnut osittain tai kokonaan. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 35 % mutta ei enempää kuin 65 %	
5	Mikä tahansa hilseily, jota ei voida luokitella edes luokitteluasteen 4 mukaisesti	–

Standardissa SFS-EN ISO 12944–6 on selostettu, että hilaristikkokoe on hyväksytty, jos se voidaan luokitella välille 0–2 [17, s. 13].

5.2 Vetokoe

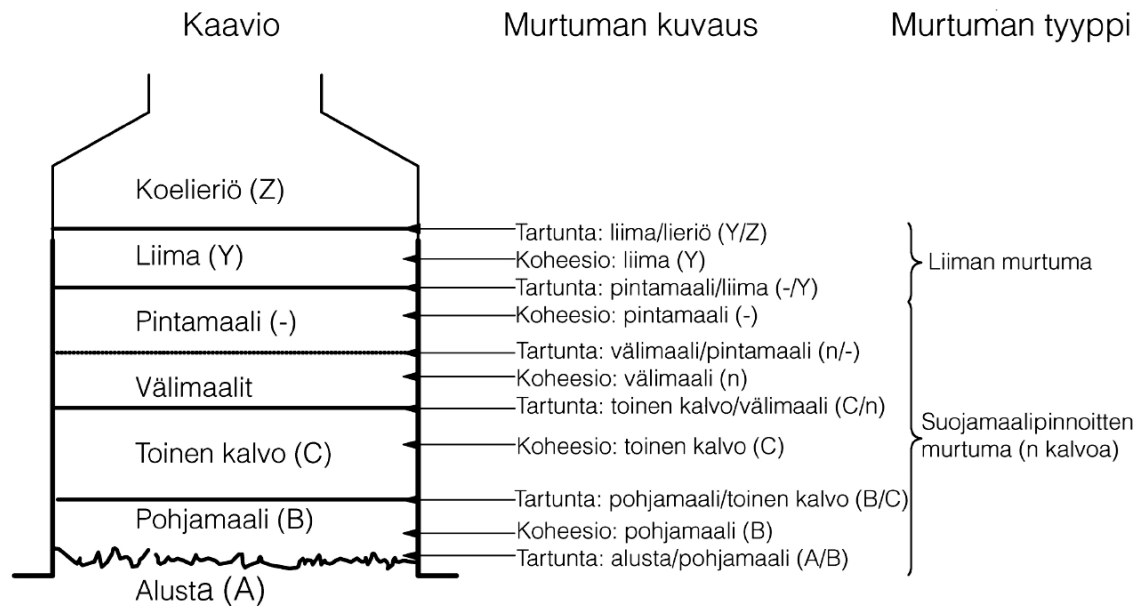
Kaikille koelevyille suoritettiin standardin SFS-EN ISO 4624 mukaisia vetokokeita kolme kappaletta per levy [17, s. 13]. Vetokokeet suoritettiin automaattisella testauslaitteella, jonka mittausväli oli 0–20 MPa eli N/mm². Vetokokeissa käytettiin yhden vetokappaleen menetelmää eli menetelmää B.

Vetokoetatteja varten maalikalvosta hiottiin hellästi kiinnityskohtia. Tatit liimattiin kohti-suoraan hiottuihin kohtiin kaksikomponenttisellä epoksiliimalla [24.] Vetokoetattien ympäriltä maalikalvo poistettiin poraamalla koelevyn teräkseen asti.

Vetokokeen jälkeen jokaista tattia arvioidaan murtumatyyppitään seuraavasti [23, s. 13]:

- A on alustan koheesiomurtuma.
- A/B on adheesiomurtuma alustan ja ensimmäisen pinnoitekerroksen välillä.
- B koheesiomurtuma ensimmäisessä pinnoitekerroksessa.
- B/C on adheesiomurtuma ensimmäisen ja toisen pinnoitekerroksen välillä.
- n on koheesiomurtuma monikerrosyhdistelmän kerroksessa n.
- n/m on adheesiomurtuma monikerrosyhdistelmän kerrosten n ja m välillä.
- –/Y on adheesiomurtuma liiman ja pintakerroksen välillä.
- Y on liiman adheesiomurtuma.
- Y/Z on adheesiomurtuma liiman ja vetokappaleen välillä.

Kuvassa 20 murtumatyyppit on esitetty visuaalisesti [25, s. 79].



Kuva 20. Vetokokeen murtumatyypit [25, s. 79]. Murtumatyypit arvioidaan prosentteina 10 %:n tarkkuudella [23, s. 13]. Koheesiomurtumassa maalin sisäinen lujuus on heikko.

Standardissa SFS-EN ISO 12944–6 vetokokeen onnistumiselle on määritelty, että jokaisen vetoarvon minimi on 2,5 MPa. Lisäksi metallipinnan ja ensimmäisen kalvon välillä ei saa olla yhtään virhettä, ellei vetoarvo ole vähintään 5 MPa. [17, s. 13.]

5.3 Kondenssitesti

Kolmelle koelevylle per maali suoritettiin standardin SFS-EN ISO 6270–1 mukainen kondenssitesti [18]. Kondenssitestin periaatteena oli altistaa koelevyt jatkuvalla kondenssaatiolle eli tässä tapauksessa veden tiivistymiselle [26, s. 6].

Koelevyt oli asetettu 60 ± 5 asteen kulmaan ja niiden alapuolella ilman lämpötila pidettiin 38 ± 2 °C:ssa. Koelevyt oli reunavahvistettu maalilla ennen kondenssitestiä, jotta ei muodostuisi galvaanisia pareja. [26, s. 7, 9.]

Kondenssitestit suoritettiin kahdessa erässä epoksi- ja polyuretaanimaaleille, jonka aikana koelevyjä tarkastettiin säännöllisesti. Kondenssitestin kesto aika ilmastorasitusluokille C2-VH, C3-H, C4-M ja C5-L oli 240 tuntia [17, s. 12].

Kondenssitestien jälkeen koelevyjen pinnat arvioitiin heti testin päättymisen jälkeen standardien SFS-EN ISO 4628–2 (rakkuloituminen), 4628–3 (ruostuminen), 4628–4 (halkeilu) ja 4628–5 (hilseily) mukaisesti. Standardien SFS-EN ISO 4628–2 ja 4628–3 kuvastandardeja on käytetty levyjen pinnanarvioimiseen. Standardeihin ISO 4628–4 ja 4628–5 ei ole viitattu, koska testatuissa koelevyissä esiintyi vain rakkuloitumista ja ruostumista.

Vaatuksena kondenssitestin onnistumiselle on, että levyissä ei esiinny rakkuloita, ruostetta, halkeilua eikä hilseilyä. Kondenssilevyille suoritettiin hilaristikko- ja vetokokeet seitsemän päivän vakioinnin jälkeen. [17, s. 14].

5.4 Suolasumukoe

Samoin kuin kondenssitestissä, kolmelle koelevylle suoritettiin porrastettuna standardin SFS-EN ISO 9227 mukainen suolasumukoe. Suolasumukokeen kesto aika ilmastorasitusluokille C2-VH, C3-H, C4-M ja C5-L oli 480 tuntia. Koetyyppinä toimi neutraali suolasumukoe (NSS). Neutraalissa suolasumukokeessa sumutetun liuoksen natriumkloridin väkevyyden oli $50 \text{ g/L} \pm 5 \text{ g/l}$ ja pH $6,5\text{--}7,2$. Sumutus tapahtui suolasumukammiossa lämpötilassa $25 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ painevälillä $98 \text{ kPa} \pm 10 \text{ kPa}$. Kuvassa 21 on suolasumukokeessa käytetty Q-FOG-sumutuslaitteisto.



Kuva 21. Suolasumukokeessa käytetty Q-FOG-sumutuslaitteisto.

Ennen varsinaisten suolasumukokeiden aloitusta, kuvan 21 suolasumulaitteisto kalibroidiin standardin SFS-EN ISO 9227 mukaisesti. Kalibrointia varten leikattiin CR4-teräksestä neljä vertailunäytettä kooltaan 150 mm x 70 mm x 1 mm. Vertailunäytteet puhdistettiin ennen kalibrointia ja punnittiin ± 1 milligramman tarkkuudella. Näytteiden takaosa teipattiin punnitsemisen jälkeen. Näytteet asetettiin suolasumukammioon pystysuoraan 20 ± 5 asteen kulmassa. Taulukossa 12 on esitetty punnittujen vertailunäytteiden painot.

Taulukko 12. Vertailunäytteiden massat ennen kalibroinnin aloitusta.

Levy	Massa (g)
1	87,793
2	87,769
3	87,098
4	87,361

Suolasumualtistus kesti 48 tuntia. Sen jälkeen vertailunäytteet punnittiin huuhtelun ja teippien poiston jälkeen (taulukko 13). Lisäksi kalibroinnin aikana seurattiin suolasumun keskimääräistä keräysnopeutta, jonka toiminnallinen vaihtelu oli määritetty välille 1,5 ml/h \pm 0,5 ml/h [28, s. 13].

Taulukko 13. Vertailunäytteiden massat kalibroinnin jälkeen.

Levy	Massa (g)
1	88,554
2	88,411
3	87,826
4	87,963

Kuvassa 22 on esitetty yksi vertailunäyte kalibroinnin jälkeen.



Kuva 22. Vertailunäyte suolasumulaitteen kalibroinnin jälkeen.

Kalibroinnin jälkeisten massojen selvityksen jälkeen, korroosiotuotteet poistettiin kloorivetyhappoliuoksella teräslevyjen pinnoilta [30]. Taulukossa 14 on esitetty massat korroosiotuotteiden poiston jälkeen.

Taulukko 14. Vertailunäytteiden massat korroosiotuotteiden poiston jälkeen.

Levy	Massa (g)
1	87,025
2	87,058
3	86,334
4	86,514

Taulukon 14 massojen avulla pystyttiin selvittämään vertailunäytteiden massahäviö, kun tiedettiin teräslevyjien pinta-ala ($0,01125 \text{ m}^2$). Taulukossa 15 on esitetty massahäviöt teräslevyjien pinta-alaa kohden.

Taulukko 15. Vertailunäytteiden massahäviö teräslevyjien pinta-alaa kohden.

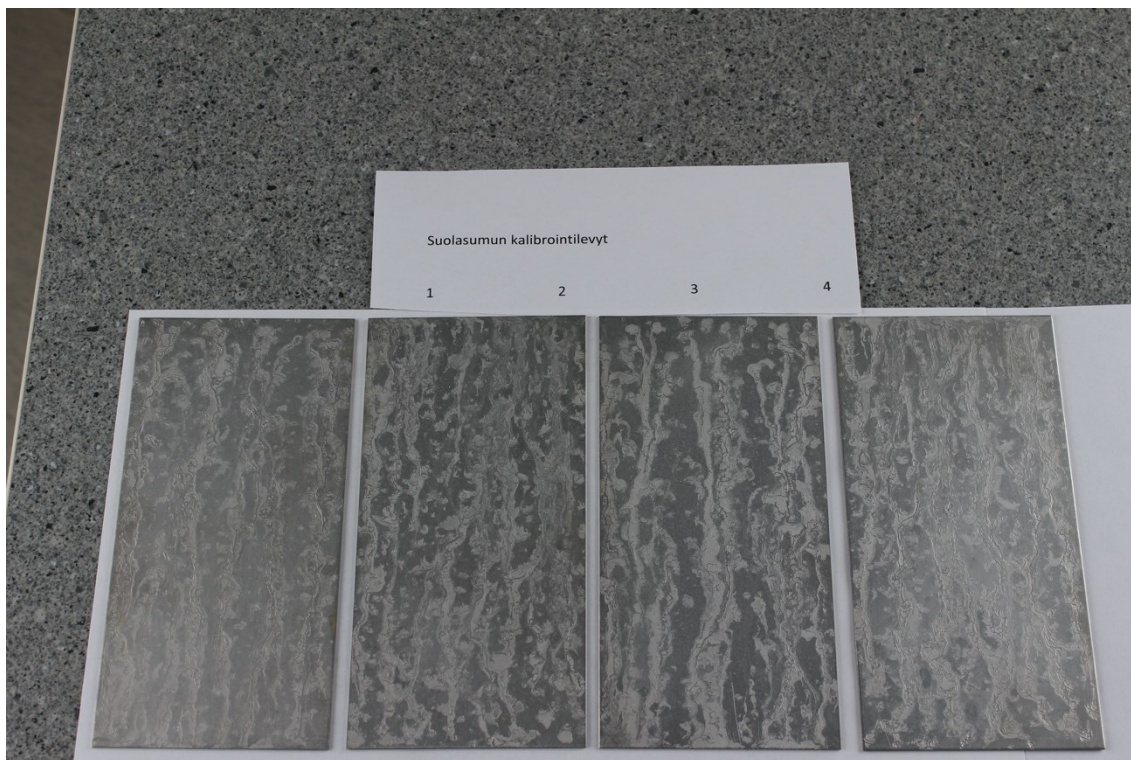
Levy	Massahäviö (g/0,01125 m ²)
1	0,7676
2	0,7109
3	0,7637
4	0,8472

Taulukossa 15 esitettyjen tulosten avulla saatiin selvitettyä massahäviö neliometriä kohden, kun jaettiin laskettu massahäviö levyn pinta-alalla (taulukko 16).

Taulukko 16. Vertailunäytteiden massahäviö neliometriä kohden.

Levy	Massahäviö (g/m ²)
1	68,23
2	63,19
3	67,88
4	75,31

Sallittu massahäviö kalibroinnin aikana oli $70 \text{ g/m}^2 \pm 20 \text{ g/m}^2$. Vertailunäytteiden massahäviö ja suolasumun keräysnopeus olivat standardin SFS-EN ISO 9227 mukaiset ennen suolasumulevyjen testausta. [29, s. 12–13.] Kuvassa 23 on esitetty vertailunäytteet 1–4 korroosiotuotteiden poiston jälkeen.



Kuva 23. Vertailunäytteet 1–4 korroosiotuotteiden poiston jälkeen.

Standardin SFS-EN ISO 12944–6 mukaisesti suolasumulevyistä arvioitiin rakkuloituminen, ruostuminen, halkeilu ja hilseily, aivan kuten kondenssilevyistäkin. Näiden lisäksi arvioitiin suolasumulevyihin tehtyjen viillojen korroosion etenemistä. Kuvassa 24 on esimerkki tehdystä viillosta. Tehdyt viillot olivat 2 mm leveitä, 50 mm pitkiä, 50 mm levyjen alalaidasta ja 25 mm levyjen pitkästä reunasta.



Kuva 24. EP3 suolasumulevyihin tehdyt viillot ennen suolasumukoetta. Viillot on tehty standardin SFS-EN ISO 12944–6 mukaisesti.

Suolasumukokeen jälkeen viillot avattiin ja arvioitiin viimeistään 8 tuntia testin päättymisen jälkeen. Suolasumukokeen onnistumisen perusteina oli, että levyissä ei esiinny pinnanmuutoksia. Lisäksi viilloissa korroosion eteneminen sai olla keskiarvoltaan maksimissaan 1,5 mm. Kaavassa 9 on esitetty viillojen korroosion etenemisen laskenta. [17, s. 14, 16–17.]

$$M = (C - W)/2 \quad (9)$$

M on korroosion etenemisen keskiarvo

C on yhdeksän leveysmittauksen keskiarvo






W on viillon mitattu ja tallennettu leveys

Suolasumulevyille tehtiin myös hilaristikko- ja vetokokeet seitsemän päivän vakioinnin jälkeen [17, s. 14].

6 Epoksi- ja polyuretaanimaalien testien tulokset ja arvioinnit

Tuloksissa on esitetty epoksi- ja polyuretaanimaalien testien tuloksia sekä arviointeja. Testit on jo esitelty luvuissa 5.1–5.4. Tuloksien helpompaa havainnointia varten taulukossa 17 on esitetty vahvistusmaalausten värit, joista tunnistaa kunkin maalin.

Taulukko 17. Epoksi- ja polyuretaanimaalien vahvistusmaalausten värit tunnistusta varten. Pigmenttiä A ja B oli maaleissa EP2, PUR2, EP4 ja PUR4 painoprosenttisesti saman verran kuin sinkkifosfaattia referenssimaaleissa. Maaleissa EP3, PUR3, EP5 ja PUR5 pigmenttejä oli tilavuusprosenttisesti saman verran kuin sinkkifosfaattia referenssimaaleissa.

Maalit		Pigmentti	Kanttauksen väri
EP1	PUR1	Sinkkifosfaatti	
EP2	PUR2	Pigmentti A	
EP3	PUR3	Pigmentti A	
EP4	PUR4	Pigmentti B	
EP5	PUR5	Pigmentti B	

Liitteissä 1–10 tulokset on esitetty lyhyemmässä muodossa kuvien kanssa.

6.1 Märkäominaisuuksien sekä varastoinnin tulokset ja arvioinnit

Taulukossa 18 on esitetty epoksimaalien märkämaalitestien tuloksia.

