



Essi Tiikkaja

# Jauhemaalijätteen hyödyntäminen märkämaalin täyteaineena

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

16.5.2022

# Tiivistelmä

Tekijä:	Essi Tiikkaja
Otsikko:	Jauhemaalijätteen hyödyntäminen märkämaalin täyteaineena
Sivumäärä:	54 sivua + 3 liitettä
Aika:	16.5.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine:	Ympäristötekniikka
Ohjaajat:	Tuotekehityskemisti Mikael Räihä (Teknos Oy) Lehtori Miika Kuivikko (Metropolia AMK)

---

Työn tavoitteena oli selvittää, voitaisiinko jauhemaaliprosessissa sivuvirtana syntyvää jauhemaalijätettä hyödyntää maaliprosessin komponenttina. Tällä hetkellä jauhemaalituotteen valmistaja maksaa energialaitokselle siitä, että jauhemaalijäte poltetaan energiaksi. Jauhemaalijätteen käyttäminen raaka-aineena toisessa tuotteessa olisi sekä kustannustehokasta että vahvistaisi yrityksen kiertotaloudellisia tavoitteita.

Projektin valmisteluvaiheessa tutustuttiin aiempien aiheesta tehtyjen projektien tuloksiin sekä perehdyttiin jauhemaalituotantolaitoksen toimintaan. Testinäytteiden saavuttua tehtiin tarvittavat valmistelut laboratoriokokeita varten. Kaikkien testien valmistuttua suoritettiin kirjallisen tuotoksen lopullinen viimeistely.

Työssä käydään läpi maalien teoriaa yleisellä tasolla sekä kattavasti läpi menetelmät, joilla maaleja tutkittiin. Kokeellisessa osuudessa kuvataan kunkin mittauksen suorittamista, ja loppuun on koottu kaikista testeistä saadut tulokset pohdintoihin.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että jauhemaalijätteen sijoittaminen osaksi toista maalikonaisuutta on mahdollista. Tämä vaatii kuitenkin vielä lisää jatkotestauksia asian varmentamiseksi, ja projekti päätettiin toistaiseksi pistää tauolle.

Tämän insinöörityön aikana saadut tulokset toimivat kattavana lähdemateriaalina, kun jauhemaalijätettä sisältävien tuotteiden jatkokehitystä tulevaisuudessa jatketaan.

Avainsanat: epoksi, jauhemaal, täyteaine

## Abstract

Author: Essi Tiikkaja  
Title: Utilization of Powder Paint Waste as a Wet Paint Filler  
Number of Pages: 54 pages + 3 appendices  
Date: 16 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Energy and Environmental Engineering  
Professional Major: Environmental Engineering  
Instructors: Mikael Räihä, R&D Chemist (Teknos Oy)  
Miika Kuivikko, Senior Lecturer (Metropolia AMK)

---

The aim of the thesis was to find whether the powder paint waste generated as a by-product in the powder coating process could be utilized as a component of the paint process. Currently, the manufacturer of a powder paint product pays the power plant to incinerate the powder paint waste into energy. Using the powder waste as a raw material in another product would be both cost-effective and strengthen the company's circular economic goals.

During the preparation phase of the project the results of previous projects on the topic and the operation of the powder coating plant was examined. Upon receiving the test samples, the necessary preparations were made for laboratory experiments. After completion of all the tests and evaluating the results, the written report was completed.

In this thesis, the theory of paints is reviewed at a general level and the methods used to study the paints are comprehensively reviewed. The experimental section describes the procedure for each measurement, and the results obtained from all the tests are summarized.

On the basis of the results, it can be stated that it is possible to use the by-product as a raw material in wet paints. However, further testing is required to confirm the finding, and at this point the project was decided to put on halt.

The results obtained during this thesis will serve as a comprehensive source material when the further development of products containing powder paint waste is continued.

Keywords: epoxy, filler, powder paint

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Maalikemiaa	2
2.1	Epoksimaalit	4
2.2	Jauhemaalit	5
2.2.1	Epoksipohjaiset jauhemaalit	7
2.2.2	Jauhemaalauksen edut	7
2.2.3	Jauhemaalauksen rajoitteet ja haasteet	8
2.3	Sideaineet	8
2.4	Pigmentit	9
2.5	Täyteaineet	10
2.6	Apuaineet	10
3	Maalien ja maalipinnoitteiden tutkimusmenetelmiä	11
3.1	Fysikaaliset ominaisuudet	11
3.1.1	Tiheys	11
3.1.2	Reologia	12
3.1.3	Käyttöaika	15
3.1.4	Kuivumisajan määrittäminen	16
3.2	Maalikalvojen ominaisuudet	17
3.2.1	Heilurikovuustesti	17
3.2.2	Kiilto	18
3.2.3	Aikainen vedenkesto	19
3.3	Kalvojen mekaaniset ominaisuudet	19
3.3.1	Nappula-adheesio	20
3.3.2	Hilaristikkokoe	21
3.3.3	Veitsiadheesio	22
3.3.4	Maalausjärjestelmien korroosionestokyvyn määrittäminen	23
3.3.5	Rasitusluokat	24
3.4	Päällemaalattavuus	25
4	Koemateriaalit	26
4.1	Tutkittava maali	26

4.2	Tutkittava täyteaine	26
4.3	Maalien valmistus laboratoriossa	27
4.4	Testialustat	27
4.5	Testialustojen valmistus	27
5	Kokeellinen osuus	28
5.1	Fysikaaliset ominaisuudet	28
5.1.1	Tiheys	28
5.1.2	Reologia	28
5.1.3	Käyttöaika	29
5.1.4	Kuivumisajan määrittäminen	29
5.2	Kalvojen ominaisuudet	30
5.2.1	Kovuuskehitys	30
5.2.2	Kiilto	30
5.2.3	Aikainen vedenkesto	31
5.3	Kalvojen mekaaniset ominaisuudet	31
5.3.1	Maalausjärjestelmien korroosiotestaus	32
5.3.2	Referenssilevyjen testit	34
5.4	Päällemaalattavuus	36
5.5	Turvallisuus	36
6	Tulokset ja tulosten tarkastelu	37
6.1	Fysikaaliset ominaisuudet	37
6.1.1	Tiheys	37
6.1.2	Reologia	37
6.1.3	Käyttöaika	40
6.1.4	Kuivumisajan määrittäminen	41
6.2	Kalvojen ominaisuudet	41
6.2.1	Kovuuskehitys	41
6.2.2	Kiilto	42
6.2.3	Aikainen vedenkesto	43
6.3	Mekaaniset ominaisuudet	43
6.4	Maalausjärjestelmien korroosionestotestien tulokset	43
6.4.1	Suolasumurasitustestien tulokset	44
6.4.2	Kondenssirasiitustestien tulokset	47
6.4.3	Referenssilevyjen testit	50
6.5	Päällemaalattavuuden tulokset	51

7	Yhteenveto ja johtopäätökset	53
	Lähteet	55
	Liitteet	
	Liite 1: Viskositeettimittauksien tulokset	
	Liite 2: Kovuuskehitystulokset	
	Liite 3: Päällemaalattavuuslevyjen tulokset	

## Lyhenteet ja käsitteet

Adheesio	Kahden eri aineen välinen vetovoima.
DFT	Dry Film Thickness. Kuivakalvonpaksuus.
Hartsi	Maalin sideaine, joka antaa maalille sen perusominaisuudet.
Koheesio	Saman aineen sisäinen vetovoima.
Krebs Unit	KU. Aineen sekoitustuntumaa kuvaava yksikkö.
MPa	Megapascal, N/mm <sup>2</sup> .
Omp	Ominaispaino.
Reologia	Oppi fluidin muodonmuutoksista ja virtauksista.
TiO <sub>2</sub>	Titaanidioksidi.
UV-säteily	Ultraviolet. Ultraviolettisäteilyn aallonpituus on alle 400 nm, joka on näkyvän valon aallonpituutta lyhyempää.
Vakiointiolosuhte	Lämpötila 23 ± 2°C ja suhteellinen kosteus 50 ± 5 %.
Viskositeetti	Suure, joka kuvaa fluidin kykyä vastustaa virtaamista.
VOC	Volatile organic compound. Haihtuva orgaaninen yhdiste.
WFT	Wet Film Thickness. Märkäkalvon paksuus.

## 1 Johdanto

Projekti lähti liikkeelle Teknosken tavoitteesta vähentää jätettä ja käyttää tehokkaammin hyödyksi raaka-ainevirtoja. Vaikka jauhemaalien valmistusprosessissa on saavutettu 98 %:n hyötysuhde, valmistusmäärät ovat niin suuria, että esimerkiksi vuonna 2018 kertyi hävikkiä noin 97 000 kg. Teknos maksaa siitä, että hävikki lähetetään Fortumille poltettavaksi energiaksi ja lämmöksi. Jos Teknos pystyisi hyödyntämään jauhemaalijätteen itse tai myymään jollekin toiselle osapuolelle, tästä saataisiin säästöjen ohella tukea kiertotalouteen yrityksen sisällä. [1.]