Taulukko 18. Valmistettujen epoksimaalien märkäominaisuuksien tuloksia. Hienoudessa E kuvastaa, että keskimääräisen hienousrajan yläpuolella on yksittäisiä karkeita maaliaineita. Kiilto on ilmoitettu 150- ja 300 µm:n kalvoista, koska veto on tehty paperille 150/300-aplikaattorilla.

Maali	KU-viskositeetti	Ominaispaino kuu- lalla (g/ml)	Hienous (µm)	Seosviskositeetti (23 °C)	Kiilto 60°
EP1	119	1,69	45E	2,6	150 µm 23,8 300 µm 26,7
EP2	123	1,66	45E	2,7	150 µm 27,2 300 µm 33,8
EP3	123	1,64	45E	2,7	150 µm 30,6 300 µm 34,7
EP4	140	1,65	40E	2,6	150 µm 20,0 300 µm 23,7
EP5	134	1,63	40E	2,5	150 µm 27,6 300 µm 31,0

Sävyjen tulokset on esitetty erikseen taulukossa 19.

Taulukko 19. Epoksimaalien sävyjen tuloksia.

Maali	dL	da	db	dE CIE LAB
EP1	-0,38	0,18	0,38	0,57
EP2	-0,52	0,17	0,68	0,87
EP3	-0,59	0,21	0,65	0,9
EP4	-0,42	0,18	0,62	0,77
EP5	-0,53	0,25	0,7	0,92

Taulukon 19 sävyarvot on selitetty taulukossa 20.

Taulukko 20. Sävyarvojen luokittelu. dE kuvaa poikkeamaa sävystandardista ja CIE LAB, että sävy on määritetty heijastuksen kautta XYZ-koordinaatistossa. [31, s. 9, 12–13.]

Sävyarvot	+	-
dL	vaalea	tumma
da	punainen	vihreä
db	keltainen	sininen
dE CIE LAB	kokonaispoikkeama	

Epoksimaaleista testatut sävyt (taulukko 19) olivat taulukon 20 perusteella vaaleita ja hiukan punertavia sekä kellertäviä. Sävyarvot epoksimaaleissa olivat kuitenkin Tikkurilan sävystandardin rajoissa. Taulukossa 21 on esitetty polyuretaanien märkämaalitestejä.

Taulukko 21. Valmistettujen polyuretaanimaalien märkäominaisuuksien tuloksia.

Maali	KU-viskositeetti	Ominaispaino kuullalla (g/ml)	Hienous (µm)	Seosviskositeetti (23 °C)	Kiilto 60°
PUR1	97	1,51	30	4,5	150 µm 93,3 300 µm 93,8
PUR2	99	1,51	30	3,8	150 µm 94,0 300 µm 93,1
PUR3	97	1,50	25	3,5	150 µm 95,4 300 µm 94,3
PUR4	95	1,51	30	3,6	150 µm 94,7 300 µm 93,6
PUR5	93	1,50	30	3,5	150 µm 95,1 300 µm 93,7

Seuraavaksi esitettyjä varastoinnin märkämaalitestejä verrataan taulukoiden 18 ja 21 tuloksiin ja arvioidaan, kuinka varastointiolosuhteet ovat vaikuttaneet tuloksiin. Varastoinnin jälkeen epoksimaalit reagoivat vaihtelevasti. Maalit EP1-EP3 olivat molempien varastointiaikojen, 1 kk / 40 °C ja 3 kk / 23 °C, jälkeen kauttaaltaan jäykkiä. Nämä maalit eivät myöskään sekoitettaessa enää muuttuneet yhtä juoksevaksi kuin aikaisemmin. Tämä saattaa osaltaan johtua siitä, että maaleissa ei ollut juuri yhtään nestettä pinnassa. Maalit EP4 ja EP5 olivat varastoinnin jälkeen hiukan jäykkiä, mutta olivat yhä notkeita. Näissä nestettä oli pinnassa. Taulukossa 22 on tuloksia epoksimaalien varastoinnista kuukauden ajalta 40 °C:n lämpötilassa. Verrattuna taulukkoon 18, epoksimaalien EP1-EP3 KU-viskositeetit ovat nousseet yli mittausasteikon sekä EP2- ja EP3-maaleilla seosviskositeetti on kasvanut. Seosviskositeetin arvon mittaus on kuitenkin erittäin herkkä maali-koveteseoksen määrälle, joten arvon muutos ei välttämättä johdu varastoinnista. Myös kiilto on himmentynyt näillä maaleilla. Maalit EP4 ja EP5 ovat pysyneet lähes muuttumattomina.

Taulukko 22. Epoksimaalien märkäominaisuuksia 1 kk / 40 °C varastointiolosuhteiden jälkeen.

Maali	KU-viskositeetti	OMP kupilla	Hienous (µm)	Seosviskositeetti (23 °C)	Kiilto 60°
EP1	>141	1,70	35E	2,6	150 µm 7,0 300 µm 8,4
EP2	>141	1,68	45E	3,3	150 µm 3,3 300 µm 4,2
EP3	>141	1,67	45E	3,5	150 µm 4,1 300 µm 5,6
EP4	131	1,67	35E	2,4	150 µm 18,0 300 µm 23,8
EP5	130	1,67	30E	2,4	150 µm 22,1 300 µm 27,0

Taulukkoon 23 on koottu epoksi- ja polyuretaanimaalien 3 kk / 23 °C varastointiolosuhteen jälkeiset märkämaalitestit. Polyuretaanimaaleilla suurta muutosta taulukon 21 arvoihin ei ole tapahtunut. Merkittävin muutos on tapahtunut KU-viskositeetin pienessä nousussa. Epoksimaaleilla on havaittavissa samat muutokset varastoinnin jälkeen kuin taulukossa 22.

Taulukko 23. Epoksi- ja polyuretaanimaalien märkäominaisuuksia 3 kk / 23 °C varastointiolosuhteiden jälkeen.

Maali	KU-viskositeetti	Ominaispaino	Hienous (µm)	Seosviskositeetti (23 °C)	Kiilto 60°
EP1	>141	1,69	35E	2,46	150 µm 10,5 300 µm 12,7
EP2	>141	1,67	40E	2,46	150 µm 6,4 300 µm 10,4
EP3	>141	1,66	40E	2,43	150 µm 9,9 300 µm 16,4
EP4	134	1,67	35E	2,40	150 µm 18,0 300 µm 24,8
EP5	135	1,67	35E	2,28	150 µm 21,6 300 µm 25,9
PUR1	102	1,54	30	4,26	150 µm 93,8 300 µm 90,4
PUR2	103	1,52	30	3,87	150 µm 93,3 300 µm 92,6
PUR3	101	1,51	30	3,99	150 µm 95,1 300 µm 94,8
PUR4	100	1,51	25	3,84	150 µm 94,1 300 µm 93,3
PUR5	99	1,51	25	3,60	150 µm 94,8 300 µm 93,8

3 kk / 23 °C:n varastoinnin jälkeisissä märkämaalitesteissä PUR-maalit olivat lähes muuttumattomia verrattuna alkuperäisiin märkämaalitesteihin (taulukko 21). Kaikki PUR-maalit sekoittuivat hyvin ja niissä oli vain vähän nestettä pinnassa.

6.2 Maalipinnoitteiden vauriot

Koelevyjen pinnanarvioinnissa on esitetty standardien SFS-EN ISO 4628–2, 4628–3, 4628–4 ja 4628–5 mukaiset pinnanarvioinnit. Lisäksi suolasumulevyistä on esitetty standardin SFS-EN ISO 12944–6 mukainen korroosion eteneminen viillosta. Pinnanarviointi on suoritettu välittömästi testien päätyttyä.

6.2.1 Kondenssilevyjen vauriot

Taulukossa 24 on esitetty epoksimaalien pinnanarvioinnin tulokset kondenssitestin jälkeen. Rakkuloitumista esiintyi maaleissa EP1 ja EP2, ja nämä esiintyivät 240 tunnin testiajan loppupäässä. Maaleilla EP3-EP5 ei esiintynyt pinnanmuutoksia. EP3-maalin kondenssilevyssä 1 esiintyi yksi ruostepiste, mutta se luokiteltiin yksittäiseksi maalauksivirheeksi. Epoksimaalien EP1 ja EP2 kondenssitestit epäonnistui, sillä ne eivät täyttäneet standardin SFS-EN ISO 12944–6 mukaisia pinnanvaatimuksia.

Taulukko 24. Epoksimaalien pinnanarviointien tuloksia kondenssitestin jälkeen.

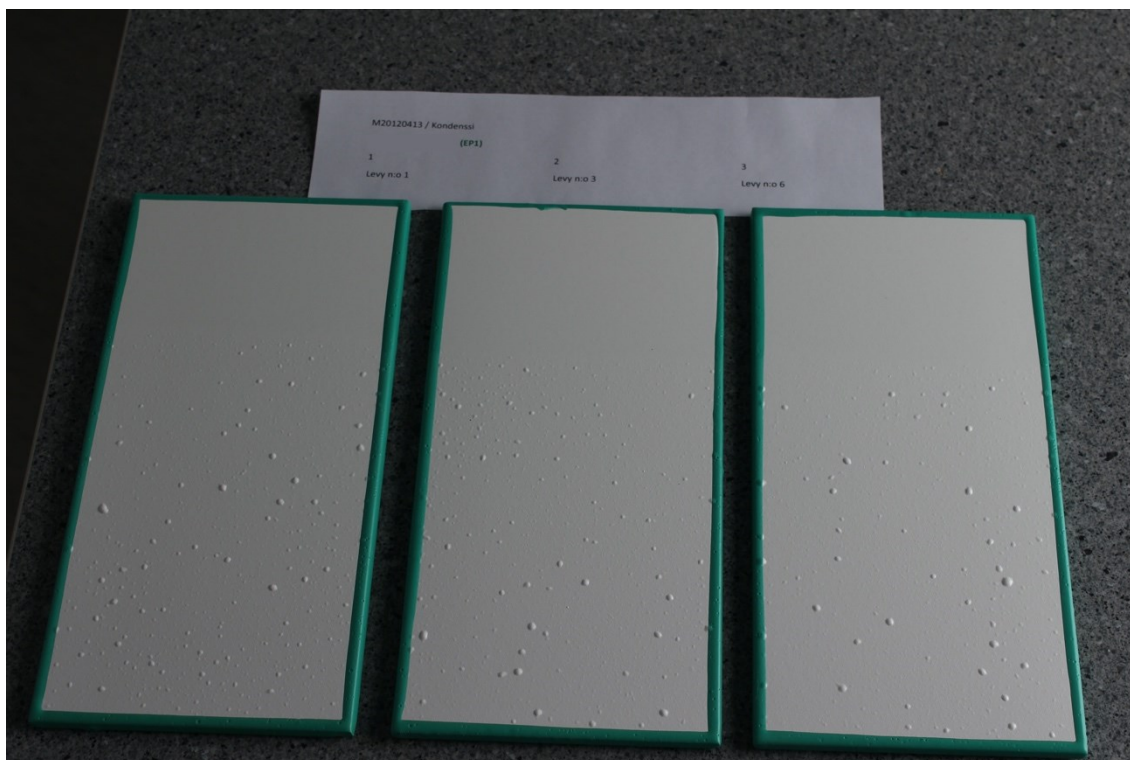
Maali ja numero	Rakkuloituminen	Ruostuminen	Halkeileminen	Hilseily
EP1 / kondenssi 1	5(S4)	0	0	0
EP1 / kondenssi 2	5(S4)	0	0	0
EP1 / kondenssi 3	5(S4)	0	0	0
EP2 / kondenssi 1	5(S3)	0	0	0
EP2 / kondenssi 2	5(S2)	0	0	0
EP2 / kondenssi 3	5(S3)	0	0	0
EP3 / kondenssi 1	0	yksi ruostepiste → maalauksivirhe	0	0
EP3 / kondenssi 2	0	0	0	0
EP3 / kondenssi 3	0	0	0	0
EP4 / kondenssi 1	0	0	0	0
EP4 / kondenssi 2	0	0	0	0
EP4 / kondenssi 3	0	0	0	0
EP5 / kondenssi 1	0	0	0	0
EP5 / kondenssi 2	0	0	0	0
EP5 / kondenssi 3	0	0	0	0

Taulukossa 25 on esitetty polyuretaanimaalien pinnanarviointit kondenssitestin jälkeen. Polyuretaanimaalit olivat virheettömiä kondenssitestin jälkeen.

Taulukko 25. Polyuretaanimaalien pinnanarviointien tuloksia kondenssitestin jälkeen.

Maali ja numero	Rakkuloituminen	Ruostuminen	Halkeileminen	Hilseily
PUR1 / kondenssi 1	0	0	0	0
PUR1 / kondenssi 2	0	0	0	0
PUR1 / kondenssi 3	0	0	0	0
PUR2 / kondenssi 1	0	0	0	0
PUR2 / kondenssi 2	0	0	0	0
PUR2 / kondenssi 3	0	0	0	0
PUR3 / kondenssi 1	0	0	0	0
PUR3 / kondenssi 2	0	0	0	0
PUR3 / kondenssi 3	0	0	0	0
PUR4 / kondenssi 1	0	0	0	0
PUR4 / kondenssi 2	0	0	0	0
PUR4 / kondenssi 3	0	0	0	0
PUR5 / kondenssi 1	0	0	0	0
PUR5 / kondenssi 2	0	0	0	0
PUR5 / kondenssi 3	0	0	0	0

Kuvassa 25 on esitetty EP1-levyt kondenssitestin jälkeen.



Kuva 25. Sinkkifosfaattipigmentoiduissa EP1-kondenssilevyissä esiintyi selvää rakkuloitumista.

6.2.2 Suolasumulevyjen vauriot

Taulukossa 26 on esitetty epoksimaalien pinnanarviointeja suolasumukokeen jälkeen. Standardin SFS-EN ISO 12944–6 mukaisesti viillon korroosioneteneminen on ilmoitettu 0,1 mm:n tarkkuudella. Viilloissa ruosteen eteneminen oli erittäin vähäistä kaikissa epoksimaaleissa.

Taulukko 26. Epoksimaalien suolasumukokeen jälkeiset pinnanarvioinnit. Maaliyhdistelmien kolmen levyn keskiarvo ruosteen etenemisen suhteen on myös esitetty tuloksissa.

Maali ja numero	Rakkuloituminen	Ruostuminen	Halkeileminen	Hilseily	Ruosteen eteneminen (mm)	Etenemisten keskiarvo(mm)
EP1 / Suolasumu 1	0	0	0	0	0,3	0,2
EP1 / Suolasumu 2	0	0	0	0	0,2	
EP1 / Suolasumu 3	0	0	0	0	0,1	
EP2 / Suolasumu 1	5(S3)	Ri 4	0	0	0,3	0,2
EP2 / Suolasumu 2	5(S3)	Ri 4	0	0	0,1	
EP2 / Suolasumu 3	5(S3)	Ri 4	0	0	0,1	
EP3 / Suolasumu 1	4(S3)	Ri 1	0	0	0,2	0,1
EP3 / Suolasumu 2	4(S3)	Ri 1	0	0	0,1	
EP3 / Suolasumu 3	4(S3)	Ri 1	0	0	0,1	
EP4 / Suolasumu 1	5(S2)	Ri 5	0	0	0,1	0,2
EP4 / Suolasumu 2	5(S2)	Ri 5	0	0	0,2	
EP4 / Suolasumu 3	5(S2)	Ri 5	0	0	0,2	
EP5 / Suolasumu 1	5(S2)	Ri 5	0	0	0,0	0,1
EP5 / Suolasumu 2	5(S2)	Ri 5	0	0	0,1	
EP5 / Suolasumu 3	5(S2)	Ri 5	0	0	0,1	

Kaikki epoksimaalit, paitsi EP1, epäonnistuivat suolasumukokeessa. EP2-EP5-maaleissa esiintyi selvää rakkuloitumista ja ruostumista. Ruostetta esiintyi EP2-EP5 levyissä jo 480 tunnin testiajan alussa. Kuvassa 26 on esitetty EP5-maalin suolasumulevyt heti suolasumukokeen jälkeen. Kuvassa 26 näkyvä ruoste ei ole puhjennut maalikalvon läpi, vaan se paistaa maalikalvon alta. Ruostumisen arvioinnissa (SFS-EN ISO 4628–3) ei ole määritelty, miten tällaisessa tilanteessa menetellään [28]. Arvioinnissa on menetelty siten, että maalikalvon alta paistava ruoste on EP4- ja EP5-maaleissa arvioitu ruostumisasteeseen Ri 5.



Kuva 26. EP5-maalin suolasumulevyt suolasumukokeen jälkeen. Levyissä esiintyy pienikokoista rakkuloitumista lähes kaikkialla levyjen alueella. Kuplimista ei kuitenkaan esiinny viiltojen ympärillä, missä maalikalvo on pysynyt lähes alkuperäisenä. Kahdessa vasemmanpuoleisessa levyssä ei myöskään esiinny ruostetta viiltojen ympärillä. Kuvassa näkyvät värjäymät viiltojen alla on syntynyt korroosiotuotteiden valumisesta suolasumukokeen aikana.