Jauhemaalijätteen hyödyntämistä osana märkämaalia on yritetty aiemminkin Suomessa ilman merkittävää menestystä. Aiemmillä kerroilla yritettiin hyödyntää jauhemaalien valmistusprosessin sykloneista erottunutta pientä partikkelikokoja olevaa sivuvirtaa, joka epätasaisen koostumuksensa ohella aiheutti tuotteen jälkipaksuuntumista. [1.]

Aiemmista kokemuksista saadun tiedon pohjalta tavoite oli ottaa linjan päädystä tulevaa jauhemaalijätettä. Tekemällä näin voidaan saada puhtaampaa ja partikkelikokojakaumaltaan tasaisempaa jauhetta. Samalla voidaan vaikuttaa myös siihen, minkä väristä jauhejätettä otetaan käyttöön. Jauhejäte otettiin vaaleilta valmistuslinjoilta niiden sisältämän titaanidioksidin takia, koska sillä voitaisiin osittain korvata kalliimman valkoisen pigmentin käyttö tuotteessa, tällä olisi säästöjä tuova vaikutus jo reseptitasolla. Isommassa mittakaavassa tavoitteena on vähentää jätettä ja käyttää tehokkaammin hyväksi raaka-aineita. [1.]

Työn tarkoituksena ei ollut kehittää uutta maalikaavaa jauhemaalijätteen hyödyntämistä varten. Tarkempaa analyysia jauhemaalijätteen laadullisesta koostumuksesta ei tämän työn aikana tehty, vaan jauhetta käytettiin osana maalireseptiä sellaisenaan. Samalla selvitettiin maalien käyttökyky useiden erilaisten testien avulla. Testeistä saatujen tulosten avulla voitiin määrittää projektin mahdollinen jatko seuraavaan vaiheeseen.

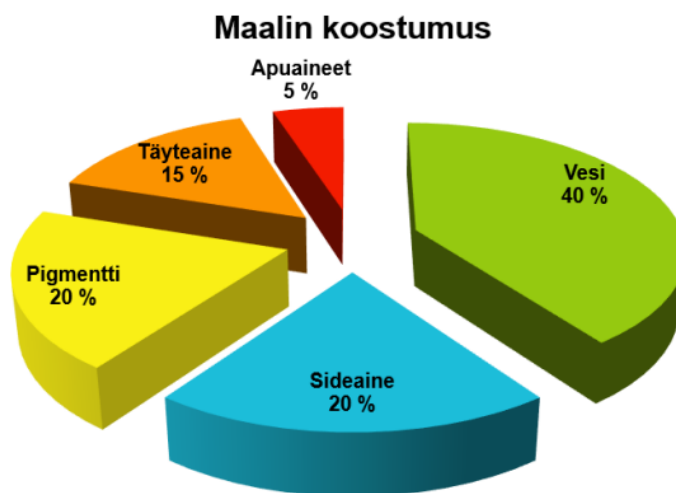


Työn taustatutkimuksena käytettiin kattavaa määrää kirjallisia lähteitä sekä aiempien projektien tutkimustuloksia. Mukana on myös käytännön kokemuksia alalla työskentelevältä henkilöltä henkilökohtaisen haastattelun perusteella.

## 2 Maalikemiaa

Maali on yleisnimi erilaisille pintakäsittelyaineille, joita käytetään suojaamaan esineiden pintaa ympäristön rasitteilta sekä muuttamaan käsiteltävän esineen pinnan väriä tai tuntua. Pinnan päälle levitettävä maali voi olla joko nestemäisessä tai kiinteässä jauhemaisessa muodossa, joka kovettuessaan muodostaa kiinteän, suojaavan kalvon. Kerroksia voi olla useita.

Nestemäiset maalit muodostuvat sideaineista (yleensä polymeeri), täyteaineista, pigmenteistä, liuottimista ja apuainesta. Komponenttien suhteellinen määrä on tuotekohtainen [2]. Kuvassa 1 näkyy esimerkki vesiohenteisen maalin koostumuksesta prosentteina.



Kuva 1 Esimerkki vesiohenteisen maalin komponenttien suhteellisesta määrästä prosentteina. [3.]

Maalit muodostavat kalvon joko kemiallisen reaktion avulla tai fysikaalisesti kuivuen. Kemiallisessa reaktiossa maalin sideaine verkkoutuu toisen

sideainekomponentin, kosteuden tai ilman hapen kanssa. Kemiallisesti kovettuva maali kuivuu ensin, ja vasta sitten kovettuu. Poikkeuksena on liuotteettomat maalit, jotka kovettuvat suoraan ilman kuivumista. Fysikaalisessa kuivumisessa maali muodostaa kalvon liuottimen haihtumisen seurauksena, eikä jälki-reaktiota tapahdu. [4.]

Maalit voidaan jakaa yksi- ja kaksikomponenttisiin maaleihin. Yksikomponenttiset maalit muodostavat kalvon, kun niitä levitetään sellaisenaan, eikä ylimääräisiä lisäaineita ennen levitystä vaadita. Pinnoite on valmiiksi esisekoitettu ja koko lopputuote sijoitettu yhteen astiaan. Vaikka yksikomponenttisiä pinnoitteita pidetään "käyttövalmiina", niitä on yleensä ravistettava tai sekoitettava ennen käyttöä sen varmistamiseksi, että kaikki pinnoiteliuoksen ainesosat ovat sekoittuneet riittävästi. [5.]

Kaksikomponenttisissä tuotteissa on maaliin sekoitettava erikseen kovete, jotta tuote voi muodostaa kalvon. Kaksikomponenttiset tuotteet tarjoavat yleensä joitain etuja, joita ei yksikomponenttisillä voida saavuttaa. Tällaisia etuja ovat esimerkiksi:

- parempi kirkkaus ja kestävyys
- parempi kovuus ja kemiallinen ja mekaaninen kestävyys
- parempi tarttuvuus alustaan ja kellastumisen kesto
- parempi elastisuus ja pestävyys
- erittäin korkea korroosionkestävyys. [6.]

Kaksikomponenttisten maalien kiintoainepitoisuus voi olla erittäin korkea (ns. high solid -maalit). Korkean kiintoainepitoisuuden maaleissa on korkeampi hartsipitoisuus ja pienempi haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuus. [7.]

## 2.1 Epoksimaalit

Epoksimaalit koostuvat kahdesta erillisestä osasta: perussideaineena toimivasta epoksihartsista ja kovetteesta, joka on yleensä aromaattinen tai alifaattinen amiini, amiiniaddukti tai polyamidi. Tuotenimenä epoksimaali ei ole ihan täsmällinen, sillä tuotteen kovettuessa siinä ei enää esiinny epoksiryhmää. [8, s. 137–140.]

Epoksikalvo on kova ja kimmoisa, mikä merkitsee hyvää kulutuksenkestävyyttä. Epoksit tarttuvat hyvin erilaisiin alustoihin eivätkä liukene liuotteisiin. Maalikalvo kestää laimeita happoja, suolaliuoksia, alkaleja, rasvoja, öljyjä ja erilaisia liuotteita hyvin. [8, s. 137–140.]

Epoksimaalit eivät kestä UV-säteilyä, mikä tarkoittaa, että suora auringon valo hajottaa pikkuhiljaa sideainetta. Tätä ilmiötä kutsutaan liituuntumiseksi, ja tämän ilmiön vaikutus näkyy maalissa värisävyn muutosta ja kiillon menetyksenä. Maalit levitetään yleensä korkeapaineruiskulla. Kertäkäsittelyllä voidaan saavuttaa tuotteesta riippuen 250–1 000 µm:n kuivakalvo. [1.]

Hyvän epoksimaalikalvon muodostuminen edellyttää vähintään +10 °C:n lämpötilaa, jonka lisäksi maaliseoksella on rajoitettu käyttöaika (pot-life) komponenttien sekoittamisen jälkeen. Erikoiskovetteita käyttäessä lämpötila voi olla myös alempi. [8, s. 137–140.]

### Epoksihartsit

Erilaisten epoksi-pinnoitteiden lähtöaineena toimii matalan polymeeriesteen polymeerit, epoksihartsit, joita valmistetaan epoksidadeista kemiallisilla reaktioilla. Epoksidadeihin kuuluvat yhdisteet, joiden rakenteessa on vähintään yksi epoksiryhmä (kuva 2), joka koostuu yhden happiatomin ja kahden hiiliatomin muodostamasta renkaasta. Epoksirenkaan rakenne on hyvin polarisoitunut, mikä tekee siitä erittäin reaktiivisen. [9.]



sekoitettu keskenään tasalaatuiseksi jauheeksi, joka on käyttövalmista sellaisenaan. Kemiallisesti kovettuvien jauhemaalien sideaineena (kuva 4) voidaan käyttää muun muassa epoksia, polyuretaania ja polyesteriä. [12, s. 120.]



Kuva 4 Polyesterijauhemaalihartsia. [13.]

Jauhe levitetään yleensä sähköstaattisella ruiskulla. Tästä johtuen maalattava kappale täytyy kyetä maadoittamaan, mikä tekee muiden kuin metallisten kappaleiden maalaamisesta haastavaa. Sideaine reagoi kovetteen kanssa vasta uunissa kuumennettaessa (+140... +200 asteisessa, noin 5–20 min) jauheen sulaessa ja polymeroituessa kappaleen pintaan lujaksi maalikalvoksi. [1; 12, s. 120–123.]

Jauhemaalissa voi olla haihtuvia komponentteja, mutta nämä usein ovat esimerkiksi joidenkin kovetekomponenttien pienimolekyylisiä osasia, jotka haihtuvat uunituksen aikana. [1.]

Uunituksen takia lämpöä kestävämmät pigmentit joudutaan hylkäämään, vaikka muuten jauhemaaleissa ja märkämaaleissa käytetään osittain samoja pigmenttejä. Apuaineilla parannetaan muun muassa tasoittuvuutta, ruiskutettavuutta, kulutuksenkestävyyttä ja korroosionestokykyä. Lisäaineiden määrä jauhemaalissa pysyy yleensä alle 5 %:ssa. Jauhemaalien jauheen keskimääräinen partikkelikoko on hyvin pientä (yleensä noin 40–50 µm). [12, s. 120–123.]

Jauhemaalauksella on mahdollista saada paljon paksumpia pinnoitteita kuin märkämaaleilla ilman valumista. Jauhemaalaukset antaa tyypillisesti tasaisen pinnan ulkonäön riippumatta pinnan suunnasta, kun märkämaalilla maalatut vaakaja pystysuorat pinnat ovat usein erotettavissa toisistaan. [14]

### 2.2.1 Epoksipohjaiset jauhemaalit

Epoksijauhemaaleja käytetään järjestelmissä, joissa UV-säteilyn kesto ei ole merkittävä tekijä, tai osana järjestelmiä, joissa on mukana UV-säteilyä kestävä pintatuote. Epoksipohjaista jauhemaalauksetta ei suositella avoimeen, ulkoilmaympäristöön tai tilanteisiin, joissa altistuminen ultraviolettisäteilylle aiheuttaa liituuntumista. Aivan maalikalvon pinnalla tapahtuva liituuntuminen ei kuitenkaan vaikuta maalikalvon suojauskykyyn. [1; 15.]

Käyttämällä epoksijauhemaalia pohjamaalina pystytään tehokkaasti hyödyntämään maalin vahvuudet samalla, kun sopiva pintamaali minimoi sen heikkoudet. Maalin vahvuuksiin kuuluu muun muassa hyvä kemiallinen kestävyys, kalvonjoustavuus ja hyvä tarttuvuus alustaan. [1; 15.]

### 2.2.2 Jauhemaalauksen edut

Jauhemaalaukset on 100-prosenttisesti kuiva-ainetta, eli se mitä maalataan, päätyy myös kalvoksi. Henkilökohtaisen suojaamisen vaatimukset ovat kevyemmät, kun maalattava materiaali on kiinteää. Jauhemaalauksessa käytetyt jauheet ovat ympäristöystävällisempiä kuin märkämaalit liuottimen puutteen takia, joten jauhemaalauksesta ei näin ollen vapaudu haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ympäristöön. [12, s. 120–122; 16.]

Jauhemaalauksen hyötysuhde märkämaalaukseen verrattuna on jonkin verran parempi jo ennestään, ja sitä voi parantaa esimerkiksi kierrättämällä ohiruis-kutetun jauhemaalauksen takaisin maalausprosessiin, mikä ympäristöystävällisyyden lisäksi laskee jauhemaalauksen kustannuksia. Kierrätys voidaan tehdä esimerkiksi silloin, kun käytetään samaa sävyä koko ajan. [12, s. 120–122; 16.]

Jauhemaalattut kappaleet ovat yleensä käsittelyvalmiita heti uunituksen jälkeen vaalien vain jäähtymisen ennen siirtämistä. Kappaleilla on varsin hyvä korroosionestokyky, sillä kalvot ovat erittäin tiiviitä ja niiden mekaaniset ominaisuudet ovat myös hyvät. Jauhemaalauksella pystytään yhdellä maalauskeralla saavuttaa saman tasoisia korroosiosuojaustasoja kuin monikerroksisella märkämaalauksella. [12, s. 120–122; 16.]

### 2.2.3 Jauhemaalauksen rajoitteet ja haasteet

Jauhemaalain kalvonmuodostukseen tarvitaan uunitusta melko korkeissa (esim. 180° C tai korkeammassa) lämpötilassa, mikä jossain määrin asettaa rajat maalattavien kappaleiden materiaalin ja kokoon suhteen. Kappaleiden uunitus vaatimuksen takia jauhemaaleilla ei voida tehdä kenttämaalausta. [12, s. 122.]

Jauhe levitetään yleensä sähköstaattisella ruiskulla. Tästä johtuen maalattava kappale täytyy kyetä maadoittamaan, mikä tekee muiden kuin metallisten kappaleiden maalaamisesta haastavaa. Jauhemaalauslinjat ovat rahallisesti suuri investointi verrattuna märkämaalauslaitteistoon, ja yleisellä tasolla jauhemaalit ovat myös hieman hinnakkaampia kuin märkämaalit. [12, s. 122.]

Maalattavan kappaleen muoto ja materiaalipaksuuden vaihtelut saattavat aiheuttaa ongelmia jauhemaalauksen suhteen. Esimerkiksi kappaleessa, jossa yhdistetään ohutta ja paksua terästä, lämpimää ohut kohta nopeammin kuin paksu. Jauhemaalattun kappaleen korjausmaalaus on hankalaa. [1; 12, s. 122.]

Yleisimmät jauhemaalityypit ovat epoksi, polyesteri ja näiden kahden ominaisuuksia yhdistelevä epoksipolyesteri. [12.]

## 2.3 Sideaineet

Sideaineet eli hartsit ovat tärkein maalin ominaisuuksiin vaikuttava tekijä. Näitä ominaisuuksia ovat muun muassa UV-suoja, joka vaikuttaa maalin sisä- ja ulkoikäkestävyyteen, kemiallinen kestävyys, kestävyysominaisuudet ja tartunta

alustaan sekä mekaaniset ominaisuudet kuten kovuus ja joustaminen. Maalit nimetään usein sideaineen mukaan. Sideaine vaikuttaa siihen, miten maali kuivuu ja sitoo sekä maalin ainesosat yhteen että kiinnittää maalin alustaansa. Sideaineena voi toimia kiinteä tai erittäin viskoosi (juokseva) kasvi- tai synteettistä alkuperää oleva aine. [2; 4.]

## 2.4 Pigmentit

Pigmentit (kuva 5) ovat hartsiin liukenemattomia jauheita. Pigmenttien avulla voidaan vaikuttaa erilaisiin maalin ominaisuuksiin, kuten sävy, läpikuulto, korroosion kesto, kiilto ja pintakalvon kestävyys. Pigmenteiltä vaaditaan hyvää värjäyskykyä, puhtautta, stabiiliutta sekä lämmönkestoa. Pigmentit voivat olla orgaanisia tai epäorgaanisia. Orgaanisilla pigmenteilla saadaan puhtaampi värisävy, mutta huonompi peittokyky, kun taas epäorgaanisten pigmenttien värisävyt eivät ole yhtä puhtaita kuin orgaanisten pigmenttien, mutta niiden peittokyky on parempi. [2; 4.]



Kuva 5 Erivärisiä maalipigmenttejä. [17.]

Orgaaniset pigmentit ovat hiilivety-yhdisteitä. Krappi-nimistä punaista väriä saadaan värimatarakasvin murskatusta maajuuresta. Yleisnimellä lamppumustana tunnettua väriä saadaan osittain polttamalla tai hiillostamalla öljyä, puuta, vihanneksia ja muita orgaanisia aineita. [18.]



Epäorgaaniset pigmentit ovat pääasiassa erilaisia mineraaleja ja metalliyhdisteitä. Koboltista ja alumiinista muodostuva koboltin sininen, titaanidioksidi eli titaaninvalkoinen ja rautaoksidista ja savesta valmistettu okra ovat epäorgaanisia pigmenttejä. [18.]

Lyijy-, kadmium- ja kromi(VI)-pigmentit olivat aiemmin paljon käytettyjä pigmenttejä, mutta niiden käyttö on lopetettu pitkälti niiden aiheuttamien terveyshaittojen vuoksi. [18.]

## 2.5 Täyteaineet

Täyteaineet ovat yhdessä pigmenttien kanssa jauhemaisia aineita, joiden avulla voidaan vaikuttaa maalin optisiin ominaisuuksiin, kasvattaa maalin tilavuutta ja parantaa mekaanisia ominaisuuksia kuten kovuus ja levittyvyys, sekä suojata pinnoitetta esimerkiksi auringonvaloa ja säätä vastaan. Täyteaineilla voidaan myös säädellä maalin viskositeettia, millä on merkittävä vaikutus maalin ruiskutettavuuteen. Täyteaineina voi toimia esimerkiksi bariumsulfaatti, kalsiumkarbonaatti, kaoliini ja talkki. [2; 4.]