Kuvassa 27 on esitetty maalin EP2 ja kuvassa 28 maalin EP3-suolasumulevyt suolasumukokeen jälkeen. EP3-maalin suolasumulevyt olivat selvästi parhaimpia kaikista sinkkivapaa pigmentoiduista suolasumulevyistä. Näissä levyissä ei ollut paljon pintaruostetta, mutta rakkuloitumista esiintyi isompana kuin EP4- ja EP5-suolasumulevyissä.



Kuva 27. EP2-maalin suolasumulevyt suolasumukokeen jälkeen.

EP2-suolasumulevyissä on samanlaista ruostetta maalikalvon alapuolella kuin EP4- ja EP5-suolasumulevyissä. Tämän lisäksi EP2-suolasumulevyissä on paljon pintaruostetta.



Kuva 28. EP3-maalin suolasumulevyt suolasumukokeen jälkeen.

Taulukossa 27 on polyuretaanimaalien pinnanarviointeja suolasumukokeen jälkeen.

Taulukko 27. Polyuretaanimaalien suolasumukokeen jälkeiset pinnanarviointit.

Maali ja numero	Rakkuloituminen	Ruostuminen	Halkeileminen	Hilseily	Ruosteen eteneminen (mm)	Etenemisten keskiarvo (mm)
PUR1 / Suolasumu 1	0	Ri 1	0	0	0,1	0,2
PUR1 / Suolasumu 2	0	0	0	0	0,2	
PUR1 / Suolasumu 3	0	0	0	0	0,2	
PUR2 / Suolasumu 1	0	0	0	0	0,5	0,4
PUR2 / Suolasumu 2	Yksittäinen kupla	0	0	0	0,5	
PUR2 / Suolasumu 3	0	0	0	0	0,3	
PUR3 / Suolasumu 1	0	0	0	0	0,7	0,8
PUR3 / Suolasumu 2	0	0	0	0	0,3	
PUR3 / Suolasumu 3	0	Ri 1	0	0	1,4	
PUR4 / Suolasumu 1	0	0	0	0	1,1	0,6
PUR4 / Suolasumu 2	0	0	0	0	0,2	
PUR4 / Suolasumu 3	0	Ri 1	0	0	0,5	
PUR5 / Suolasumu 1	0	Ri 1	0	0	2,0	1,4
PUR5 / Suolasumu 2	0	0	0	0	1,2	
PUR5 / Suolasumu 3	0	0	0	0	1,0	

Kuvassa 29 on esitetty maalin PUR2 suolasumukokeen jälkeiset suolasumukoelevyt. PUR-suolasumukoelevyt olivat selvästi pinnanlaadullisesti parempia kuin EP-suolasumukoelevyt.



Kuva 29. PUR2-maalin suolasumulevyt suolasumukokeen jälkeen.

Polyuretaanimaaleissa lähes kaikki levyt läpäisivät suolasumukokeen. PUR1-PUR5-maalien suolasumukoelevyissä oli vain pieniä pinnanmuutoksia (taulukko 27). Viilloissa ruosteen eteneminen oli kuitenkin huomattavasti isompaa PUR2-PUR5 maaleissa verrattuna PUR1-maaliin. Yhdessä PUR5-suolasumulevyistä ruosteen eteneminen ylitti standardin SFS-EN ISO 12944–6 mukaisen 1,5 mm:n rajan [17, s. 14]. Tuloksissa riitti kuitenkin, että kaksi kolmesta koelevystä läpäisi suolasumukokeen [18]. Huonompaan ruostumisen etenemiseen viilloissa PUR-maaleissa on oletettavasti vaikuttanut maalikalvojen tiiviys. Epoksimaaleilla on tunnetusti tiiviimpi maalikalvo kuin polyuretaanimaaleilla, jolloin myös kosteuden kulkeminen maalikalvon läpi on hitaampaa hidastaen ruostumisen etenemistä viillossa.

6.3 Hilaristikkokokeiden tulokset ja arvioinnit

Koelevyille on esitetty standardin SFS-EN ISO 2409 mukaiset hilaristikkokokeiden tulokset. Hilaristikkokokeessa irronneet maalihiukkaset on poistettu vain harjaamalla. Liitteissä 1–10 tulokset on esitetty kuvineen lyhyesti.

6.3.1 0-levyjen hilaristikkokokeiden tulokset ja arvioinnit

Tässä kappaleessa on esitetty rasituksille altistamattomien 0-levyjen tuloksia hilaristikkokokeissa. Hilaristikkokokeet suoritettiin 0-levyille maalipinnoitteen kahden viikon vakioinnin jälkeen [18]. Taulukossa 28 on esitetty epoksi- ja polyuretaanimaalien hilaristikkokokeiden tulokset.

Taulukko 28. EP- ja PUR-maalien hilaristikkokokeiden tuloksia 0-levyillä.

Maali	0-levy 1	0-levy 2	0-levy 3
EP1	0	0	0
EP2	0	0	0
EP3	0	0	0
EP4	0	0	0
EP5	0	1	0
PUR1	0	0	0
PUR2	0	0	0
PUR3	0	0	0
PUR4	0	0	0
PUR5	0	0	0

Kaikki taulukon 28 levyt läpäisivät hilaristikkokokeen standardin SFS-EN 12944–6 mukaisesti [17, s. 14]. Liitteissä 1–10, sivuilla 1 on esitetty kuvia 0-levyjen hilaristikkokokeista.

6.3.2 Kondenssilevyjen hilaristikkokokeiden tulokset ja arvioinnit

Hilaristikkokokeet suoritettiin kondenssilevyille standardin SFS-EN ISO 12944–6 mukaisesti vasta seitsemän päivän vakioinnin jälkeen [17, s. 14]. Taulukossa 29 on esitetty epoksi- ja polyuretaanimaalien kondenssilevyille tehtyjen hilaristikkokokeiden tuloksia.

Taulukko 29. EP- ja PUR-maalien hilaristikkokokeiden tuloksia kondenssilevyillä. Kohdat esittävät mihin kohtaan levyä hilaristikkokoete on tehty.

Maali	Kohdat	Kondenssi 1	Kondenssi 2	Kondenssi 3
EP1	Oikea ylä	1	0	0
	Vasen ylä	0	0	0
	Vasen ala	1	0	0
EP2	Oikea ylä	0	0	0
	Vasen ylä	0	0	0
	Vasen ala	0	0	0
EP3	Oikea ylä	0	0	0
	Vasen ylä	0	0	0
	Vasen ala	0	0	0
EP4	Oikea ylä	0	0	0
	Vasen ylä	0	0	0
	Vasen ala	0	0	0
EP5	Oikea ylä	0	0	0
	Vasen ylä	0	0	0
	Vasen ala	0	0	0
PUR1	Oikea ylä	0	0	0
	Vasen ylä	1	0	0
	Vasen ala	1	0	0
PUR2	Oikea ylä	0	1	0
	Vasen ylä	1	1	0
	Vasen ala	1	1	0
PUR3	Oikea ylä	0	0	0
	Vasen ylä	0	0	0
	Vasen ala	0	0	0
PUR4	Oikea ylä	1	1	1
	Vasen ylä	1	1	1
	Vasen ala	0	1	1
PUR5	Oikea ylä	1	1	0
	Vasen ylä	1	1	1
	Vasen ala	1	1	1

Maaleissa EP1 ja PUR1-PUR5 esiintyy hiukan enemmän maalin irtoamista kuin 0-levyjen hilaristikkokokeissa (taulukko 28). Kaikki levyt kuitenkin läpäisevät standardin SFS-EN ISO 12944–6 vaatimukset hilaristikkokokeiden osalta [17, s. 14]. Liitteissä 1–10, sivuilla 3 on esitetty kuvia kondenssilevyille tehdyistä hilaristikkokokeista.

6.3.3 Suolasumulevyjen hilaristikkokokeiden tulokset ja arvioinnit

Suolasumulevyjen hilaristikkokokeet tehtiin myös seitsemän päivän vakioinnin jälkeen [17, s. 14]. Taulukossa 30 on esitetty epoksi- ja polyuretaanimaalien suolasumulevyille suoritettujen hilaristikkokokeiden tuloksia.

Taulukko 30. EP- ja PUR-maalien hilaristikkokokeiden tuloksia suolasumulevyillä.

Maali	Kohdat	Suolasumu 1	Suolasumu 2	Suolasumu 3
EP1	Oikea ylä	Epäonnistunut	1	1
	Vasen ylä	1	0	1
	Vasen ala	0	1	1
EP2	Oikea ylä	1	2	1
	Vasen ylä	1	1	1
	Vasen ala	2	1	1
EP3	Oikea ylä	1	0	0
	Vasen ylä	0	0	0
	Vasen ala	0	1	1
EP4	Oikea ylä	1	1	0
	Vasen ylä	0	1	0
	Vasen ala	0	0	0
EP5	Oikea ylä	1	1	0
	Vasen ylä	0	0	0
	Vasen ala	0	0	0
PUR1	Oikea ylä	0	0	0
	Vasen ylä	0	0	0
	Vasen ala	0	0	0
PUR2	Oikea ylä	1	1	1
	Vasen ylä	0	1	0
	Vasen ala	0	1	0
PUR3	Oikea ylä	0	0	0
	Vasen ylä	0	0	0
	Vasen ala	0	0	0
PUR4	Oikea ylä	1	1	1
	Vasen ylä	1	0	0
	Vasen ala	1	0	0
PUR5	Oikea ylä	0	1	0
	Vasen ylä	0	0	1
	Vasen ala	0	0	0

Taulukon 30 EP-maalien tuloksista näkee kuinka ruoste vaikuttaa hilaristikkokokeiden tuloksiin. Maali irtoaa selvästi herkemmin harjatessa hilaristikoita, kun maalikalvossa ja sen alla on ruostetta. PUR-maalien tulokset suolasumulevyillä ovat suurin piirtein samaa tasoa kuin kondenssilevyilläkin (taulukko 29). Kaikki suolasumulevyt myöskin läpäisevät standardin SFS-EN ISO 12944–6 hilaristikkokokeiden vaatimukset [17, s. 14]. Liitteissä 1–10, sivuilla 5 on esitetty kuvia suolasumulevyille tehdyistä hilaristikkokokeista.

6.4 Vetokokeiden tulokset ja arvioinnit

Koelevyistä on esitetty standardin SFS-EN ISO 4624 mukaiset vetokokeiden tulokset. Vetokokeiden murtumatyyppit on esitelty luvussa 5.2. Liitteissä 1–10 on esitetty kuvat ja tulokset vetokokeista lyhyesti.

6.4.1 0-levyjen vetokokeiden tulokset ja arvioinnit

Vetokokeet suoritettiin 0-levyille kahden viikon vakioinnin jälkeen [18]. Taulukossa 31 on epoksimaalien vetokoetuloksia 0-levyillä.

Taulukko 31. Epoksimaalien 0-levyjen vetokoetuloksia.

Maali	0-levyt	Lujuus (kolmen vedon keskiarvo)	Murtumatyyppi (kolmen vedon keskiarvo)
EP1	0-levy 1	10,71 MPa	40 % Y/Z, 60 % B
	0-levy 2	7,30 MPa	70 % Y/Z, 30 % B
	0-levy 3	7,64 MPa	90 % Y/Z, 10 % B
EP2	0-levy 1	9,52 MPa	40 % Y/Z, 60 % B
	0-levy 2	7,21 MPa	70 % Y/Z, 30 % B
	0-levy 3	10,94 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
EP3	0-levy 1	8,34 MPa	50 % Y/Z, 50 % B
	0-levy 2	12,63 MPa	100 % B
	0-levy 3	11,16 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
EP4	0-levy 1	12,60 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
	0-levy 2	11,82 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
	0-levy 3	9,62 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
EP5	0-levy 1	12,25 MPa	100 % B
	0-levy 2	11,21 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
	0-levy 3	10,87 MPa	100 % B

Taulukossa 32 on esitetty polyuretaanimaalien vetokoetuloksia 0-levyillä.

Taulukko 32. Polyuretaanimaalien 0-levyjen vetokoetuloksia.

Maali	0-levyt	Lujuus (kolmen vedon keskiarvo)	Murtumatyyppi (kolmen vedon keskiarvo)
PUR1	0-levy 1	13,16 MPa	100 % B
	0-levy 2	13,56 MPa	100 % B
	0-levy 3	13,78 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
PUR2	0-levy 1	13,77 MPa	100 % B
	0-levy 2	13,58 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
	0-levy 3	13,28 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
PUR3	0-levy 1	12,81 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
	0-levy 2	13,36 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
	0-levy 3	13,28 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
PUR4	0-levy 1	13,92 MPa	30 % Y/Z, 70 % B
	0-levy 2	13,86 MPa	40 % Y/Z, 60 % B
	0-levy 3	14,70 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
PUR5	0-levy 1	14,46 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
	0-levy 2	13,78 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
	0-levy 3	14,65 MPa	10 % Y/Z, 90 % B

Molemmat, EP- ja PUR-maalien 0-levyt, läpäisevät vetokokeet standardin SFS-EN 12944–6 rajoissa, jossa minimi vetoarvo jokaiselle mittaukselle on 2,5 MPa [17, s. 14]. 0-levyissä metallipinnan ja maalipinnan välisiä murtumia ei ole. Liitteissä 1–10 on esitetty EP- ja PUR-maalien kuvat 0-levyjen vetokokeista sivuilla 1.

6.4.2 Kondenssilevyjen vetokokeiden tulokset ja arvioinnit

Kondenssilevyjen vetokokeet tehtiin seitsemän päivän vakioinnin jälkeen. Taulukossa 33 on esitetty epoksimaalien vetokoetuloksia kondenssilevyillä.

Taulukko 33. Epoksimaalien kondenssilevyjen vetokoetuloksia.

Maali	Kondenssilevyt	Lujuus (kolmen vedon keskiarvo)	Murtumatyyppi (kolmen vedon keskiarvo)
EP1	Kondenssi 1	4,55 MPa	60 % B, 40 % A/B
	Kondenssi 2	4,75 MPa	60 % B, 40 % A/B
	Kondenssi 3	5,06 MPa	60 % B, 40 % A/B
EP2	Kondenssi 1	5,86 MPa	20 % B, 80 % A/B
	Kondenssi 2	4,93 MPa	20 % B, 80 % A/B
	Kondenssi 3	5,31 MPa	10 % B, 90 % A/B
EP3	Kondenssi 1	11,48 MPa	80 % B, 20 % A/B
	Kondenssi 2	10,13 MPa	30 % Y/Z, 70 % B
	Kondenssi 3	12,13 MPa	10 % Y/Z, 80 % B, 10 % A/B
EP4	Kondenssi 1	12,29 MPa	100 % B
	Kondenssi 2	12,52 MPa	90 % B, 10 % A/B
	Kondenssi 3	12,90 MPa	100 % B
EP5	Kondenssi 1	13,00 MPa	90 % B, 10 % A/B
	Kondenssi 2	11,48 MPa	90 % B, 10 % A/B
	Kondenssi 3	13,71 MPa	90 % B, 10 % A/B

Taulukossa 34 on polyuretaanien kondenssilevyjen vetokoetuloksia.

Taulukko 34. Polyuretaanimaalien kondenssilevyjen vetokoetuloksia.

Maali	Kondenssilevyt	Lujuus (kolmen vedon keskiarvo)	Murtumatyyppi (kolmen vedon keskiarvo)
PUR1	Kondenssi 1	15,39 MPa	100 % B
	Kondenssi 2	14,15 MPa	100 % B
	Kondenssi 3	12,81 MPa	100 % B
PUR2	Kondenssi 1	14,82 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
	Kondenssi 2	14,40 MPa	30 % Y/Z, 70 % B
	Kondenssi 3	13,97 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
PUR3	Kondenssi 1	11,71 MPa	50 % Y/Z, 50 % B
	Kondenssi 2	14,60 MPa	40 % Y/Z, 60 % B
	Kondenssi 3	14,83 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
PUR4	Kondenssi 1	13,86 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
	Kondenssi 2	12,48 MPa	100 % B
	Kondenssi 3	12,60 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
PUR5	Kondenssi 1	13,28 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
	Kondenssi 2	12,06 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
	Kondenssi 3	13,38 MPa	10 % Y/Z, 90 % B

Vetokoetulosten perusteella polyuretaanimaalien kondenssilevyt (taulukot 34 ja 35) suoriutuivat vetokokeista yhtä hyvin kuin 0-levytkin (taulukko 32). Epoksimaalien kondenssilevyille tehtyjen vetokokeiden tulosten (taulukko 33) perusteella voidaan päätellä, että EP1- ja EP2-maalien rakkuloituminen kondenssitesteissä (taulukko 24) on vaikuttanut suuresti maalikalvon ja alustan väliseen adheesioon. Tarkemmin tarkasteltuna huomataan, että EP1-EP5-maaleilla on metallipinnoilla isompaa ja pienempää ruostepistettä maalikalvon alla (liitteet 1–10, sivut 3). Tämän perusteella voidaan olettaa, että EP1- ja EP2-maalien rakkuloituminen on johtunut ruostumisesta.