## 2.6 Apuaineet

Maalit sisältävät poikkeuksetta erilaisia apuaineita hyvin pieninä (0,1–1 %) määrinä. Apuaineet ovat kemikaaleja, joilla voidaan vaikuttaa maalituotteen sellaisiin ominaisuuksiin kuten kuivumisnopeus, juoksevuus ja vaahtoaminen. Apuaineisiin kuuluvat muun muassa erilaiset korroosionestoaineet, kostutinaineet, paksuntajat ja vaahdonestoaineet. [2; 4.]

Kostutinaineilla voidaan alentaa maalin pintajännitystä ja sitä kautta parannetaan maalin leviämisominaisuuksia. Paksuntajilla nostetaan maalin viskositeettia, ja näin parannetaan maalin valumisominaisuuksia, tasoittumista ja levitettävyyttä. Paksuntajina voidaan käyttää akrylaatteja, selluloosaa tai savea. [2; 4.]

### 3 Maalien ja maalipinnoitteiden tutkimusmenetelmiä

Maalien ja pinnoitteiden ominaisuuksia voidaan tutkia useilla eri tutkimusmenetelmillä. Nämä tutkimusmenetelmät voidaan karkeasti jakaa maalin fysikaalisten ominaisuuksien tutkimiseen ja itse maalikalvon ominaisuuksien tutkimiseen.

#### 3.1 Fysikaaliset ominaisuudet

Maalin fysikaalisiin ominaisuuksiin kuuluvat esimerkiksi tiheys, viskositeetti ja kuivumisaika, ja niiden mittauksien avulla voidaan määrittää tuotteen laatua.

##### 3.1.1 Tiheys

Nesteen ominaispaino voidaan mitata tiheyspallolla. Kun kiinteä kappale, jonka tilavuus tunnetaan, upotetaan nesteeseen, vaikuttaa kappaleeseen ylöspäin vaikuttava voima, josta nesteen tiheys voidaan laskea Arkhimedeen lain avulla.

Jos kappale on osittain tai kokonaan upotettu nesteeseen tai kaasuun, kappaleeseen kohdistuu ylöspäin vaikuttava voima eli noste. Tämä voima on yhtä suuri, mutta suunnaltaan vastakkainen, kuin kappaleen syrjäyttämän neste- tai kaasumäärän paino. [19.]

Testattava neste tai maali kaadetaan maksimissaan 1 litran vetoiseen taaratuun astiaan, ja punnitaan 0,01 g:n tarkkuudella. Seuraavaksi upotetaan statii- viin kiinnitetty pallo näytteeseen ja kirjataan saatu lukema ylös.

Näytteen tiheys voidaan laskea kaavasta (kaava 1):

$$Dt = \frac{m^1 - m^0}{V_p} \quad (1)$$

jossa  $m^0$  on astian paino ilman palloa,  $m^1$  on astian paino pallon kanssa ja  $V_p$  on pallon tilavuus. Tiheys merkitään kahden desimaalin tarkkuudella ja arvolla  $\text{g/cm}^3$ . [19; 20.]

### 3.1.2 Reologia

Maalin juoksevuusominaisuuksia voidaan tarkastella valumakestotestin ja viskositeetin kautta. Niiden avulla saadaan tietoa siitä, miten maali käyttäytyy, kun sitä sekoitetaan tai levitetään pinnan päälle.

Valumakestotesti suoritetaan kalvonlevittimen avulla (kuva 6), jolla voidaan saada aikaiseksi eripaksuisia maalikalvoraitoja. Raitojen paksuudet voivat vaihdella 100–1000  $\mu\text{m}$ . Erityisen juokseville maaleille käytetään matalampia raitoja ja päinvastoin. Valumakokeen alustana käytetään yleensä tuotteesta riippuen peittopaperia, lasilevyä tai kylmävalssattua teräslevyä. [21.]



Kuva 6 Valumarauta 500–700  $\mu\text{m}$ .

Maali levitetään kalvonlevittimen avulla, minkä jälkeen alustana käytetty peittopaperi tai teräslevy nostetaan pystyasentoon niin, että paksuin kalvo on alimmaisena (kuva 7). Maalikalvon annetaan kuivua, kunnes maali on täysin kuivaa. Maalin viskositeetista ja rakenteesta riippuen on varsin tyypillistä, että varsinkin paksuimmilla kalvonpaksuuksilla muodostuu kyseisen raidan alareunaan hieman paksumpi reunus, mutta yli 20 %:n valumista levitetyn raidan paksuudesta ei sallita. Valun tulkintaan käytetään joko silmämääräistä havainnointia raidan alareunan paksunemisesta tai sitten raitojen välien mittaamista. [21.]



Kuva 7 V3-version (10 %) valumakestotesti 200  $\mu\text{m}$ , 400  $\mu\text{m}$  ja 600  $\mu\text{m}$  raidan paksuuksilla.

Viskositeetti kuvaa nesteen kykyä vastustaa virtausta. Mitä korkeampi viskositeetti on sitä, paksumpaa ja vähemmän juoksevaa maali on. Maalien viskositeettia voidaan määrittää erilaisilla viskosimetreillä.

Cone & Plate -viskosimetrissä (kuva 8) on akseliin kiinnitetty ympyräkartion muotoinen levy. Mittauksen aikana laitetaan tippa tutkittavaa maalia laitteessa olevalle osoitetuille alustalle ja lasketaan ympyräkartio tipan päälle. Cone & Plate -kara pyörii suurella nopeudella, ja laite mittaa tuotteen viskositeettia korkeilla leikkausvoimilla. Tätä viskositeetin arvoa voidaan käyttää apuna arvioitaessa tuotteen ruiskutettavuutta. Viskosimetrin akseli pyörii vakionopeudella ja ilmoittaa lukeman poisena (P). Cone & Plate -viskosimetrillä voidaan mitata nesteitä, joiden viskositeetti vaihtelee 0,2–100 poisea. [22.]



Kuva 8 BYK Cone & Plate viskosimetri. [23.]

Brookfield-viskosimetri (kuva 9) on vääntömomenttiin perustuva eli rotaatioviskosimetri, jolla voidaan mitata erittäin viskoosien nesteiden viskositeetteja. Brookfield -viskosimetrillä mitattaessa valitaan ensin sopiva mittauskara, joka on ympyrän muotoinen levy vaakatasossa, sekä kierrosnopeus, jolla karaa pyöritetään nesteessä. Brookfield-viskosimetrillä kierrosluvut eivät ole korkeita, ja sillä mitataan matalampien leikkausvoimien viskositeettia. Tämän avulla voidaan arvioida esimerkiksi tuotteen sekoitettavuutta. Laitteella voidaan mitata viskositeetiltaan huomattavasti paksumpia nesteitä. Laitteen mittausrajat ovat 100–13 300 000 senttipoise-yksikköä (cP). [24.]



Kuva 9 Brookfield KU-viskosimetri. [25]

KU-viskosimetrissä (kuva 10) kahdesta eri korkeudelle asetetusta lavasta koostuva kara lasketaan tutkittavaa näytettä sisältävään näyttekuppiin. Kara pyörii vakionopeudella, ja laite ilmoittaa Krebbs - yksikkölukeman näytölle reaalijasssa. Laitteella voidaan mitata nesteitä, joiden KU-arvo pysyy välillä 40–141. Krebbs -yksikköä ei voida suoraan verrata mihinkään viskositeetin SI-yksikköön, vaan sen tarkoitus on kuvata maalin tuntua sekoitettaessa. [26.]



Kuva 10. Brookfield KU -viskosimetri. [27.]

On olemassa myös reometrejä, joiden avulla voidaan määrittää mitattavan aineen koko reologinen profiili matalilta leikkausvoimilta korkeille leikkausvoimille asti, mutta tätä menetelmää ei käytetty tämän työn aikana.

### 3.1.3 Käyttöaika

Maalin käyttöaika eli Pot-life on se aika, jonka kovettuva, tavallisesti kaksikomponenttinen maaliseos säilyy käyttökelpoisena ja sitä kautta on vielä ruiskutettavissa. Tätä käyttöaikaa voidaan seurata viskositeetin kautta ajan funktiona. Tällöin tutkittavaa maalia tai lakkaa valmistetaan sopivan kokoiseen astiaan yhteensä 220 ml, ja sekoitetaan ko. systeemin muovi- ja koveteosa hyvin keskenään. Ajanotto alkaa hetkestä, jolloin muovi- ja koveteosa on punnittu astiaan. Mittaus suoritetaan vakiointiolosuhteissa (lämpötila  $23 \pm 2$  °C ja suhteellinen kosteus  $50 \pm 5$  %). Mittausvälit valitaan tuotekohtaisesti. Yleensä ensimmäisen tunnin aikana mittaus suoritetaan 10 minuutin välein, seuraavana tunnin puolen tunnin välein ja sen jälkeen tasatunnein. [28.]

### 3.1.4 Kuivumisajan määrittäminen

Maalikalvon kuivumisaikaa mitataan monilla eri tavoilla. Maalin pöly- ja kosketuskuiva-ajan määrittäminen on yleinen tapa selvittää maalin kuivumisnopeutta. Maalin kuivuminen hidastuu kylmissä ja/tai kosteissa olosuhteissa, ja sen kuivumisnopeuteen vaikuttaa maalin rakenteen ohella maalikalvon paksuus. Näiden kuivumisasteiden avulla selvitetään, miten nopeasti levitetyt kalvot ovat niin kovia, että kappaleita voi käsitellä taas turvallisesti. [1.]

Kalvon pölykuiva-ajan määrittämisessä testattavasta tuotteesta otetaan edustava näyte, joka levitetään kalvonlevittimellä joko lasiselle tai metalliselle koelevylle. Levyt kuivuvat sitten vaakasuorassa asennossa vakiohuoneessa suojattuna vedolta ja pölyltä. [29.]

Ennalta sovituin väliajoin tutkitaan, onko kalvo pölykuiva. Pölykuiva-aika on usein varsin lyhyt aika, joten mittauksia suoritetaan usein alkuun tiheämmin, esimerkiksi 10 minuutin välein. Pölykuivuus-aika määritetään kaatamalla kalvolle noin 0,5 g hyvin pieniä lasihelmiä vähintään 50 mm:n ja korkeintaan 150 mm:n korkeudelta. 10 sekunnin kuluttua levy nostetaan 20 ° kulmaan ja harjataan lasihelmet kevyesti pois. [29.]

Näyte on pölykuiva, kun pöly eli tässä tapauksessa lasihelmet eivät tartu kalvon pintaan ja irtoavat pintaa vahingoittamatta. Noin 5 mm:n etäisyydellä vedoksen reunasta olevia alueita ei oteta huomioon arvioinnissa. [29.]

Kun kalvon pölykuivuus on saavutettu, voidaan siirtyä tutkimaan sitä, milloin kalvo on kosketuskuiva. Tätä voidaan testata esimerkiksi kokeilemalla ennalta sovituin väliajoin, tarttuuko pintaa vasten painettu paperi maalikalvoon. [30.]

Koelevy asetetaan sovitun kuivumisajan jälkeen vaakasuoraan asentoon. Koelevyn pinnalle asetetaan paperinpala, ja tämän päälle kumilevyllinen 200 g:n painoinen paino. Painon annetaan olla paperin päälle 60 sekuntia. Kalvo on kosketuskuiva, jos paperi irtoaa, kun pystysuorassa oleva koelevy pudotetaan 20 mm:n korkeudelta puiselle alustalle. [30.]

Kalvon käsittelykuivuus määritetään sen jälkeen, kun kosketuskuiva-aika on saavutettu. Testi voidaan suorittaa standardia ISO 9117 mukailevalla Sheen-testillä, jossa testattavan koelevyn päälle lasketaan varovasti testikara, ja käynnistetään laite. Nylonisella 200 µm:n suodatinkankaalla päällystetty kara pyörittää kerran 360 ° verran. Tämän jälkeen kara nostetaan ylös ja tarkastetaan, näkyykö testilevyn maalikalvon pinnalla merkkejä suodinkankaan kuviosta. Testi toistetaan ennalta sovituin väliajoin aina siihen asti, kunnes kuviota ei enää muodostu, ja kalvo luokitellaan käsittelykuivaksi. Käsittelykuivaa kappaletta voidaan siirtää ilman että maalikalvon pinta vaurioituu. Täysin kovettunut pinta kestää normaalia puhdistusta ja käyttöä. [31.]

## 3.2 Maalikalvojen ominaisuudet

### 3.2.1 Heilurikovuustesti

Heilurikovuusmittaus on standardin ISO 1522 mukainen menetelmä, jossa kovuus mitataan heilurilla, jonka avulla saadaan maalikalvolle König-arvo sekunteina. Kahden metallikuulan varassa lepäävässä heilurissa on poikkitankoon kiinnitetyssä tangossa liikkuva vastapaino, joka säätää heilahduksen taajuutta. Heilurin liikettä mitataan valokennon avulla. Joka kerta kun heiluri sivuuttaa valokennon, laskijalaite rekisteröi heilahduksen. Kone laskee heilurin ohitusten välisen ajan perusteella pinnan kovuuden. Heilurin liike hidastuu sitä nopeammin, mitä pehmeämpi on mitattava kalvo. [32.]

Kuva työssä käytetystä BYK-Gardner-heilurikovuustesteristä alla (kuva 11).

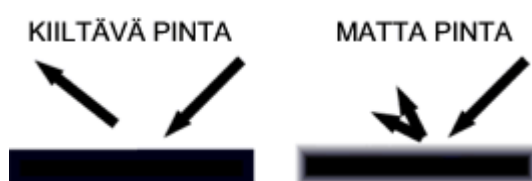




Kuva 11. BYK-Gardner-heilurikovuuslaite. [33]

### 3.2.2 Kiilto

Kiiltävän maalikalvon pinta on tasaisempi kuin matan maalikalvon pinta. Kiiltävään maalipintaan osuva valonsäde heijastuu pinnasta tasaisesti. Matan maalikalvon pinnasta heijastuessaan säde siroaa eli hajaantuu kuvassa 12 esitetyllä tavalla. [34.]



Kuva 12. Valon heijastuminen pinnasta. [34]

Maalikalvon kiilto voidaan määrittää heijastamalla valonsäde tietyllä voimakkuudella ja tietyssä kulmassa kalvon pintaan ja mittaamalla heijastuneen valon määrä samassa mutta vastakkaisessa kulmassa. Täysin kiiltävälle pinnalle kiiltoarvo on 100 ja täysin matalle pinnalle 0. [33.] Taulukossa 1 on listattuna Maa- ja rakennusministeriön (MRL) 2012 kiiltoryhmät.

Taulukko 1. Maalaus RYL 2012 kiiltoryhmät, kiiltoryhmien kuvaukset ja niitä vastaavat kiiltoarvot. [35.]

Kiilto-ryhmä		Kiiltoarvo 60°
1	Täyskiiltävä	yli 80 yksikköä
2	Kiiltävä	61...80 yksikköä
3	Puolikiiltävä	36...60 yksikköä
4	Puolihimmeä	11...35 yksikköä
5	Himmeä	6...10 yksikköä
6	Täyshimmeä	0...5 yksikköä

Maalit ja lakat jaetaan 60 asteen heijastuskulmassa mitatun kiillon mukaan seuraaviin ryhmiin: täyskiiltävä, kiiltävä, puolikiiltävä, puolihimmeä, himmeä ja täyshimmeä. Maalin nimessä oleva numero kertoo tuotteen kiiltävyydestä: mitä suurempi numero, sen kiiltävämpi maali. Kiiltoa mitataan myös muista kulmista, kuten 20°, 60° ja 85°. 60° on yleisin. [35.]

### 3.2.3 Aikainen vedenkesto

Aikaisen vedenkeston testin avulla voidaan tarkastaa se, miten maalikalvo sieittää kosteutta jo hyvin lyhyen ajan jälkeen siitä, kun se on maalattu. Varsinkin epoksimaalit ovat hyvin alttiita veden ja kosteuden aiheuttamille pintavioille maalauksen alkuvaiheessa. Monesti esimerkiksi teollisuusmaalauksessa yrityksillä ei välttämättä ole tilaa säilyttää vastamaalattuja kappaleita sisätiloissa, ja ne saatetaan hyvinkin nopeasti siirtää pihalle odottamaan seuraavia prosessointivaiheita maalauksen jälkeen. [36.]

### 3.3 Kalvojen mekaaniset ominaisuudet

Maalikalvojen mekaanisia ominaisuuksia voidaan arvioida vetokokeen, hilaristikon ja veitsikokeen avulla. Maalin mekaanisia ominaisuuksia testataan usein myös korroosionestotestien yhteydessä.

### 3.3.1 Nappula-adheesioon mittaaminen

Vetokokeen avulla tutkitaan kalvon tartuntaa substraattiin (adheesiota) ja kalvon sisäistä vahvuutta (koheesiota), joka voidaan mitata esimerkiksi PosiTest AT-A-mittalaitteella (kuva 13). Vetomenetelmä perustuu standardiin ISO 4624:2016, ja se on tarkoitettu paksujen pinnoitteiden testaukseen. Menetelmällä verrataan pinnoitteiden tartuntaominaisuuksia. Murtuma voi olla joko materiaalin sisäinen murtuma eli koheesiomurtuma tai tartuntamurtuma eli adheesiomurtuma. [37.]



Kuva 13 PosiTest AT-A-vetokoelaitte. [38.]