Standardin SFS-EN ISO 12944–6:n vaatimusten perusteella lähes kaikki maalit onnistuivat vetokokeessa. EP1-maali epäonnistui ja EP2-maali läpäisi vaatimukset rimaa hiipoen, sillä metallipinnan ja maalikalvon välisessä murtumassa ei saa olla yhtään virettä, ellei vetoarvo 5 MPa tai enemmän. [17, s. 14.] Vaatimuksena oli, että maalien levyistä 2/3 läpäisee kunkin testin [18].

6.4.3 Suolasumulevyjen vetokokeiden tulokset ja arvioinnit

Suolasumulevyjen vetokokeet suoritettiin myös seitsemän päivän vakioinnin jälkeen [17, s. 14]. Taulukossa 35 on esitetty epoksimaalien vetokokeiden tuloksia suolasumulevyillä.

Taulukko 35. Epoksimaalien suolasumulevyjen vetokokeiden tulokset.

Maali	Suolasumulevyt	Lujuus (kolmen vedon keskiarvo)	Murtumatyyppi (kolmen vedon keskiarvo)
EP1	Suolasumu 1	9,56 MPa	100 % B
	Suolasumu 2	9,79 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
	Suolasumu 3	9,19 MPa	100 % B
EP2	Suolasumu 1	5,94 MPa	100 % A/B
	Suolasumu 2	5,65 MPa	100 % A/B
	Suolasumu 3	4,88 MPa	100 % A/B
EP3	Suolasumu 1	7,05 MPa	80 % B, 20 % A/B
	Suolasumu 2	5,53 MPa	70 % B, 30 % A/B
	Suolasumu 3	6,56 MPa	90 % B, 10 % A/B
EP4	Suolasumu 1	6,94 MPa	50 % B, 50 % A/B
	Suolasumu 2	7,06 MPa	50 % B, 50 % A/B
	Suolasumu 3	7,56 MPa	50 % B, 50 % A/B
EP5	Suolasumu 1	5,68 MPa	40 % B, 60 % A/B
	Suolasumu 2	6,34 MPa	60 % B, 40 % A/B
	Suolasumu 3	6,65 MPa	20 % B, 80 % A/B

Taulukossa 36 on polyuretaanimaalien tulokset vetokokeista.

Taulukko 36. Polyuretaanimaalien suolasumulevyjen vetokokeiden tulokset.

Maali	Suolasumulevyt	Lujuus (kolmen vedon keskiarvo)	Murtumatyyppi (kolmen vedon keskiarvo)
PUR1	Suolasumu 1	12,79 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
	Suolasumu 2	16,17 MPa	30 % Y/Z, 70 % B
	Suolasumu 3	11,98 MPa	30 % Y/Z, 70 % B
PUR2	Suolasumu 1	12,95 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
	Suolasumu 2	13,76 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
	Suolasumu 3	14,69 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
PUR3	Suolasumu 1	12,37 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
	Suolasumu 2	15,64 MPa	10 % Y/Z, 90 % B
	Suolasumu 3	12,04 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
PUR4	Suolasumu 1	12,70 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
	Suolasumu 2	12,03 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
	Suolasumu 3	12,70 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
PUR5	Suolasumu 1	12,22 MPa	20 % Y/Z, 80 % B
	Suolasumu 2	13,84 MPa	50 % Y/Z, 50 % B
	Suolasumu 3	12,11 MPa	40 % Y/Z, 60 % B

Kuten kondenssilevyjenkin tilanteessa, epoksimaalien suolasumulevyjen rakkuloituminen ja ruoste (taulukko 26) on heikentänyt vaikuttavasti vetokokeiden tuloksia verrattuna 0-levyjen vetokoetuloksiin (taulukko 31). Polyuretaanimaalien tulokset olivat suolasumulevyissä edelleen saman tasoisia kuin 0-levyissä (taulukko 32).

Tulokset epoksimaalien suolasumulevyjen vetokokeissa olivat juuri ja juuri standardin SFS-EN ISO 12944–6 rajoissa [17, s. 14]. Näiden koelevyjen metallipinnoilla oli kuitenkin ruostetta. EP1-maalin suolasumukoelevyjen metallipinnoilla oli myös erittäin pieniä ruostepisteitä (liite 1, sivu 5), vaikka se läpäisi suolasumukokeen pinnanarvioinnin. EP2-EP5-maalien vetokoekuvat on esitetty liitteissä 2–5 sivuilla 5.

6.5 Epoksi- ja polyuretaanimaalien toimivuus tulosten perusteella

Epoksi- ja polyuretaanimaalien toimivuuden vertailu esitetty taulukossa 37.

Taulukko 37. Epoksi- ja polyuretaanimaalien toimivuus. + kuvastaa toimivuutta ja - toimimattomuutta. Toimivuuksissa on otettu huomioon kaikki levyille tehtyjen testien tulokset.

Maalit	0-levyt	Kondenssilevyt	Suolasumulevyt	Lopullinen toimivuus standardin SFS-EN ISO 12944–6 mukaisesti
EP1	+	-	+	-
EP2	+	-	-	-
EP3	+	+	-	-
EP4	+	+	-	-
EP5	+	+	-	-
PUR1	+	+	+	+
PUR2	+	+	+	+
PUR3	+	+	+	+
PUR4	+	+	+	+
PUR5	+	+	+	+

Taulukon 37 toimivuuksien perusteella voidaan päätellä, että uudenlaiset sinkkivapaat korroosionestopigmentit toimivat paremmin liuotinhenteisissä polyuretaanimaaleissa.

Polyuretaanimaaleissa saatiin erittäin paljon saman tasoisia tuloksia maalien välillä. Vain viillon korroosionetenemisessä sinkkivapaapitoiset maalit toimivat huomattavasti huonommin kuin sinkkifosfaattipitoinen maali.

Vesiohenteisissa epoksimaaleissa uudenlaiset sinkkivapaat korroosionestopigmentit toimivat erittäin heikosti. Epoksimaalien koelevyt olivat hilaristikko- ja vetokokeiden osalta standardin SFS-EN ISO 12944-6 vaatimusten tasoisia [17, s. 14]. Näissä esiintyi kuitenkin rakkuloitumista ja ruostetta, erityisesti suolasumulevyillä, mikä ei ole korroosioneston kannalta toivottava asia.

Erikoista tuloksissa kuitenkin oli, että maali EP3 toimi paremmin kondenssi- ja suolasumukokeissa kuin maali EP2, vaikka EP3-maalissa oli painoprosenttisesti vähemmän pigmenttiä A kuin maalissa EP2. Tähän saattaa vaikuttaa se, että maali EP2 on ollut huokoisempaa kuin maali EP3 korkeamman kuiva-ainepitoisuuden takia. Tällöin reagoivaa sideainetta on voinut olla suhteessa vähemmän maalissa EP2 johtuen maalikalvon huokoisuuteen, jolloin kosteus on päässyt kulkemaan metallipinnalle helpommin. Tämän tapahtumiseen on kuitenkin erittäin pieni mahdollisuus, koska pigmentin A painoprosenttiset erot maaleissa EP2 ja EP3 olivat erittäin pienet [32.] Maaleissa EP4 ja EP5 pigmentin B välisiä eroja ei juurikaan ollut.

Sinkkivapaista pigmenteistä A kuitenkin toimi molemmissa maalityypeissä paremmin kuin B. Tähän on oletettavasti vaikuttanut pigmentin A, muokatun polyfosfaatin, toimintatapa, jossa polyfosfaattikalvot stabiloivat metallikationeja poistamalla näiden ioneja ke-laatiolla eli muodostamalla metallikomplekseja. Tämän jälkeen pigmentti A dissosioituu ortofosfaatiksi ja toimii kuten sinkkifosfaatti ja pigmentti B. Sinkkifosfaatilla saatiin kuitenkin maalityypeissä parhaimmat tulokset korroosioneston kannalta johtuen oletettavasti siitä, että sinkkifosfaatti pystyy estämään korroosiota anodi- ja katodialueilla.

7 Yhteenveto

Kokonaisuutena uudenlaisten sinkkivapaiden korroosionestopigmenttien testaamisesta saatiin paljon hyödyllistä tietoa. Vesiohenteisissa epoksimaaleissa sinkkivapaiden korroosionestopigmenttien toimivuuksien lopputulokset eivät olleet odotetun laisia. On

mahdollista, että sinkkivapaat pigmentit eivät vain yksinkertaisesti toimineet vesiohenteisissä epoksimaaleissa. Todennäköisin syy tähän voi olla, että uudenlaiset korroosionestopigmentit jauhettiin maaliosaan, joka koostui amiineista eikä epoksista. Itse epoksiosa oli käytetyssä kovetteessa. Yleensä epoksiosa on maalissa ja amiiniosa kovetteessa, mutta vesiohenteisissä epoksimaaleissa valmistaminen on helpompaa, jos amiiniosa on maalissa. Yleisessä tiedossa ei myöskään ole, onko pigmentit testattu epoksi- vai amiinipitoisessa maaliosassa pigmenttien valmistajan osalta. Liuotinohenteisissä polyuretaanimaaleissa sinkkivapaiden korroosionestopigmenttien toimivuus oli kuitenkin erittäin saman kaltaista kuin sinkkifosfaatilla.

Standardin SFS-EN ISO 12944–6 mukaisessa arvioinnissa liuotinohenteiset polyuretaanimaalit täyttivät standardin vaatimukset kokonaan. Vesiohenteiset epoksimaalit eivät täyttäneet standardin kaikkia vaatimuksia. Sinkkivapaista pigmenteistä A oli kuitenkin molemmassa maalityypeissä toimivuudeltaan parempi kuin pigmentti B.

Sinkkivapaiden korroosionestopigmenttien toimivuudesta verrattuna sinkkifosfaattiin on jo tehty tutkimuksia muuallakin kuin tässä insinööriyössä. Näissä on todettu, että esimerkiksi fosfosilikaattiin perustuvien sinkkivapaiden korroosionestopigmenttien suojauskyky on heikompi kuin sinkkifosfaatilla, vaikka saadut tulokset ovat olleet tyydyttäviä. [33.]

Nykyiset hävitykseen liittyvät ja mahdollisesti tulevaisuudessa tulevat rajoitukset sinkkifosfaatille vaikuttavat kuitenkin sen käyttöön tulevaisuudessa. Tämän takia sinkkivapaat korroosionestopigmentit, etenkin muokattu polyfosfaatti pigmentti A, ovat mahdollisia korvaajia sinkkifosfaatille teollisissa korroosionestomaaleissa. Vielä sinkkivapaiden korroosionestopigmenttien käytölle ei ole kuitenkaan välttämätöntä kiirettä tai pakkoa.

Lähteet

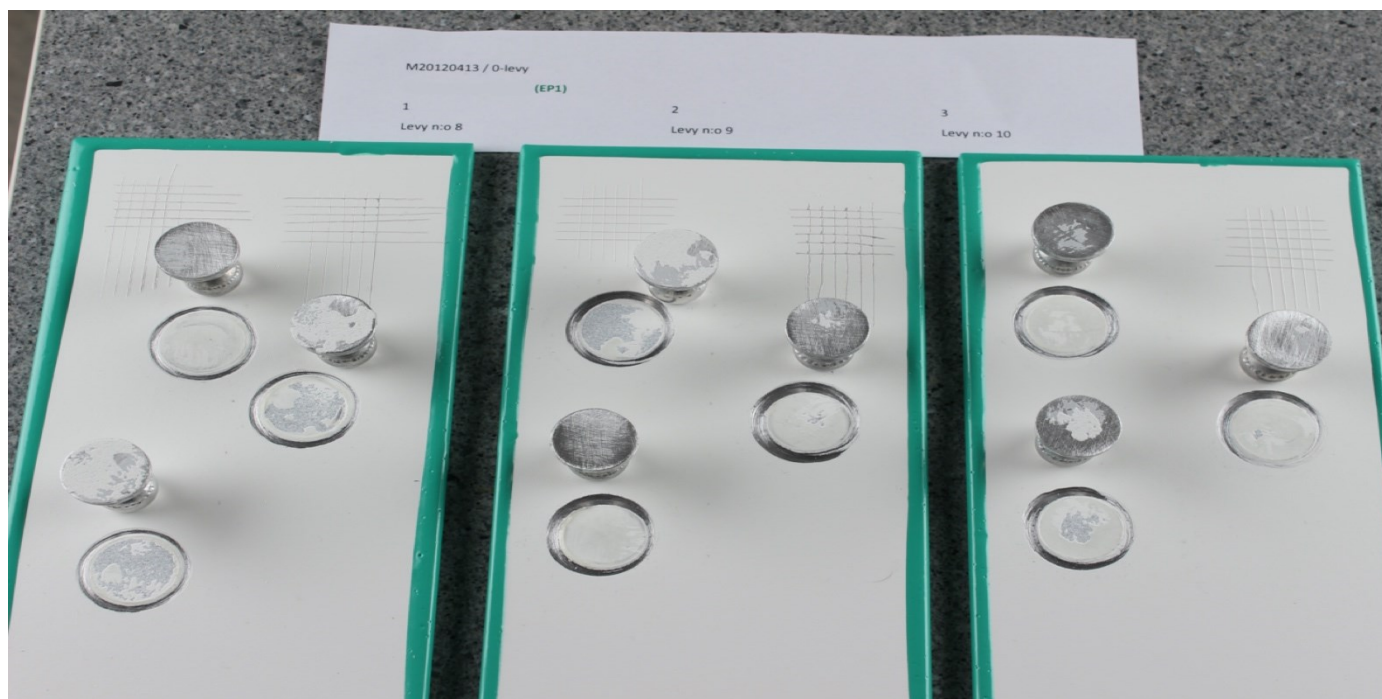
- 1 Metallipintojen teollinen maalaus. Verkkoaineisto. Tikkurila Oyj. <<https://docplayer.fi/1340945-Metallipintojen-teollinen-maalaus.html>>. Luettu 8.3.2021.
- 2 Laitinen, Kai. 2018. Korroosionestomaalaus 1. Luentodiasarja. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 3 Väisänen, Päivi. 2007. Teräs perustietoa arkkitehtiopiskelijalle. E-kirja. TKK Arkkitehtiosasto Rakennusoppi.
- 4 SFS-EN ISO 12944–2. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. 2017. Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 5 SFS-EN ISO 12944–1. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. 2017. Yleistä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 6 Binders. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. SVEFF.
- 7 Hirsch, Marc. Polyisocyanates Deep Dive. Verkkoaineisto. Prospector. <<https://knowledge.ulprospector.com/5144/pc-polyisocyanates-deep-dive/>>. Päivitetty 31.1.2021. Luettu 26.3.2021.
- 8 Raaka-ainekoulutus. Muut sideaineet ja kovetteet. 2015. Yrityksen sisäinen dokumentti. Tikkurila Oyj.
- 9 Isosyanaatit. Verkkoaineisto. Työterveyslaitos. <<https://www.ttl.fi/kemikaalit-ja-tyo/isosyanaatit/>>. Luettu 27.3.2021.
- 10 Korroosionestopigmenteistä. Verkkoaineisto. Tikkurila Oyj. <<https://tikkurila.fi/pro/artikkeli/korroosionestopigmenteista>>. Luettu 27.3.2021.
- 11 Holopainen, Suvi. 2010. Korroosioinhibiitit coil-pinnoitteissa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- 12 Sander, Jörg; Kirmaier, Lars; Manea, Mircea; Shchukin, Dmitry & Skorb, Ekaterina. 2010. Anticorrosive Coatings. E-kirja. Vincentz Network GmbH & Co KG.
- 13 Buxbaum, Gunter & Pfaff, Gerhard. 2005. Industrial Inorganic Pigments. 3rd ed. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

- 14 Kemikaalien varoitusmerkit. Verkkoaineisto. Tukes. <<https://tukes.fi/kemikaalit/clp-luokitus-merkinnat-ja-pakkaaminen/kemikaalien-merkinnat/varoitusmerkit#varoitusmerkki:-ghs09-%E2%80%93vaarallinen-ymparistolle>>. Luettu 7.4.2021.
- 15 Ronkainen, Petri. Senior Researcher, Tikkurila Oyj, Vantaa. Keskustelu 16.3.2021.
- 16 Smart and innovative zinc-free anticorrosives. 2017. Verkkoaineisto. Heubach. <https://www.heubachcolor.com/fileadmin/downloads/brochures/Zinc_Free_web.pdf>. Luettu 7.4.2021.
- 17 SFS-EN ISO 12944–6. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suoja-maaliyhdistelmillä. 2018. Laboratoriomenetelmät suorituskyvyn testaamiseksi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 18 Maaliyhdistelmien testaaminen korroosiorasitusluokkiin C2-C5 standardin ISO 12944–6 mukaisesti. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Tikkurila Oyj.
- 19 SFS-EN ISO 8501–1. Teräspintojen esikäsittely ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. 2007. Teräspintojen ruostumisasteet ja esikäsittelyasteet. Maalaamattomat teräspinnat ja aiemmista maaleista kauttaaltaan puhdistetut teräspinnat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 20 SFS-EN ISO 8503–1. Preparation of steel substrates before application of paints and related products. Surface roughness characteristics of blast-cleaned steel substrates. 2012. Specifications and definitions for ISO surface profile comparators for the assessment of abrasive blast-cleaned surfaces. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 21 SFS-ISO 19840. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suoja-maaliyhdistelmillä. 2015. Pinnoitteiden kuivakalvonpaksuuden mittaus ja hyväksymisperiaatteet karheilla pinnoilla. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 22 SFS-EN ISO 2409. Paints and varnishes. 2020. Cross-cut test. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 23 SFS-EN ISO 4624. Maalit ja lakat. 2016. Tarttuvuuden arviointi vetokokeella. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto.
- 24 Tarttuvuuden arviointi vetokokeella. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Tikkurila Oyj.

- 25 Laitinen, Kai. 2018. Korroosionestomaalaus 6. Luentodiasarja. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 26 SFS-EN ISO 6270–1. Maalit ja Lakat. Kosteudenkestävyyden määrittäminen. 2018. Kondensoituminen (yksipuoleinen altistuminen). Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 27 SFS-EN ISO 4628–2. Maalit ja lakat. Pinnoitteiden huononemisen arviointi. Yleisten virhetyyppien esiintymisen voimakkuuden, määrän ja koon merkintä. 2016. Rakkuloitumisasteen arviointi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 28 SFS-EN ISO 4628–3. Maalit ja lakat. Pinnoitteiden huononemisen arviointi. Yleisten virhetyyppien esiintymisen voimakkuuden, määrän ja koon merkintä. 2016. Ruostumisasteen arviointi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 29 SFS-EN ISO 9227. Korroosiokokeet keinotekoisissa kaasuympäristöissä. 2017. Suolasumukokeet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 30 Neutraalissa suolasumutestissä käytettävien suolasumulaitteiden syövyttävyydestä (laitteen toiminnan tarkastus). 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Tikkurila Oyj.
- 31 Myllymäki, Tiina. 2021. Värimittausohjelman soveltuvuuden arviointi ja vertaaminen vanhaan ohjelmaan. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 32 Ronkainen, Petri. Senior Researcher, Tikkurila Oyj, Vantaa. Keskustelu 3.5.2021.
- 33 El-Hamid, D; Blustein, G; Deyá, M; del Amo, B & Romagnoli, R. The anticorrosive performance of zinc-free non-toxic pigment for paints. Materials Chemistry and Physics 2011, s. 353–357. Elsevier B.V.

EP1-koelevyjen testitulokset

Kuvassa 1 on maalin EP1 0-levyt tartuntatestien jälkeen.



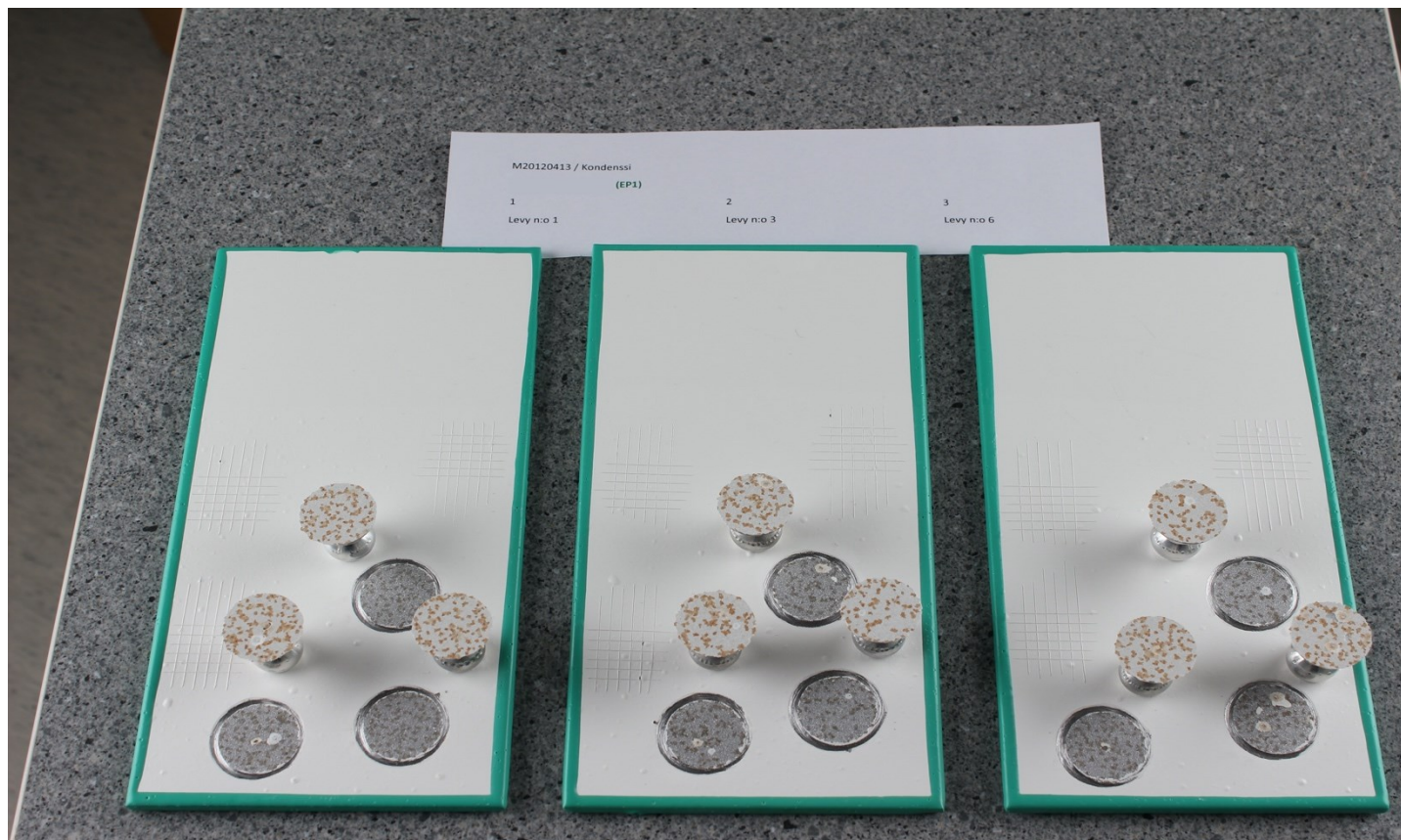
Kuva 1. EP1 0-levyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 1 on maalin EP1 0-levyjien tuloksia kuivakalvon paksuuksista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 1. EP1 0-levyjien tuloksia. Kuivakalvonpaksuuksista on esitetty keskiarvo ja (minimi-maksimi).

EP1, 0-levyt			
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 8 / EP1 0-levy 1	137 (126–144)	0	7,14 MPa. 100 % Y/Z 12,50 MPa. 20 % Y/Z, 80 % B 12,50 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B
Levy 9 / EP1 0-levy 2	137 (128–141)	0	10,34 MPa. 20 % Y/Z, 80 % B 6,45 MPa. 90 % Y/Z, 10 % B 5,11 MPa. 100 % Y/Z
Levy 10 / EP1 0-levy 3	143 (133–158)	0	8,70 MPa. 100 % Y/Z 6,46 MPa. 100 % Y/Z 7,75 MPa. 80 % Y/Z, 20 % B

Kuvassa 2 on maalin EP1-kondenssilevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 2. EP1-kondenssilevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 2 on maalin EP1-kondenssilevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 2. EP1-kondenssilevyjen tuloksia.

EP1, kondenssilevyt								
Levy / Maali- yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon- paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628- 2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628-4	Hilseily Flaking ISO 4628-5	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 1 / EP1 Kondenssi 1	139 (128–152)	240	5(S4)	0	0	0	1, 0, 0	4,81 MPa. 60 % B, 40 % A/B 4,95 MPa. 60 % B, 40 % A/B 3,90 MPa. 60 % B, 40 % A/B
Levy 3 / EP1 Kondenssi 2	132 (116–144)	240	5(S4)	0	0	0	0, 0, 0	5,02 MPa. 60 % B, 40 % A/B 4,17 MPa. 60 % B, 40 % A/B 5,05 MPa. 60 % B, 40 % A/B
Levy 6 / EP1 Kondenssi 3	140 (131–151)	240	5(S4)	0	0	0	1, 0, 0	4,76 MPa. 60 % B, 40 % A/B 5,81 MPa. 60 % B, 40 % A/B 4,61 MPa. 60 % B, 40 % A/B

Kuvassa 3 on maalin EP1-suolasumulevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 3. EP1-suolasumulevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

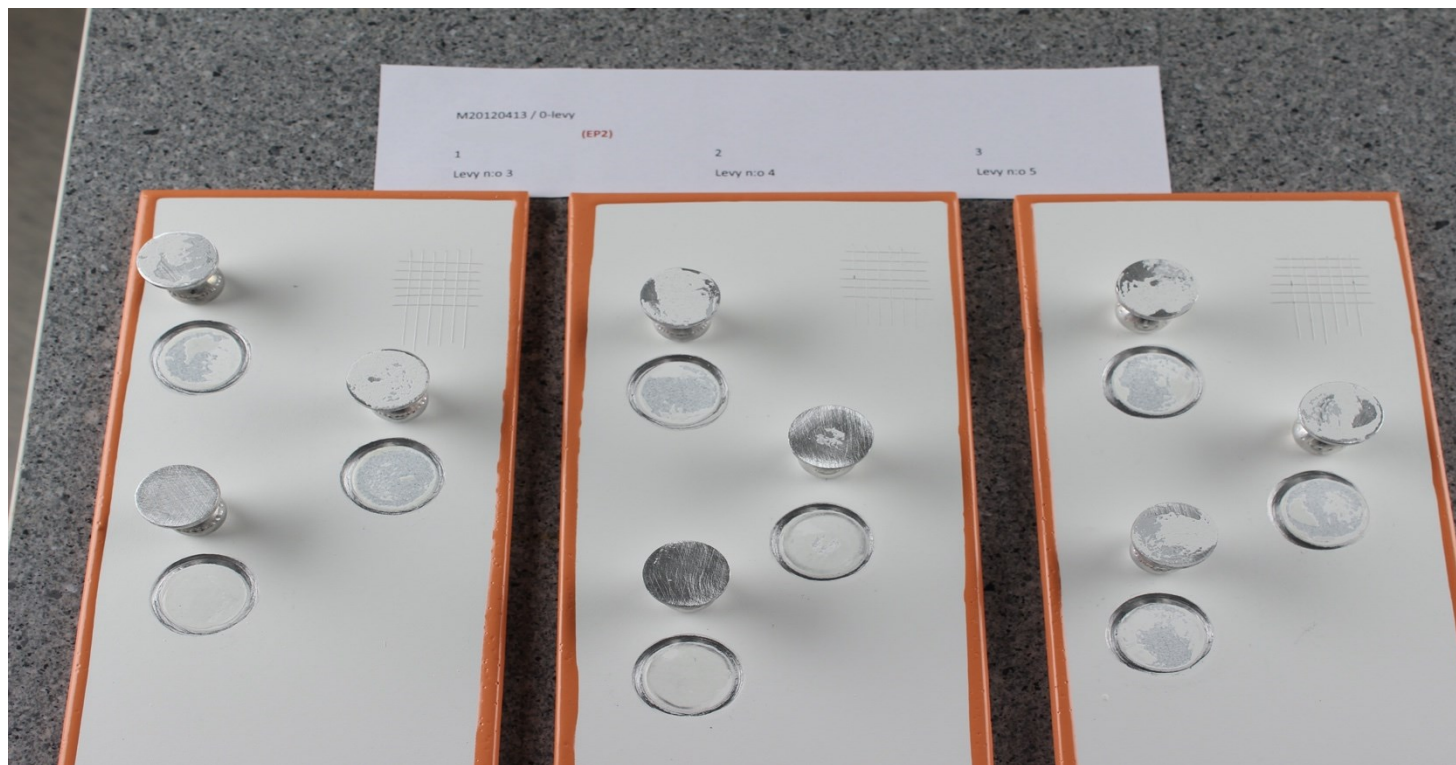
Taulukossa 3 on maalin EP1-suolasumulevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, naarmujen vaurioista, hilaristikkokokeista ja vetokokeista.

Taulukko 3. EP1-suolasumulevyjen tuloksia. Levyn 2 yksi hilaristikoista epäonnistui eikä siitä ole arvioitu.

EP1, suolasumulevyt									
Levy / Maali- yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon- paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628- 2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628- 4	Hilseily Flaking ISO 4628- 5	Vaurio naarmusta, Creep/Corrosion from scratch mm ISO 12944-6	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 2 / EP1 Suolasumu 1	143 (138–147)	480	0	0	0	0	0,3	1, 0	8,60 MPa. 100 % B 9,01 MPa. 100 % B 11,07 MPa. 100 % B
Levy 7 / EP1 Suolasumu 2	138 (129–142)	480	0	0	0	0	0,2	1, 0, 1	8,41 MPa. 100 % B 9,43 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 11,54 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z
Levy 11 / EP1 Suolasumu 3	141 (135–148)	480	0	0	0	0	0,1	1, 1, 1	8,63 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 8,83 MPa. 100 % B 10,10 MPa. 100 % B

EP2-koelevyjen testitulokset

Kuvassa 4 on maalin EP2 0-levyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 4. EP2 0-levyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 4 on maalin EP2 0-levyjien tuloksia kuivakalvon paksuuksista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 4. EP2 0-levyjien tuloksia.

EP2, 0-levyt			
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Irtivetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 3 / EP2 0-levy 1	122 (119–125)	0	10,62 MPa. 20 % Y/Z, 80 % B 13,69 MPa. 100 % B 4,26 MPa. 100 % Y/Z
Levy 4 / EP2 0-levy 2	123 (121–127)	0	8,27 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B 7,18 MPa. 90 % Y/Z, 10 % B 6,18 MPa. 100 % Y/Z
Levy 5 / EP2 0-levy 3	128 (121–148)	0	11,25 MPa. 20 % Y/Z, 80 % B 12,74 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B 8,86 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B

Kuvassa 5 on maalin EP2-kondenssilevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 5. EP2-kondenssilevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 5 on maalin EP2-kondenssilevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 5. EP2-kondenssilevyjen tuloksia.

EP2, kondenssilevyt								
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628- 2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628-4	Hilseily Flaking ISO 4628-5	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 1 / EP2 Kondenssi 1	130 (117–140)	240	5(S3)	0	0	0	0, 0, 0	6,43 MPa. 10 % B, 90 % A/B 5,63 MPa. 30 % B, 70 % A/B 5,52 MPa. 10 % B, 90 % A/B
Levy 6 / EP2 Kondenssi 2	124 (117–134)	240	5(S2)	0	0	0	0, 0, 0	6,18 MPa. 30 % B, 70 % A/B 4,46 MPa. 10 % B, 90 % A/B 4,15 MPa. 10 % B, 90 % A/B
Levy 7 / EP2 Kondenssi 3	138 (120–155)	240	5(S3)	0	0	0	0, 0, 0	5,76 MPa. 10 % B, 90 % A/B 3,95 MPa. 10 % B, 90 % A/B 6,21 MPa. 20 % B, 80 % A/B

Kuvassa 6 on maalin EP2-suolasumulevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 6. EP2-suolasumulevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

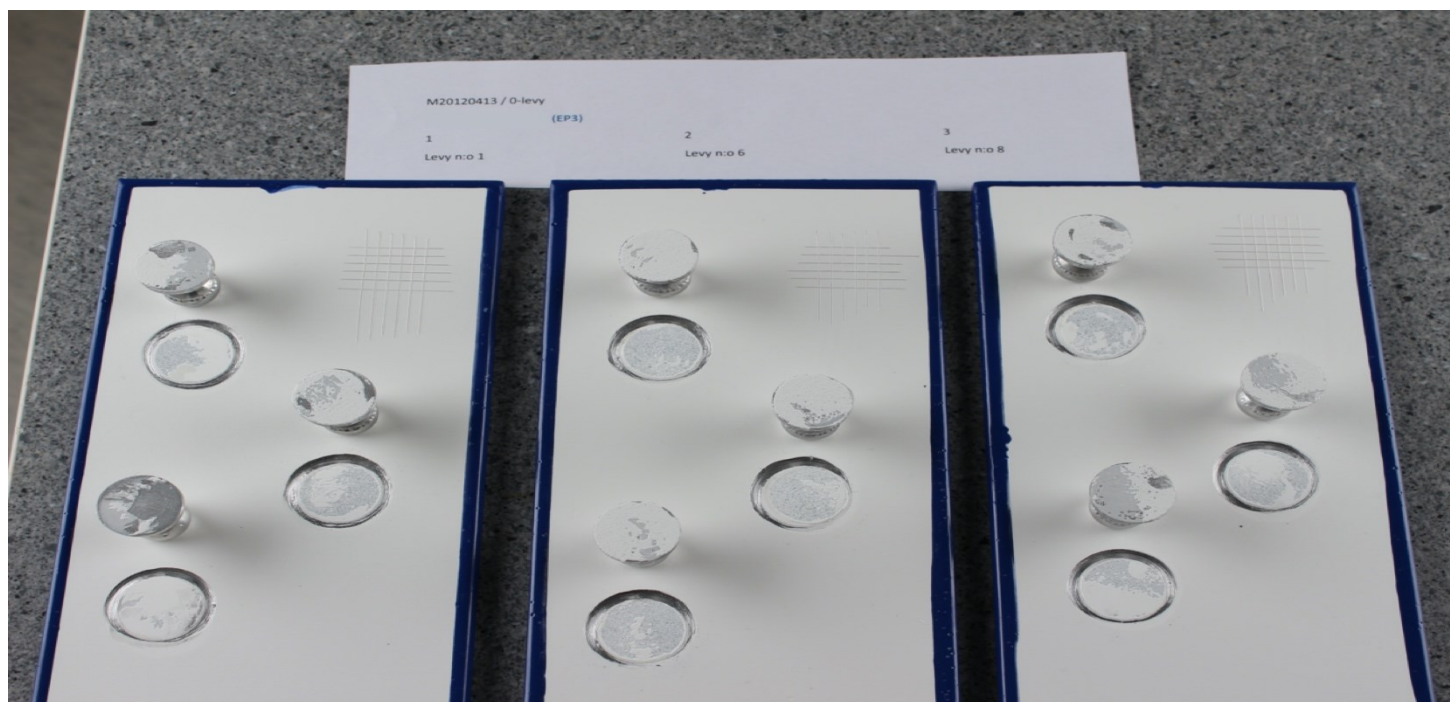
Taulukossa 6 on maalin EP2-suolasumulevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, naarmujen vaurioista, hilaristikkokokeista ja vetokokeista.