Kokeessa levyihin liimataan joko alumiininen tai teräksinen vetonappula, yleensä kolmeen kohtaan, ja vetokoe suoritetaan, kun nappulan kanssa käytetty liima on kuivunut. Vetojännityksen mittaus suoritetaan kohtisuoraan pinnoitettua alustaa vasten vetonopeuden ollessa vakio. Mekaanisten ominaisuuksien lisäksi tuloksiin vaikuttaa olennaisesti alustan esikäsittely laatu, paksuus sekä pinnoitteen kuivumisolosuhteet. [37.]

Murtuman tyyppi määritetään silmämääräisesti taulukon 2 tulkintaa hyödyntäen.

Taulukko 2. Murtumatyyppien merkintätavat ja tulkinta. [37.]

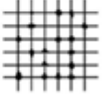
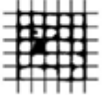
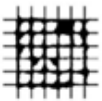
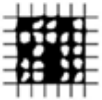
Murtuma- tyyppi	Tulkinta
A	Alustan koheesiomurtuma
A/B	Adheesiomurtuma alustan ja ensimmäisen pintakerroksen välillä
B	Koheesiomurtuma ensimmäisessä pinnoitekerroksessa
B/C	Adheesiomurtuma ensimmäisen ja toisen pinnoitekerroksen välillä
n	Koheesiomurtuma monikerrosyhdistelmän kerroksessa <i>n</i>
n/m	Adheesiomurtuma monikerrosyhdistelmän kerrosten <i>n</i> ja <i>m</i> välillä
-/Y	Adheesiomurtuma liiman ja pintakerroksen välillä
Y	Liiman koheesiomurtuma
Y/Z	Adheesiomurtuma liiman ja vetokappaleen välillä

Vetokoelaitte ilmoittaa murtolujuuden yksikössä MPa, ja testin murtumatyyppi ilmoitetaan pyöristettynä lähimpään 10 %:iin. [37.]

### 3.3.2 Hilaristikkokoe

Maalin tartuntaa alustaan voidaan testata myös yksinkertaisella ja nopealla hilaristikkokokeella (ISO 2409:2020). Testiä voidaan käyttää alle 250 µm:n kalvonpaksuuksilla. Kokeessa maalipintaan läpi viilletään 10 × 10 kappaleen ristikko. Viiltojen etäisyys on 1 mm 60 µm:iin asti, 2 mm:n paksuuksilla 61–120 µm ja 3 mm:n paksuuksilla 121–250 µm. Ristikon teon jälkeen pintaa harjataan kevyesti. Jos ruudut irtoavat pinnasta, maalin tartunta pintaan on heikko. Tulos arvioidaan vertailemalla visuaalisesti vertailukuviin (kuva 14). [39.]

Tulos ilmoitetaan ISO 2409:2020:n antaman luokituksen mukaan kullekin prosenttimäärälle. [39.]

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 luokitteluvuorokauden 4 mukaisesti	-

Kuva 14 Hilaristikkotulosten tulkintaluokitukset. [39.]

Ristikon tekemiseen on monia tapoja, mutta sen haaste on, että saa viillot menemään koko alalta maalipinnan läpi pohjaan asti. Tarvittaessa maalipintaa voidaan viiltää useampi kerta. Jos viillot eivät mene pohjaan asti, ristikko on tehtävä uudestaan. Hyvin kovien ja paksujen maalikerrosten läpi voi olla hyvin vaikeaa tehdä kunnollista ristikkoa. Hilaristikkokokeella saatava tulos on hyvä, jos tartunnan tulos on yli 95 %. Hilaristikkokoe voidaan tehdä sekä kuivaan että märkään maalipintaan. [39.]

### 3.3.3 Veitsiadheesio

Veitsikokeessa mukaillaan X-viiltomenetelmää, mutta teipin sijasta viiltokohtaa nostetaan veitsen kärjellä. Hyvällä adheesiolla kalvot eivät erotu toisistaan ja huonossa erottuu. Veitsiadheesiota voi käyttää myös yksikerrosjärjestelmille, tällöin tarkastellaan maalin ja substraatin välistä adheesiota. Koetulos ilmoitetaan havaitun vaurion mukaisena luokituksena (taulukko 3). [39.]

Taulukko 3. X-viiltomenetelmän tulosten kuvaukset ja merkintätapa. [39]

Selite	Merkintä
Kalvojen irtoamista ei tapahdu	++
Kalvoissa tapahtuu irtoamista vain vähän	+
Kalvojen välissä tapahtuu irtoamista	-

Veitsikoe voidaan tehdä sekä kuivaan että upotusrasituksessa olleeseen maali-pintaan. Adheesio on hyvä, jos kalvoa ei saa veitsen terällä irrotettua substraati-ta tai alemmasta kalvosta. [39.]

### 3.3.4 Maalausjärjestelmien korroosionestokyvyn määrittäminen

Maalausjärjestelmien korroosionkestokykyä arvioidaan laboratoriossa standar-din ISO 12944-6:2019 mukaisesti käyttäen veden kondenssitesttiä (ISO 6270–2:2018), neutraalia suolasumutestiä (ISO 9227:2017) sekä vesi- ja kemikaali-kestävyydestiä (ISO 2812-4:2017). [40.]

Kondenssitestin tarkoitus on simuloida ulkotilojen kosteuden vahingollisia vaiku-tuksia maalijärjestelmään kondensoimalla lämmintä vettä suoraan kalvojen pin-nalle. Testilaitteella pyritään toistamaan kosteuden aiheuttamat vauriot, jotka syntyvät ulkotiloissa kuukausien tai vuosien kuluessa, vain muutamassa päi-vässä tai viikossa. [41.]

Suolasumutestin tarkoituksena on osoittaa maalausjärjestelmän kestävyys ym-päristön aiheuttaman ruosteen leviämistä vastaan. Maalijärjestelmällä maalatut koelevyt pidetään suolasumulaitteen kammiossa, joka ruiskuttaa 5-prosenttista suolaliuosta 35 °C:n lämpötilassa jatkuvasti levyjen päälle. [42.]

Vesi- ja kemikaalikestävyystestillä määritetään yksittäisen tai monikerroksisen pinnoitemateriaalin kestävyys nesteiden tai tahnamaisten tuotteiden vaikutuk-sille. Testillä voidaan myös määrittää testiaineen vaikutus pinnoitteeseen, sekä tarvittaessa arvioida alustan vauriot. [43.]

Kiihdytettyjen koestustestien jälkeen levyistä tarkastetaan välittömästi kalvojen ulkonäkö, rakkuloitumisaste, liituuntumisaste, halkeilu ja ruosteen leviäminen viillosta. Viikon kuivumisen jälkeen levyille tehdään vetokoe ja hilaristikkokoe. Hilaristikkokoe ei tehdä, jos maalausjärjestelmän maalikalvojen paksuus on yli 250 µm. Veitsikoe eli x-viiltotestiä ei korroosionestotestilevyille tehdä. [40.]

Jokaisesta maalausjärjestelmän testauksesta tehdään yleensä referenssitestaus virallisten koestustestauksien tueksi. Referenssitestien avulla voidaan määrittää, heikkeneekö maalausjärjestelmän kalvo-ominaisuudet kiihdytettyjen kokeiden aikana. Referenssitestauksia tehdessä tehdään samat testit kuin koestustestauksissa. Veitsikoe voidaan teettää lisätietojen tuottamiseksi.

### 3.3.5 Rasitusluokat

Kohteen suojausvaatimukset määräävät sen, mitkä maalityypit ensisijaisesti valitaan sen suojaamiseen. Maalien tulee myös kestää valmistuksesta ja asentamisesta aiheutuvat rasitukset. Standardin ISO 12944-2 mukaan ilmastorasitukset voidaan jakaa viiteen eri luokkaan [44.]:

- C1 hyvin lievä
- C2 lievä
- C3 kohtalainen
- C4 ankara
- C5 erittäin ankara.

Veteen upotetuille ja maanalaisille rakenteille on seuraavat luokat:

- Im1 makeavesiupotus, esim. jokirakenteet, vesivoimalat
- Im2 meri- ja murtovesiupotus, esim. satamarakenteet
- Im3 maanalaiset rakenteet, esim. maanalaiset säiliöt, teräspaalut ja vastaavat.

Ellei sisätiloissa ole kosteuden lisäksi muita merkittävässä määrin korroosioon vaikuttavia tekijöitä, ne voidaan luokitella rasitusluokkiin C1 ja C2. Rasitusluokkiin C2–C5 luokitellaan ulkoilman ympäristöolosuhteet. Ilman epäpuhtauksien

määrän ja laadun mukaan paikkakunnan ilmasto voidaan luokitella meri-, teollisuus-, maaseutu- tai kaupunki-ilmastoon. [44.]

Erikoisrasitusalueiksi voidaan luetella sellaiset alueet, joita esiintyy esimerkiksi paperi-, selluloosa- ja kemianteollisuuden laitoksissa, veden- ja maanalaisissa rakenteissa sekä silloissa. Näissä erikoisolosuhteissa tyypillisesti esiintyviä korroosiorasituksen aiheuttajia ovat kemikaalipöly, syövyttävät kaasut, roiskeet, mekaaninen ja biologinen rasitus sekä upotus- ja lämpörasitukset. [44.]

Ympäristön rasitusluokkaa määritettäessä on otettava erityisesti huomioon kohteen välittömässä läheisyydessä olevat korroosioon vaikuttavat tekijät. Korroosioneston kannalta on lähiympäristön mikroilmastolla oleellisempi merkitys kuin paikkakunnan laajuisella makroilmastolla. Suomessa esimerkiksi ilmastorasitus on lähes kaikkialla C2-luokkaa puhtaan ilman ja veden takia, mutta teollisuusalueilla voi paikallisesti olla rankkojakin ympäristöjä. [44.]

### 3.4 Päällemaalattavuus

Päällemaalattavuus kokeella voidaan testata maalin- tai lakkakalvon kykyä kestää rypistymättä tai irtoamatta seuraavan kerroksen päälle levittäminen. Päällemaalauksen ajankohdat määritetään tuotekohtaisesti. [45.]

Tässä testissä tutkittavan maali levitetään hiekkapuhallettuihin levyihin kalvoraudalla tai yläkuppiruiskulla halutulla kalvonpaksuudella. Levyt asetetaan kuivumaan vakiohuoneeseen, kunnes niiden päällemaalauksen aika koittaa. Testiajankohdat voivat esimerkiksi olla ensimmäisen viikon päivät laskettuna maalikalvon levityksestä, yhden ja kahden viikon välein ja sen jälkeen kuukausittain. Lyhyen ajan, esimerkiksi yhden ja neljän tunnin päästä kalvon levityksestä, päällemaalattavuus tehdään yleensä yläkuppiruiskulla. Näin mahdollistetaan kalvon tasainen levittyminen ja se, ettei kalvorauta vahingoita alla olevaa kalvoa. [45.]



Kun pintamaali on kuivunut sovitun ajan, sille tehdään samat adheesiokokeet kuin korroosionestotestien levyille. Tarkoituksena on selvittää, miten hyvin pintamaali on tarttunut pohjalla olevaan maalikerrokseen, sekä se miten maalausajankohtien ero vaikuttaa pohja- ja pintamaalin kalvojen tarttuvuuteen.

## 4 Koemateriaalit

### 4.1 Tutkittava maali

Työssä käytettävä maali, johon jauhemaalijäte on tarkoitus saada osaksi, on kaksikomponenttinen, liuotinohenteinen epoksipohjamaali, joka sisältää noin 62 tilavuusprosenttia kuiva-aineita. Maalia käytetään suihkupuhdistettujen teräspintojen sekä sinkittyjen ja alumiinipintojen ruosteenestomaalina kohteissa, joiden tulee kestää hyvin kulutusta, kemikaaleja, öljyä ja vettä. Kovetteena toimii fenalkamiinipohjainen kovete, joka on cashewpähkinän kuoresta puristettua öljyä.

[1.]

Tutkittavasta maalista valmistetaan neljä eri versiota: referenssi- eli vertailumaali, joka sisältää 0 % jauhemaalijätettä. Muut tutkittavat erät sisältävät 2,5 %, 5,0 % ja 10,0 % jauhemaalijätettä osana niiden rakennetta. Tutkittavia eriä merkitään V0 (referenssi), V1 (2,5 %), V2 (5,0 %) ja V3 (10,0 %).

### 4.2 Tutkittava täyteaine

Tässä projektissa ollut tutkittava jauhemaalijäte syntyy tuotteen valmistuksen murskaus- ja jauhatusvaiheiden aikana. Jätteen konsentraatio ei vastaa valmiin prosessoidun tuotteen konsentraatiota, sillä esimerkiksi jauhatuspanoksen loppupuolella ekstruuderit täyttyy vajaasti, mikä muuttaa sen läpi menevää ainevirrata sekä ainevirran konsentraatiota. Jauhemaalijäte näytteitä oli kaiken kaikkiaan 17:stä eri panoksesta.

Kutakin jauhetta punnittiin saman verran erilliseen astiaan, joka sitten käsiteltiin sekoittimella tasalaatuisen lopputuloksen aikaansaamiseksi. Tarkempaa

analyysia jauhemaalijätteen laadullisesta koostumuksesta ei tämän työn aikana tehty, vaan jauhetta käytettiin osana maalireseptiä sellaisenaan.

### 4.3 Maalien valmistus laboratoriossa

Jokaista maalinäytettä jauhettiin noin yhden litran verran laboratoriossa tehtäviä testejä varten. Yhteensä jauhettavia maaleja jauhettiin neljä. Jauhemaalijätteen osuus laskettiin reseptin koko muoviosasta. Tarkoitus oli, että kaikilla koeversioilla ja referenssillä on samanlainen täyttöaste ja teoreettiset kalvo-ominaisuudet. Maalien annettiin vakioitua ennen testien alkua vähintään vuorokauden ajan vakiohuoneessa ennen testien alkua.

### 4.4 Testialustat

Kovuus- ja kiiltotesteissä sekä aikaisen vedenkeston testeissä käytettävänä alustoina toimivat kooltaan 100 mm x 150 mm:n lasilevyt. Kuivumisajan määrittämiseen käytettiin 300 mm x 100 mm x 0,8 mm kokoa olevia kylmävalssattuja teräslevyjä. Valumistesteille käytettiin kokoa 150 mm x 100 mm x 0,8 mm olevia kylmävalssattuja teräslevyjä. Adheesio, korroosio- ja päälle maalattavuustestejä varten maalautettiin maalaamossa tarvittava määrä 100 mm x 150 mm x 3 mm kuumavalssattuja teräslevyjä korkeapaineruiskulla.

### 4.5 Testialustojen valmistus

Kovuus- ja kiiltotestiä ja aikaisen vedenkeston testiä varten maalinäytteet applikoitiin kalvonlevittimellä lasilevyille 200 µm:n märkäkalvonpaksuuksilla. Lasilevyjen annettiin kuivua vakiohuoneessa koko testin ajan. Kovuuden mittausväleiksi valittiin 1, 2, 3, 7, 14 ja 28 vuorokauden tulokset. Kiiltotesti ja aikaisen vedenkeston testi voitiin suorittaa seuraava päivänä applikoinnista.

Valumatestiä varten vedokset tehtiin kylmävalssatuille teräslevyille kalvonlevittimellä käyttäen eri kokoja 100–700 µm. Kuivumisajan määrittämistä varten maali applikoitiin kooltaan 300 mm x 100 mm x 8 mm oleville kylmävalssatuille

teräslevyille ja päälle maalattavuuden määrittystä varten hiekkapuhalletuille kuumavalssatuille hiiliteräslevyille.

Korroosionestotestauksissa alustoina toimivat kooltaan 150 mm x 100 mm x 3 mm olevat hiekkapuhalletut kuumavalssatut hiiliteräslevyt. Levyt maalautettiin maalaamossa, jossa maalaus suoritettiin käyttämällä korkeapaineruiskua. Korroosionestotesteihin menevät levyt tausta- ja reunasuojattiin sopivalla tavalla, ja suolasumulevyihin valmistettiin viilto ennen koestukseen luovuttamista.

## **5 Kokeellinen osuus**

Projektin aikana valmistetuille maalinäytteille valittiin testit sekä märän että kuivan maalin ominaisuuksien testaamiseen. Kaikki testit noudattivat maalialalla yleisesti käytettyjä standardeja, kuten ISO 12944:ää.

Kaikki testit suoritettiin työnantajan tutkimus- ja tuotekehityslaboratorion tiloissa. Valmiit maalit ja maalatut levyt pidettiin vakiointiolosuhteissa, jossa lämpötila oli 23 °C ja kosteus RH 50 %.

### **5.1 Fysikaaliset ominaisuudet**

#### **5.1.1 Tiheys**

Tutkittavien maalien ominaispainon mittaukseen käytettiin laboratorion omaa vaakaa ja ominaispalloa. Maalia sisältävä maalipurkki laitettiin vaa'an päälle, jonka jälkeen vaakaa taarattiin. Statiiviin kiinnitetty ominaispallo laskettiin maalinäytteeseen ja vaa'an antama lukema kirjattiin ylös kahden desimaalin tarkkuudella.

#### **5.1.2 Reologia**

Valumistestejä varten testimaalit applikoitiin kalvonlevittimellä 150 x 100 x 0,8 mm kylmävalssatuille R-46-teräslevyille, 100–700 µm paksuuksilla, jotka sitten

asetettiin heti pystysuoraan asentoon. Näin vedetyt raidat olivat vaakasuorassa asennossa, ohuin ylimpänä ja paksuin raita alimpana. Lopputulos määritettiin maalin kuivuttua käsittelykuivaksi.