Taulukko 6. EP2-suolasumulevyjen tuloksia.

EP2, suolasumulevyt									
Levy / Maali- yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon- paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628- 2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628- 4	Hilseily Flaking ISO 4628- 5	Vaurio naarmusta, Creep/Corrosion from scratch mm ISO 12944-6	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 9 / EP2 Suolasumu 1	128 (119–133)	480	5(S3)	Ri 4	0	0	0,3	1, 2, 1	7,07 MPa. 10 % B, 90 % A/B 5,10 MPa. 100 % B 5,66 MPa. 100 % A/B
Levy 8 / EP2 Suolasumu 2	135 (124–145)	480	5(S3)	Ri 4	0	0	0,1	1, 1, 1	6,55 MPa. 100 % A/B 4,58 MPa. 100 % A/B 5,82 MPa. 100 % A/B
Levy 11 / EP2 Suolasumu 3	139 (128–150)	480	5(S3)	Ri 4	0	0	0,1	2, 1, 1	4,69 MPa. 100 % A/B 4,52 MPa. 100 % A/B 5,43 MPa. 100 % A/B

EP3-koelevyjen testitulokset

Kuvassa 7 on maalin EP3 0-levyt tartuntatestien jälkeen.



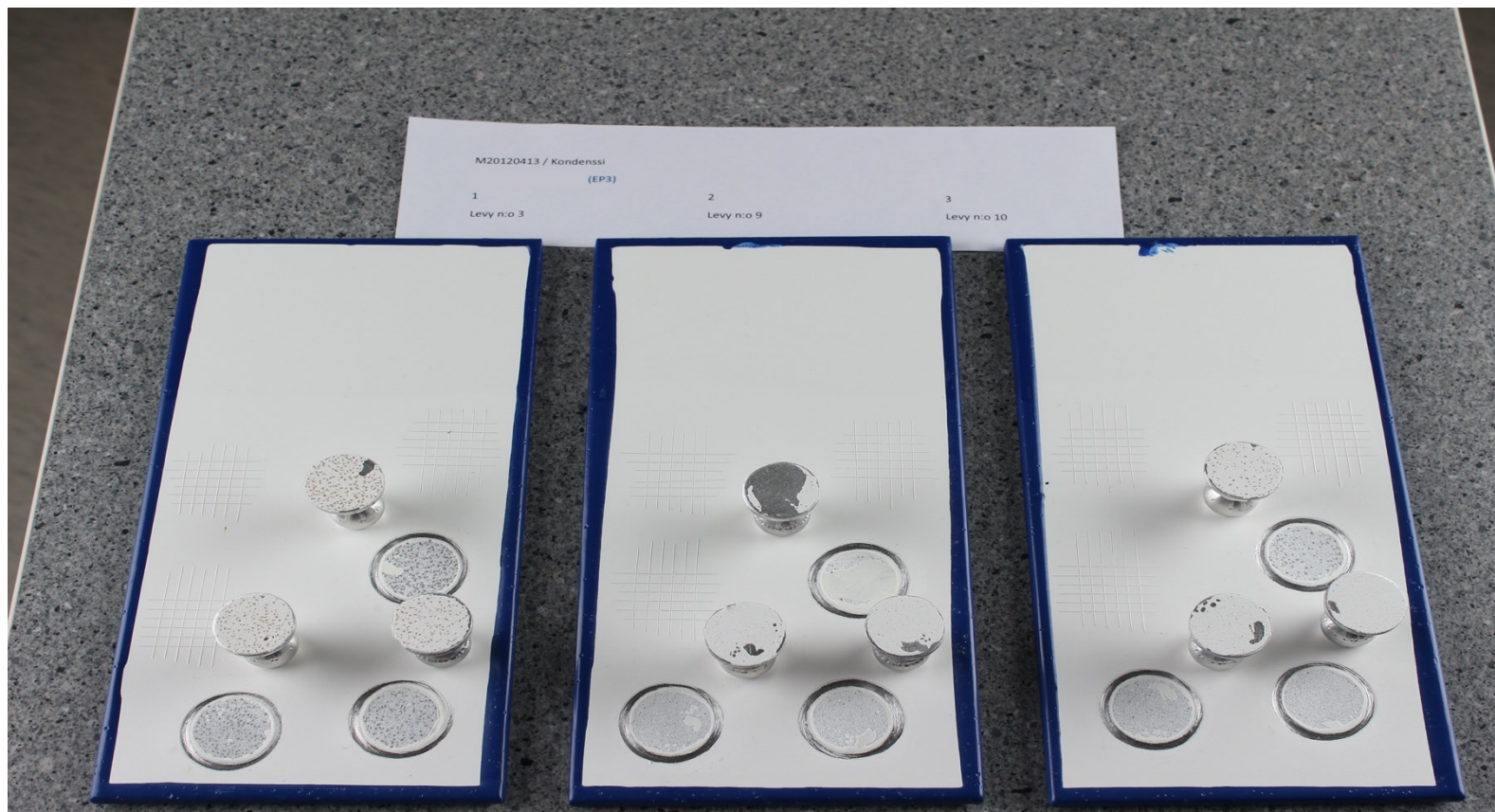
Kuva 7. EP3 0-levyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 7 on maalin EP3 0-levyjien tuloksia kuivakalvon paksuuksista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 7. EP3 0-levyjien tuloksia.

EP3, 0-levyt			
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 1 / EP3 0-levy 1	130 (118–140)	0	8,59 MPa. 60 % Y/Z, 40 % B 11,44 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B 4,99 MPa. 90 % Y/Z, 10 % B
Levy 6 / EP3 0-levy 2	147 (135–151)	0	12,59 MPa. 100 % B 12,43 MPa. 100 % B 12,87 MPa. 100 % B
Levy 8 / EP3 0-levy 3	140 (119–151)	0	11,37 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B 12,19 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B 9,92 MPa. 50 % Y/Z, 50 % B

Kuvassa 8 on maalin EP3-kondenssilevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 8. EP3-kondenssilevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 8 on maalin EP3-kondenssilevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 8. EP3-kondenssilevyjen tuloksia.

EP3, kondenssilevyt								
Levy / Maaliyhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628-2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628-4	Hilseily Flaking ISO 4628-5	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 3 / EP3 Kondenssi 1	135 (118–149)	240	0	yksittäinen ruostepiste	0	0	0, 0, 0	12,88 MPa. 80 % B, 20 % A/B 11,47 MPa. 80 % B, 20 % A/B 10,1 MPa. 80 % B, 20 % A/B
Levy 9 / EP3 Kondenssi 2	135 (122–155)	240	0	0	0	0	0, 0, 0	8,89 MPa. 80 % Y/Z, 20 % B 10,95 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B 10,56 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B
Levy 10 / EP3 Kondenssi 3	136 (120–158)	240	0	0	0	0	0, 0, 0	11,03 MPa. 80 % B, 20 % A/B 12,16 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B 13,19 MPa. 20 % Y/Z, 80 % B

Kuvassa 9 on maalin EP3-suolasumulevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 9. EP3-suolasumulevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

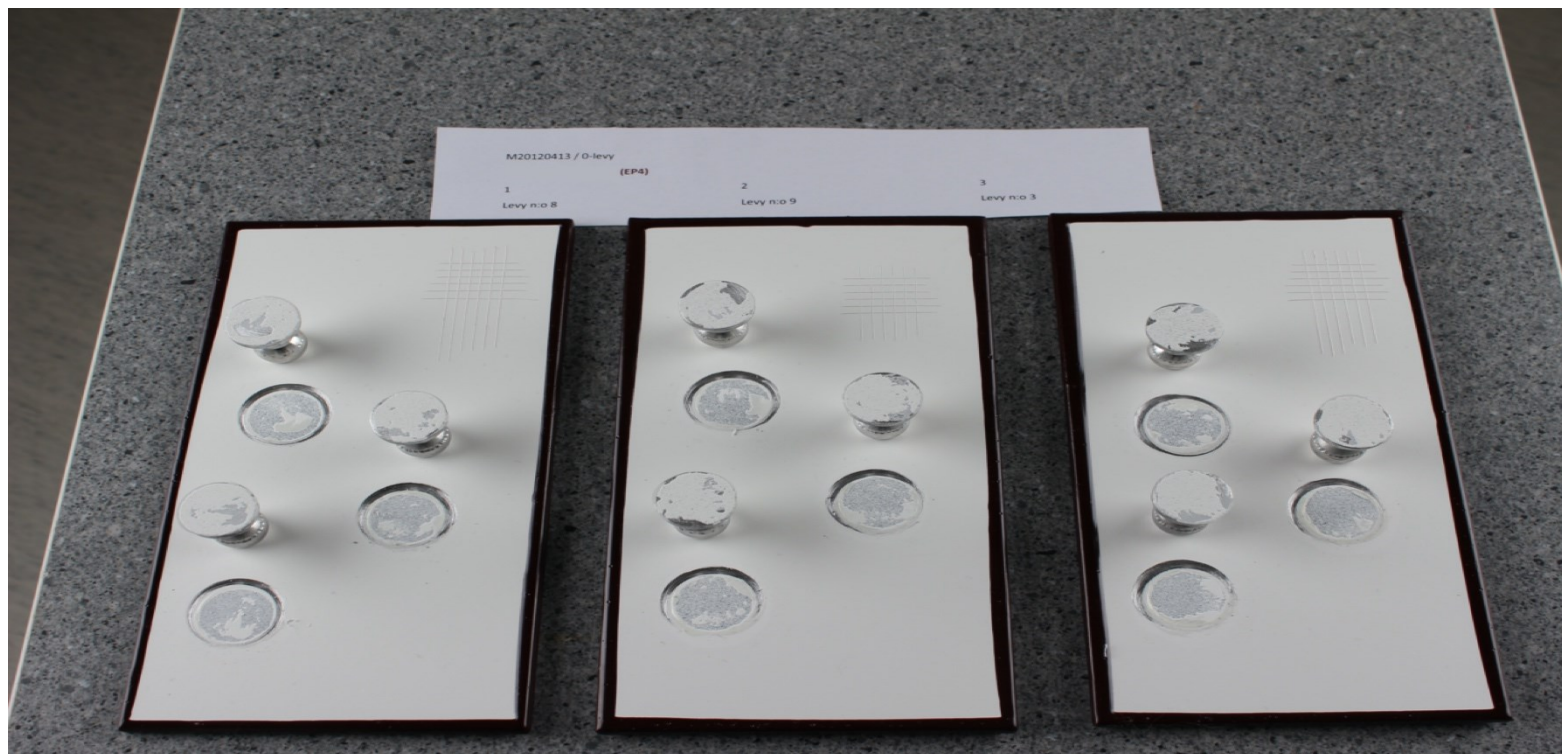
Taulukossa 9 on maalin EP3-suolasumulevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, naarmujen vaurioista, hilaristikkokokeista ja vetokokeista.

Taulukko 9. EP3-suolasumulevyjen tuloksia.

EP3, suolasumulevyt									
Levy / Maali- yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon- paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628- 2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628- 4	Hilseily Flaking ISO 4628- 5	Vaurio naarmusta, Creep/Corrosion from scratch mm ISO 12944-6	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 4 / EP3 Suolasumu 1	141 (136–148)	480	4(S3)	Ri 1	0	0	0,2	1, 0, 0	6,37 MPa. 70 % B, 30 % A/B 5,35 MPa. 70 % B, 30 % A/B 9,43 MPa. 100 % B
Levy 5 / EP3 Suolasumu 2	137 (126–147)	480	4(S3)	Ri 1	0	0	0,1	0, 0, 0	5,98 MPa. 70 % B, 30 % A/B 5,10 MPa. 80 % B, 20 % A/B 5,52 MPa. 70 % B, 30 % A/B
Levy 7 / EP3 Suolasumu 3	137 (121–147)	480	4(S3)	Ri 1	0	0	0,1	0, 1, 1	6,41 MPa. 80 % B, 20 % A/B 5,75 MPa. 100 % B 7,51 MPa. 90 % B, 10 % A/B

EP4-koelevyjen testitulokset

Kuvassa 10 on maalin EP4 0-levyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 10. EP4 0-levyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 10 on maalin EP4 0-levyjien tuloksia kuivakalvon paksuuksista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 10. EP4 0-levyjien tuloksia.

EP4, 0-levyt			
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 8 / EP4 0-levy 1	135 (117–146)	0	13,45 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B 12,22 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B 12,12 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B
Levy 9 / EP4 0-levy 2	127 (120–140)	0	12,20 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B 10,76 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B 12,50 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B
Levy 3 / EP4 0-levy 3	148 (128–158)	0	9,50 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B 11,18 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B 8,19 MPa. 20 % Y/Z, 80 % B

Kuvassa 11 on maalin EP4-kondenssilevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 11. EP4-kondenssilevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 11 on maalin EP4-kondenssilevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 11. EP4-kondenssilevyjen tuloksia.

EP4, kondenssilevyt								
Levy / Maaliyhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628-2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628-4	Hilseily Flaking ISO 4628-5	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 5 / EP4 Kondenssi 1	138 (127–146)	240	0	0	0	0	0, 0, 0	10,13 MPa. 100 % B 14,56 MPa. 100 % B 12,18 MPa. 100 % B
Levy 6 / EP4 Kondenssi 2	139 (126–144)	240	0	0	0	0	0, 0, 0	12,88 MPa. 90 % B, 10 % A/B 12,50 MPa. 90 % B, 10 % A/B 12,18 MPa. 90 % B, 10 % A/B
Levy 11 / EP4 Kondenssi 3	134 (123–150)	240	0	0	0	0	0, 0, 0	12,72 MPa. 90 % B, 10 % A/B 14,74 MPa. 100 % B 11,25 MPa. 100 % B

Kuvassa 12 on maalin EP4-suolasumulevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 12. EP4-suolasumulevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 12 on maalin EP4-suolasumulevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, naarmujen vaurioista, hilaristikkokokeista ja vetokokeista.

Taulukko 12. EP4-suolasumulevyjen tuloksia.

EP4, suolasumulevyt									
Levy / Maali- yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon- paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628- 2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628- 4	Hilseily Flaking ISO 4628- 5	Vaurio naarmusta, Creep/Corrosion from scratch mm ISO 12944-6	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 1 / EP4 Suolasumu 1	138 (125–149)	480	5(S2)	Ri 5	0	0	0,1	1, 1, 0	6,39 MPa. 30 % B, 70 % A/B 7,06 MPa. 70 % B, 30 % A/B 7,38 MPa. 40 % B, 60 % A/B
Levy 4 / EP4 Suolasumu 2	137 (121–150)	480	5(S2)	Ri 5	0	0	0,2	0, 1, 0	5,96 MPa. 20 % B, 80 % A/B 8,85 MPa. 70 % B, 30 % A/B 6,36 MPa. 60 % B, 40 % A/B
Levy 7 / EP4 Suolasumu 3	137 (120–147)	480	5(S2)	Ri 5	0	0	0,2	0, 0, 0	6,19 MPa. 30 % B, 70 % A/B 6,73 MPa. 70 % B, 30 % A/B 9,76 MPa. 40 % B, 60 % A/B

EP5-koelevyjen testitulokset

Kuvassa 13 on maalin EP5 0-levyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 13. EP5 0-levyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 13 on maalin EP5 0-levyjien tuloksia kuivakalvon paksuuksista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 13. EP5 0-levyjien tuloksia.

EP5, 0-levyt			
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 5 / EP5 0-levy 1	139 (128–149)	0	13,65 MPa. 100 % B 11,87 MPa. 100 % B 11,22 MPa. 100 % B
Levy 8 / EP5 0-levy 2	142 (123–165)	1	11,95 MPa. 20 % Y/Z, 80 % B 11,71 MPa. 100 % B 9,98 MPa. 30 % Y/Z, 70 % B
Levy 10 / EP5 0-levy 3	146 (139–149)	0	10,82 MPa. 100 % B 11,85 MPa. 100 % B 9,95 MPa. 10 % Y/Z, 90 % B

Kuvassa 14 on maalin EP5-kondenssilevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 14. EP5-kondenssilevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 14 on maalin EP5-kondenssilevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 14. EP5-kondenssilevyjen tuloksia.

EP5, kondenssilevyt								
Levy / Maaliyhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628-2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628-4	Hilseily Flaking ISO 4628-5	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 6 / EP5 Kondenssi 1	148 (136–160)	240	0	0	0	0	0, 0, 0	11,23 MPa. 90 % B, 10 % A/B 14,38 MPa. 90 % B, 10 % A/B 13,38 MPa. 80 % B, 20 % A/B
Levy 7 / EP5 Kondenssi 2	137 (128–147)	240	0	0	0	0	0, 0, 0	13,98 MPa. 100 % B 9,80 MPa. 100 % B 10,65 MPa. 10 % Y/Z, 80 % B, 10 % A/B
Levy 11 / EP5 Kondenssi 3	143 (131–149)	240	0	0	0	0	0, 0, 0	14,78 MPa. 80 % B, 20 % A/B 11,92 MPa. 90 % B, 10 % A/B 14,42 MPa. 90 % B, 10 % A/B

Kuvassa 15 on maalin EP5-suolasumulevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 15. EP5-suolasumulevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 15 on maalin EP5-suolasumulevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, naarmujen vaurioista, hilaristikkokokeista ja vetokokeista.

Taulukko 15. EP5-suolasumulevyjen tuloksia.

EP5, suolasumulevyt									
Levy / Maali- yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon- paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628- 2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628- 4	Hilseily Flaking ISO 4628- 5	Vaurio naarmusta, Creep/Corrosion from scratch mm ISO 12944-6	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 2 / EP5 Suolasumu 1	138 (136–139)	480	5(S2)	Ri 5	0	0	0,0	1, 1, 0	5,45 MPa. 30 % B, 70 % A/B 4,64 MPa. 10 % Y/Z, 50 % B, 40 % A/B 6,96 MPa. 30 % B, 70 % A/B
Levy 4 / EP5 Suolasumu 2	143 (135–150)	480	5(S2)	Ri 5	0	0	0,1	0, 0, 0	6,90 MPa. 50 % B, 50 % A/B 5,92 MPa. 60 % B, 40 % A/B 6,19 MPa. 60 % B, 40 % A/B
Levy 9 / EP5 Suolasumu 3	138 (127–146)	480	5(S2)	Ri 5	0	0	0,1	0, 0, 0	7,86 MPa. 30 % B, 70 % A/B 6,93 MPa. 20 % B, 80 % A/B 5,15 MPa. 20 % B, 80 % A/B

PUR1-koelevyjen testitulokset

Kuvassa 16 on maalin PUR1 0-levyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 16. PUR1 0-levyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen. PUR1 0-levyille on tehty uusinnat vetokokeista liimausvirheiden takia.

Taulukossa 16 on maalin PUR1 0-levyjien tuloksia kuivakalvon paksuuksista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 16. PUR1 0-levyjien tuloksia. Taulukossa on ilmoitettu vetokokeista vain uusintojen tulokset.

PUR1, 0-levyt			
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 2 / PUR1 0-levy 1	134 (121–145)	0	12,67 MPa. 100 % B 12,18 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 14,62 MPa. 100 % B
Levy 3 / PUR1 0-levy 2	131 (122–136)	0	13,56 MPa. 100 % B 13,53 MPa. 100 % B 13,58 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z
Levy 6 / PUR1 0-levy 3	127 (120–138)	0	12,05 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 15,14 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 14,16 MPa. 100 % B

Kuvassa 17 on maalin PUR1-kondenssilevyt tartuntatestien jälkeen.



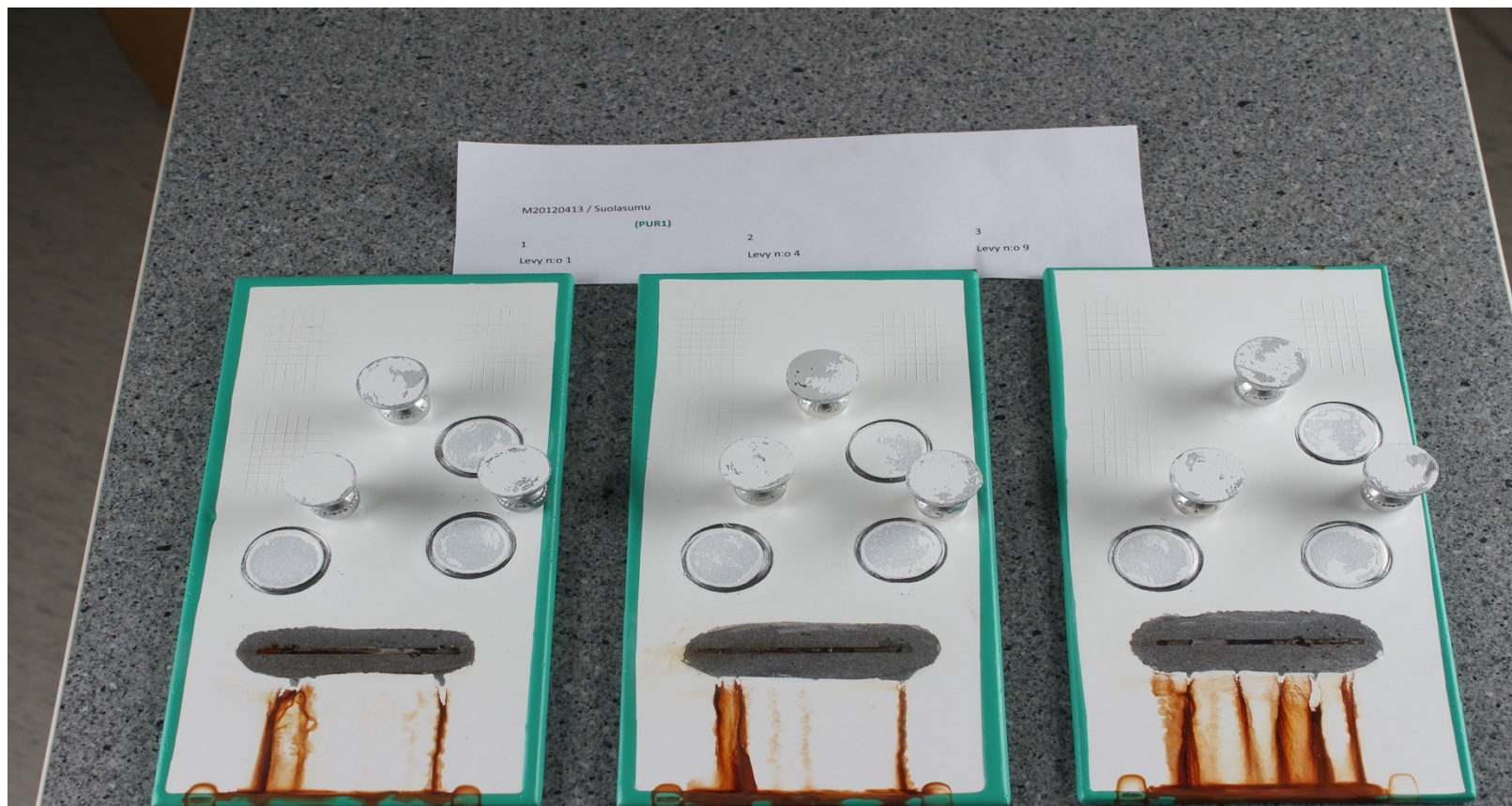
Kuva 17. PUR1-kondenssilevyt hilaristikko -ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 17 on maalin PUR1-kondenssilevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 17. PUR1-kondenssilevyjen tuloksia.

PUR1, kondenssilevyt								
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu-minen Blistering ISO 4628-2	Ruostumi-nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628-4	Hilseily Flaking ISO 4628-5	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 5 / PUR1 Kondenssi 1	126 (121–135)	240	0	0	0	0	0, 0, 0	16,31 MPa. 100 % B 15,86 MPa. 100 % B 14,00 MPa. 100 % B
Levy 8 / PUR1 Kondenssi 2	133 (124–141)	240	0	0	0	0	1, 0, 0	10,00 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 15,81 MPa. 100 % B 16,65 MPa. 100 % B
Levy 11 / PUR1 Kondenssi 3	134 (120–145)	240	0	0	0	0	1, 0, 0	15,99 MPa. 100 % B 12,7 MPa. 100 % B 9,73 MPa. 100 % B

Kuvassa 18 on maalin PUR1-suolasumulevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 18. PUR1-suolasumulevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 18 on maalin PUR1-suolasumulevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, naarmujen vaurioista, hilaristikkokeista ja vetokokeista.

Taulukko 18. PUR1-suolasumulevyjen tuloksia.

PUR1, suolasumulevyt									
Levy / Maali- yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon- paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628- 2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628- 4	Hilseily Flaking ISO 4628- 5	Vaurio naarmusta, Creep/Corrosion from scratch mm ISO 12944-6	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 1 / PUR1 Suolasumu 1	129 (122–133)	480	0	Ri 1	0	0	0,1	0, 0, 0	11,96 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 11,05 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 15,36 MPa. 100 % B
Levy 4 / PUR1 Suolasumu 2	132 (122–140)	480	0	0	0	0	0,2	0, 0, 0	16,61 MPa. 30 % B, 70 % Y/Z 16,57 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 15,33 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z
Levy 9 / PUR1 Suolasumu 3	128 (123–141)	480	0	0	0	0	0,2	0, 0, 0	10,01 MPa. 60 % B, 40 % Y/Z 11,15 MPa. 70 % B, 30 % Y/Z 14,78 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z

PUR2-koelevyjen testitulokset

Kuvassa 19 on maalin PUR2 0-levyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 19. PUR2 0-levyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen. PUR2 0-levyille on tehty uusinnat vetokokeista liimausvirheiden takia.

Taulukossa 19 on maalin PUR2 0-levyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 19. PUR2 0-levyjen tuloksia. Taulukossa on ilmoitettu vetokokeista vain uusintojen tulokset.

PUR2, 0-levyt			
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 2 / PUR2 0-levy 1	139 (132–148)	0	14,76 MPa. 100 % B 12,82 MPa. 100 % B 13,74 MPa. 100 % B
Levy 6 / PUR2 0-levy 2	127 (115–138)	0	14,19 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 13,27 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 13,28 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z
Levy 8 / PUR2 0-levy 3	127 (118–148)	0	13,44 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 11,80 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 14,60 MPa. 100 % B

Kuvassa 20 on maalin PUR2-kondenssilevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 20. PUR2-kondenssilevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 20 on maalin PUR2-kondenssilevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 20. PUR2-kondenssilevyjen tuloksia.

PUR2, kondenssilevyt								
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu-minen Blistering ISO 4628-2	Ruostumi-nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628-4	Hilseily Flaking ISO 4628-5	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 4 / PUR2 Kondenssi 1	132 (122–148)	240	0	0	0	0	0, 1, 0	16,03 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 14,43 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 14,00 MPa. 100 % B
Levy 9 / PUR2 Kondenssi 2	131 (125–144)	240	0	0	0	0	1, 1, 0	15,76 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 15,43 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 12,01 MPa. 50 % B, 50 % Y/Z
Levy 11 / PUR2 Kondenssi 3	136 (126–150)	240	0	0	0	0	1, 1, 0	13,49 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 14,00 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 14,42 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z

Kuvassa 21 on maalin PUR2-suolasumulevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 21. PUR2-suolasumulevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen. PUR2-suolasumulevyille on tehty uusinnat vetokokeista liimausvirheiden takia.

Taulukossa 21 on maalin PUR2-suolasumulevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, naarmujen vaurioista, hilaristikkokeista ja vetokokeista.

Taulukko 21. PUR2-suolasumulevyjen tuloksia. Taulukossa on ilmoitettu vetokokeista vain uusintojen tulokset.

PUR2, suolasumulevyt									
Levy / Maali- yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon- paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628- 2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628- 4	Hilseily Flaking ISO 4628- 5	Vaurio naarmusta, Creep/Corrosion from scratch mm ISO 12944-6	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 5 / PUR2 Suolasumu 1	133 (124–139)	480	0	0	0	0	0,5	1, 1, 1	10,50 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 13,95 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 14,41 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z
Levy 1 / PUR2 Suolasumu 2	126 (121–136)	480	Yksittäinen kupla	0	0	0	0,5	0, 1, 0	14,39 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 13,49 MPa. 70 % B, 30 % Y/Z 13,41 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z
Levy 7 / PUR2 Suolasumu 3	131 (124–138)	480	0	0	0	0	0,3	0, 1, 0	15,77 MPa. 100 % B 15,12 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 13,18 MPa. 70 % B, 30 % Y/Z

PUR3-koelevyjen testitulokset

Kuvassa 22 on maalin PUR3 0-levyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 22. PUR3 0-levyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen. PUR3 0-levyille on tehty uusinnat vetokokeista liimausvirheiden takia.

Taulukossa 22 on maalin PUR3 0-levyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 22. PUR3 0-levyjen tuloksia. Taulukossa on ilmoitettu vetokokeista vain uusintojen tulokset.

PUR3, 0-levyt			
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 1 / PUR3 0-levy 1	134 (119–147)	0	11,76 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 14,69 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 11,97 MPa. 100 % B
Levy 4 / PUR3 0-levy 2	132 (120–144)	0	14,58 MPa. 100 % B 11,77 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 13,74 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z
Levy 9 / PUR3 0-levy 3	130 (120–143)	0	11,63 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 14,51 MPa. 100 % B 13,70 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z

Kuvassa 23 on maalin PUR3-kondenssilevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 23. PUR3-kondenssilevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 23 on maalin PUR3-kondenssilevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 23. PUR3-kondenssilevyjen tuloksia.

PUR3, kondenssilevyt								
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628- 2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628-4	Hilseily Flaking ISO 4628-5	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 7 / PUR3 Kondenssi 1	131 (110–144)	240	0	0	0	0	0, 0, 0	11,34 MPa. 60 % B, 40 % Y/Z 8,99 MPa. 20 % B, 80 % Y/Z 14,80 MPa. 70 % B, 30 % Y/Z
Levy 8 / PUR3 Kondenssi 2	133 (120–145)	240	0	0	0	0	0, 0, 0	14,82 MPa. 30 % B, 70 % Y/Z 13,67 MPa. 60 % B, 40 % Y/Z 15,31 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z
Levy 10 / PUR3 Kondenssi 3	131 (117–143)	240	0	0	0	0	0, 0, 0	14,77 MPa. 100 % B 15,19 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 14,53 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z

Kuvassa 24 on maalin PUR3-suolasumulevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 24. PUR3-suolasumulevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

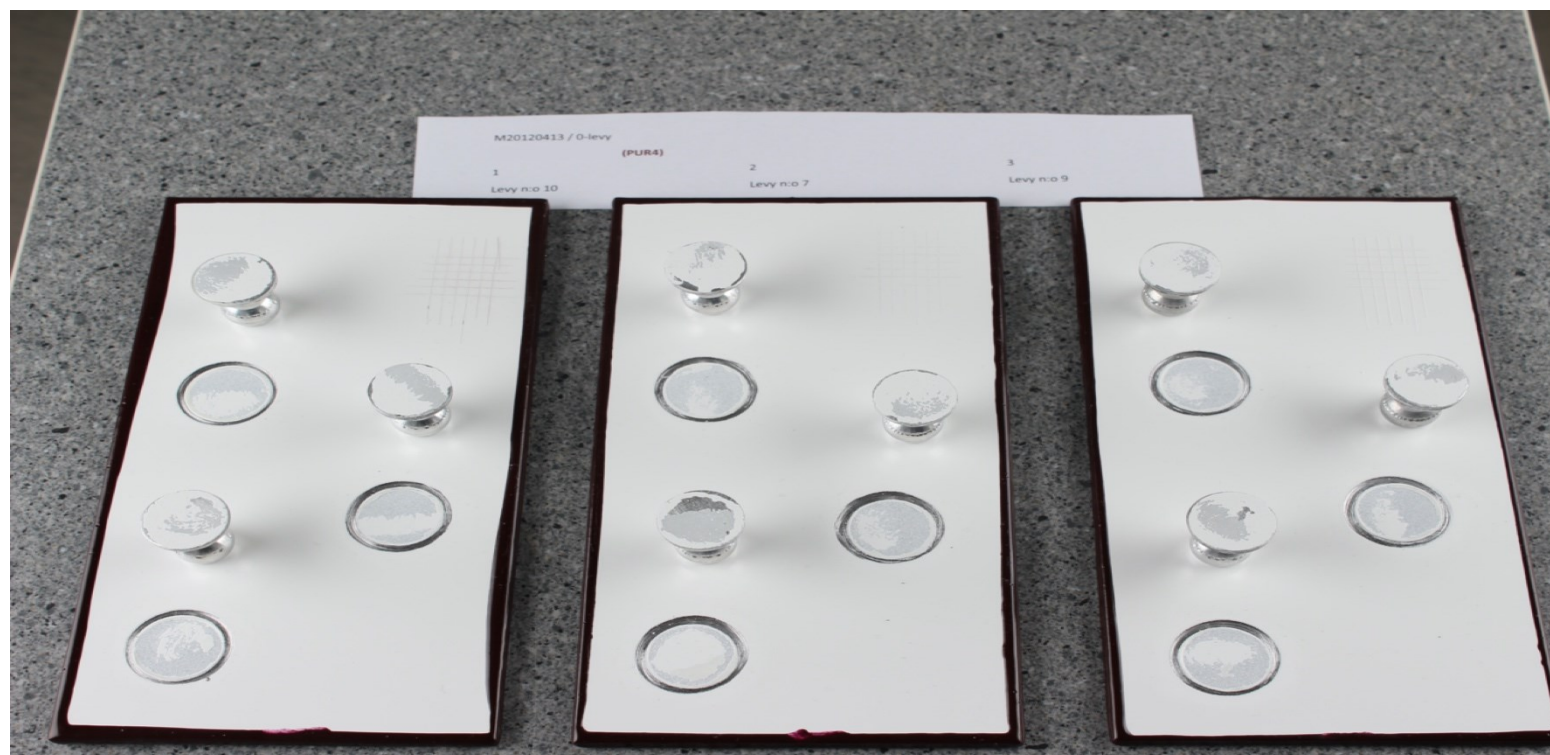
Taulukossa 24 on maalin PUR3-suolasumulevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, naarmujen vaurioista, hilaristikkokeista ja vetokokeista.

Taulukko 24. PUR3-suolasumulevyjen tuloksia.

PUR3, suolasumulevyt									
Levy / Maali- yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon- paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628- 2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628- 4	Hilseily Flaking ISO 4628- 5	Vaurio naarmusta, Creep/Corrosion from scratch mm ISO 12944-6	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 2 / PUR3 Suolasumu 1	134 (121–142)	480	0	0	0	0	0,7	0, 0, 0	11,15 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 10,25 MPa. 70 % B, 30 % Y/Z 15,71 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z
Levy 6 / PUR3 Suolasumu 2	129 (123–136)	480	0	0	0	0	0,3	0, 0, 0	16,76 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 15,12 MPa. 100 % B 15,05 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z
Levy 11 / PUR3 Suolasumu 3	130 (120–147)	480	0	Ri 1	0	0	0,4	0, 0, 0	10,45 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 13,94 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 11,74 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z

PUR4-koelevyjen testitulokset

Kuvassa 25 on maalin PUR4 0-levyt tartuntatestien jälkeen.



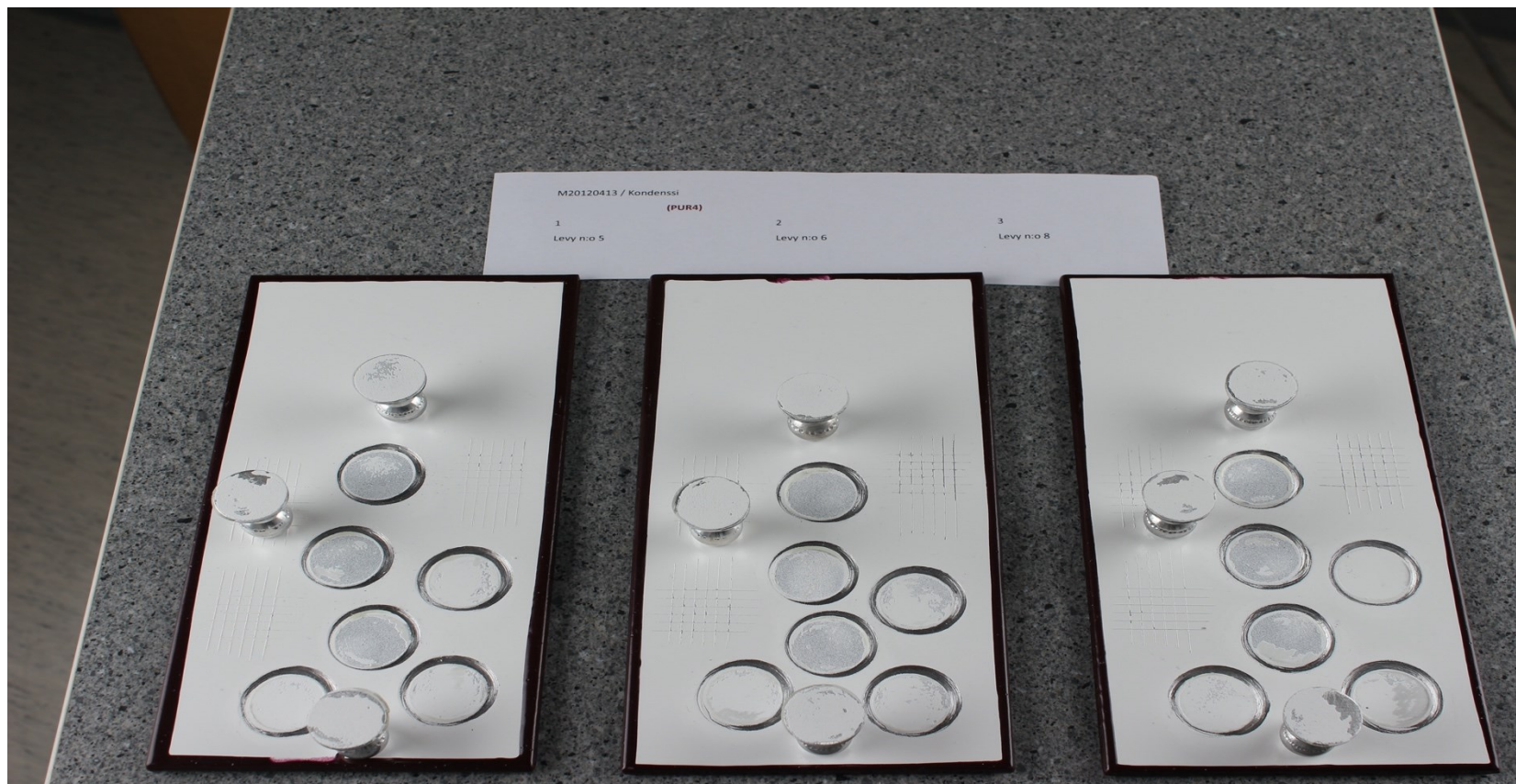
Kuva 25. PUR4 0-levyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 25 on maalin PUR4 0-levyjien tuloksia kuivakalvon paksuuksista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 25. PUR4 0-levyjien tuloksia.

PUR4, 0-levyt			
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 10 / PUR4 0-levy 1	124 (119–134)	0	13,59 MPa. 60 % B, 40 % Y/Z 12,83 MPa. 70 % B, 30 % Y/Z 15,36 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z
Levy 7 / PUR4 0-levy 2	121 (99–134)	0	14,15 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 14,44 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 12,98 MPa. 30 % B, 70 % Y/Z
Levy 9 / PUR4 0-levy 3	117 (108–119)	0	15,50 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 13,27 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 15,34 MPa. 70 % B, 30 % Y/Z

Kuvassa 26 on maalin PUR4-kondenssilevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 26. PUR4-kondenssilevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen. PUR4-kondenssilevyille on tehty uusinnat vetokokeista liimausvirheiden takia.

Taulukossa 26 on maalin PUR4-kondenssilevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 26. PUR4-kondenssilevyjen tuloksia. Taulukossa on ilmoitettu vetokokeista vain uusintojen tulokset.

PUR4, kondenssilevyt								
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628- 2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628-4	Hilseily Flaking ISO 4628-5	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 5 / PUR4 Kondenssi 1	119 (111–124)	240	0	0	0	0	1, 1, 1	14,34 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 13,77 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 13,48 MPa. 70 % B, 30 % Y/Z
Levy 6 / PUR4 Kondenssi 2	124 (115–134)	240	0	0	0	0	1, 1, 1	14,26 MPa. 100 % B Lyöty pois vasaralla. 100 % B 13,19 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z
Levy 8 / PUR4 Kondenssi 3	119 (106–128)	240	0	0	0	0	0, 1, 1	13,27 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 12,86 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 11,66 MPa. 70 % B, 30 % Y/Z

Kuvassa 27 on maalin PUR4-suolasumulevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 27. PUR4-suolasumulevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 27 on maalin PUR4-suolasumulevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, naarmujen vaurioista, hilaristikkokeista ja vetokokeista.

Taulukko 27. PUR4-suolasumulevyjen tuloksia.

PUR4, suolasumulevyt									
Levy / Maali- yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon- paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628- 2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628- 4	Hilseily Flaking ISO 4628- 5	Vaurio naarmusta, Creep/Corrosion from scratch mm ISO 12944-6	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 2 / PUR4 Suolasumu 1	124 (121–127)	480	0	0	0	0	1,1	1, 1, 1	14,89 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 12,58 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 10,63 MPa. 70 % B, 30 % Y/Z
Levy 3 / PUR4 Suolasumu 2	123 (121–127)	480	0	0	0	0	0,2	1, 0, 0	12,19 MPa. 70 % B, 30 % Y/Z 10,50 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 13,41 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z
Levy 4 / PUR4 Suolasumu 3	126 (120–132)	480	0	Ri 1	0	0	0,5	1, 0, 0	13,85 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 10,81 MPa. 70 % B, 30 % Y/Z 13,44 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z

PUR5-koelevyjen testitulokset

Kuvassa 28 on maalin PUR5 0-levyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 28. PUR5 0-levyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen.

Taulukossa 28 on maalin PUR5 0-levyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 28. PUR5 0-levyjen tuloksia.

PUR5, 0-levyt			
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 6 / PUR5 0-levy 1	127 (120–138)	0	15,98 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 12,88 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 14,52 MPa. 100 % B
Levy 11 / PUR5 0-levy 2	122 (109–141)	0	13,66 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 14,38 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 13,29 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z
Levy 12 / PUR5 0-levy 3	131 (120–147)	0	14,50 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 15,16 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 14,29 MPa. 100 % B

Kuvassa 29 on maalin PUR5-kondenssilevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 29. PUR5-kondenssilevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen. PUR5-kondenssilevyille on tehty uusinnat vetokokeista liimausvirheiden takia.

Taulukossa 29 on maalin PUR5-kondenssilevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, hilaristikoista ja vetokokeista.

Taulukko 29. PUR5-kondenssilevyjen tuloksia. Taulukossa on ilmoitettu vetokokeista vain uusintojen tulokset.

PUR5, kondenssilevyt								
Levy / Maali-yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon-paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu-minen Blistering ISO 4628-2	Ruostumi-nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628-4	Hilseily Flaking ISO 4628-5	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 5 / PUR5 Kondenssi 1	122 (120–127)	240	0	0	0	0	1, 1, 0	13,38 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 12,87 MPa. 100 % B 13,59 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z
Levy 8 / PUR5 Kondenssi 2	128 (121–138)	240	0	0	0	0	1, 1, 1	11,67 MPa. 70 % B, 30 % Y/Z Lyöty pois vasaralla. 80 % B, 20 % Y/Z 14,50 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z
Levy 9 / PUR5 Kondenssi 3	129 (120–144)	240	0	0	0	0	1, 1, 1	13,43 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 14,74 MPa. 90 % B, 10 % Y/Z 11,96 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z

Kuvassa 30 on maalin PUR5-suolasumulevyt tartuntatestien jälkeen.



Kuva 30. PUR5-suolasumulevyt hilaristikko- ja irtivetotestien jälkeen. Levy 10 on vaihdettu levyyn 7.

Taulukossa 30 on maalin PUR5-suolasumulevyjen tuloksia kuivakalvon paksuuksista, pinta-arvioinneista, naarmujen vaurioista, hilaristikkokeista ja vetokokeista.

Taulukko 30. PUR5-suolasumulevyjen tuloksia.

PUR5, suolasumulevyt									
Levy / Maali- yhdistelmä Panel / Paint system	Kuivakalvon- paksuus, Dry film thickness, µm, n=5 ISO 19840	Aika, Test time h	Rakkuloitu- minen Blistering ISO 4628- 2	Ruostumi- nen Rusting ISO 4628-3	Halkeilu Cracking ISO 4628- 4	Hilseily Flaking ISO 4628- 5	Vaurio naarmusta, Creep/Corrosion from scratch mm ISO 12944-6	Hilaristikko Cross-cut ISO 2409	Vetokoe Pull-off test MPa, n=3 ISO 4624
Levy 1 / PUR5 Suolasumu 1	133 (126–143)	480	0	Ri 1	0	0	2,0	0, 1, 0	13,84 MPa. 100 % B 12,34 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 10,48 MPa. 60 % B, 40 % Y/Z
Levy 2 / PUR5 Suolasumu 2	123 (121–127)	480	0	0	0	0	1,2	0, 0, 1	14,76 MPa. 70 % B, 30 % Y/Z 15,40 MPa. 40 % B, 60 % Y/Z 11,36 MPa. 30 % B, 70 % Y/Z
Levy 7 / PUR5 Suolasumu 3	117 (99–129)	480	0	0	0	0	1,0	0, 0, 0	11,83 MPa. 60 % B, 40 % Y/Z 12,99 MPa. 80 % B, 20 % Y/Z 11,50 MPa. 50 % B, 50 % Y/Z

EP- ja PUR-valumalevyjen tuloksia

Liitteessä 11 on esitetty epoksi- ja polyuretaanimaalien valumalevyjen testituloksia. Taulukossa 31 on esitetty vesiohenteisten epoksimaalien valumalevyjen tuloksia.

Taulukko 31. Epoksimaalien valumalevyjen tuloksia. Kiilto on tarkastettu suoraan levyiltä.

Maali	Suutin/ paine	WFT µm	DFT µm	Valuma	Kiilto 60°	Pinnanlaatu/ ilmaa/ muuta
EP1	13, 5 bar (pumppu), 2 bar (ilma)	350	141,6	ei	12,2	hyvä pinta, ei ilmaa eikä kökköjä
EP1	13, 5 bar (pumppu), 2 bar (ilma)	400	174,8	ei	14,2	hyvä pinta, ei ilmaa eikä kökköjä
EP2	13, 5 bar (pumppu), 2 bar (ilma)	350	152,8	ei	21,3	hyvä pinta, ei ilmaa eikä kökköjä
EP2	13, 5 bar (pumppu), 2 bar (ilma)	400	169,4	ei	18,2	hyvä pinta, ei ilmaa eikä kökköjä
EP3	13, 5 bar (pumppu), 2 bar (ilma)	350	151,6	ei	27,5	hyvä pinta, ei ilmaa eikä kökköjä
EP3	13, 5 bar (pumppu), 2 bar (ilma)	400	177,2	ei	30,8	hyvä pinta, ei ilmaa eikä kökköjä
EP4	13, 5 bar (pumppu), 2 bar (ilma)	350	160,4	ei	16,6	hyvä pinta, ei ilmaa eikä kökköjä
EP4	13, 5 bar (pumppu), 2 bar (ilma)	400	162,8	ei	17,7	hyvä pinta, ei ilmaa eikä kökköjä
EP5	13, 5 bar (pumppu), 2 bar (ilma)	350	154,6	ei	17,3	hyvä pinta, ei ilmaa eikä kökköjä
EP5	13, 5 bar (pumppu), 2 bar (ilma)	400	183,4	ei	21,5	hyvä pinta, ei ilmaa eikä kökköjä

Taulukossa 32 on esitetty liuotinhenteisten polyuretaanimaalien valumalevyjen tuloksia.

Taulukko 32. Polyuretaanimaalien valumalevyjen tuloksia. Lyhenne MM tarkoittaa märkää märeille -periaatetta.

Maali	Suutin/ paine	WFT μm	DFT μm	Valuma	Kiilto 60°	Pinnanlaatu/ ilmaa/ muuta
PUR1	11 / 4 bar	250	107	vähän	89,6	muutama kökkö
PUR1 (MM)	11 / 4 bar	250	113	ei	89,0	pari ilmakuplaa
PUR2	11 / 4 bar	250	108	kyllä	87,3	pari ilmakuplaa
PUR2 MM)	11 / 4 bar	250	114	ei	86,7	pari ilmakuplaa
PUR3	11 / 4 bar	250	97	kyllä	87,1	siisti, jos valumaa ei huomioida
PUR3 (MM)	11 / 4 bar	250	119	ei	87,0	siisti
PUR4	11 / 4 bar	250	115	vähän	88,2	siisti, jos pientä valumaa ei huomioida
PUR4 (MM)	11 / 4 bar	250	116	ei	86,7	siisti
PUR5	11 / 4 bar	250	103	vähän	87,9	siisti
PUR5 (MM)	11 / 4 bar	250	101	ei	86,5	siisti