Cone & Plate-viskositeetin mittauksissa levitettiin pipetin avulla pieni määrä tutkittavaa maalinäytettä laitteen mittaustasolle ja laskettiin kara sen päälle. Laite pyöritti ympyräkartion muotoista karaa kierrosnopeudella 750 rpm ja tuloksen arvot saatiin poiseina (P).

Brookfield-mittauksissa käytettiin koon 6 karaa ja karan pyörimisnopeudeksi asetettiin 20 rpm. Kara laskettiin maalia sisältävään astiaan karan merkkiuran tasolle ja laite käynnistettiin. Karan annettiin pyöriä noin minuutin ajan, ja laitteen ilmoittamat tulokset saatiin senttipoiseina (cP).

Brookfield-KU-2-viskomittarin laitteeseen kiinnitettävä kara laskettiin maalinäytteeseen karan merkkiviivaan asti, ja annettiin sen pyöriä, kunnes mittausarvo tasaantui lähes muuttumattomalle alueelle.

### 5.1.3 Käyttöaika

Tutkittavaa maalisysteemiä valmistettiin sopivan kokoiseen astiaan yhteensä 220 ml, ja systeemin muovi- ja koveteosa sekoitettiin hyvin keskenään. Ajanotto aloitettiin hetkestä, jolloin muovi- ja koveteosa punnittiin astiaan. Mittaus suoritettiin vakiointiolosuhteissa. Mittausväleiksi valittiin ensimmäisen tunnin ajalta 10 minuutin välein ja seuraavien tuntien ajalta 30 minuutin välein aina siihen asti, kunnes alkuhetkellä mitattu viskositeetti oli kaksinkertaistunut.

### 5.1.4 Kuivumisajan määrittäminen

Kuivumisajan määrittämistä varten applikoitiin tutkittavia maaleja isoille, kokoa 300 mm x 100 mm x 0,8 mm oleville kylmävalssatuille teräslevyille 200 µm kalvonpaksuudella. Kuivumisaika testattiin ensimmäisen tunnin aikana 10 minuutin

välein, toisen tunnin aikana puolen tunnin välein, ja siitä edespäin tunnin välein, kunnes kalvo saavutti tarvittavat kuivumisasteet.

## 5.2 Kalvojen ominaisuudet

### 5.2.1 Kovuuskehitys

Maalikalvojen kovuuskehitys mitattiin käyttäen König-heiluria. Mittaamiseen käytetty laite oli Pendulum Hardness Tester -heiluri. Lasilevy, jolle tutkittava maalinäyte oli applikoitu, asetettiin laitteeseen, jonka jälkeen heiluri vapautettiin kuuden asteen kulmasta. Mittaustulokseksi saatiin heilumisaika sekunteina. Mittaus suoritettiin kolme kertaa per näytelevy, ja näistä tuloksista laskettiin keskiarvo. Mittauksista suoritettiin 1, 2, 3, 7, 14 ja 28 päivän ajanjaksolla. Tuloksista voitiin päätellä kalvon kovuuskehitys ja lopullinen kovuus. Testi suoritettiin vakioolosuhteissa.

### 5.2.2 Kiilto

Mittaukset tehtiin Bykin Micro-Tri-Gloss 4430-kiiltomittarilla (kuva 15) standardin ISO 2813 mukaan käyttäen 60°:n kulmaa. Jokaisesta näytteestä tehtiin lasilevylle vedos 200 µm:n applikaattorilla. [46.]



Kuva 15 Bykin Micro-Tri-Gloss -mittauslaite.

Kiiltoarvon mitattiin kolmesta eri kohdasta, ja laite laski niistä keskiarvon.

### 5.2.3 Aikainen vedenkesto

Kalvojen aikaisen vedenkeston testiä varten levitettiin maalia 200 µm kerros 100 mm x 150 mm lasilevylle (kuva 16), ja annettiin levyn kuivua seuraavaan päivään vakiohuoneessa. Seuraavana päivänä maalikalvon päälle asetettiin vedellä täytetty halkaisijaltaan noin 2,5 cm leveä vesikuppi nurinpäin niin, että vesi kohtasi maalikalvon pinnan. Seuraavana päivänä kuppi siirrettiin uudelle alueelle ja arvioitiin kohta, jossa kuppi oli ollut vuorokauden. Tästä seuraava päivänä kuppi poistettiin alustalta kokonaan, ja arvioitiin kohta, jossa veden pinta oli kosketuksissa maalikalvon pintaan kaksi päivää kalvon applikoimisesta.



Kuva 16 Aikaisen vedenkeston testausta.

Kalvosta arvioitiin ulkonäkö ja mahdollinen pehmeneminen verrattuna testamattomaan alueeseen.

### 5.3 Kalvojen mekaaniset ominaisuudet

Kalvojen mekaanisia ominaisuuksia testattiin vetokokeen, hilaristikon, veitsikokeen avulla.

### 5.3.1 Maalausjärjestelmien korroosiotestaus

ISO 12944-6 -standardissa määritetään laboriotestausmenetelmät maalausjärjestelmien toimivuuden varmistamiseksi. Maalausjärjestelmien soveltuvuutta arvioitiin laboratoriossa käyttäen veden kondenssitestä (ISO 6270–2:2018) ja neutraalia suolasumutestiä (ISO 9227:2017). Vesi- ja kemikaalikestävyystestiä (ISO 2812-4:2017) ei suoritettu tämän projektin yhteydessä. Korroosiotestaus suoritettiin näytteille V2 ja V3, mutta version V1 (2,5 % jauhemaalijätettä) ominaisuuksien tutkiminen jätettiin tässä vaiheessa projektia pois.

Kondensaatiotestauksessa koelevyt asetettiin  $60 \pm 5$  asteen kulmaan koestettava kalvo alaspäin. Koelevyt muodostavat ”katon”, jota pitkin niiden pintaan tiivistynyt n. 40-asteinen vesi pääsee valumaan pois. Kaapin sisällä ilman kosteuspitoisuus on 100 %. Koelevyt olivat kondensaatiokaapissa 120 tuntia (rasitusluokka C3-M) ja 480 tuntia (rasitusluokka C4-H).

Suolasumutestauksessa levyjen testattavalle puolelle tehtiin 2 mm leveä, 50 mm pitkä viilto metalliin saakka noin 2,5 cm päähän levyn alareunasta. Levyt olivat 5-prosenttisessä suolasumussa 240 tunnin (rasitusluokka C3-M) ja 720 tunnin (rasitusluokka C4-H) ajan.

Korroosiotestauksien loputtua suoritettiin levyjen arviointi alla olevan taulukon 4 mukaisesti, josta löytyy lueteltuna ne vaatimukset, joita koestustestauksissa maalatuilta teräspinnoilta odotetaan.

Taulukko 4. Korroosiotestauksien arviointimenetelmäluokat, standardit joihin arviointi perustuu sekä minimivaatimusarvot. [43]

Arviointimenetelmä	Standardi	Vaatimusarvo
Kupliminen	ISO 4628-2	0
Ruostuminen	ISO 4628-3	Ri 0
Halkeilu	ISO 4628-4	0
Hilseily	ISO 4628-5	0
Korroosio viillosta suola-sumutestin jälkeen	ISO 12944-6	Viillon korroosion keskiarvo max. 1,5 mm
Tartunta	ISO 4624	min. vetoarvo 2,5 MPa tartunnoille, väh. 5 MPa jos adheesiomurtuma maalin ja teräksen välillä
Hila	ISO 2409	0–2

Koestustestauksia varten maalautettiin maalaamossa neljä eri sarjaa (taulukko 5):

- Sarja 1. V2 yksi kerros
- Sarja 2. V2 kaksi kerrosta ja yksi kerros liuotinhenteistä polyuretaanipintamaalia
- Sarja 3. V3 yksi kerros
- Sarja 4. V3 kaksi kerrosta ja yksi kerros liuotinhenteistä polyuretaanipintamaalia.



Taulukko 5. Maalausjärjestelmäsarjat, maalikerrosten määrät, käytetty tuote ja tavoiteltu kalvonpaksuus.

Sarja	Kerros	Tuote	Tavoiteltu kalvonpaksuus
Sarja 1.	Kerros 1.	V2 (5,0 %)	120 µm
Sarja 2.	Kerros 1.	V2 (5,0 %)	100 µm
	Kerros 2.	V2 5,0 %	100 µm
	Kerros 3.	PUR	40 µm
Sarja 3.	Kerros 1.	V3 (10,0 %)	120 µm
Sarja 4.	Kerros 1.	V3 (10,0 %)	100 µm
	Kerros 2.	V3 (10,0 %)	100 µm
	Kerros 3.	PUR	40 µm

Maalatuilla pinnoilla ei saa olla rakkuloitumista, halkeilua, ruostumista eikä hilseilyä, eikä irtoama tai korroosio naarmusta saa ylittää taulukossa 3 annettua arvoa 1,5 mm. Hilakokeen tuloksen täytyy pysyä arvojen 0–2 välillä. Nappuloiden tartunnan minimivetoarvo saa olla 2,5 MPa tartunnoille ja vähintään 5 MPa adheesiomurtuman ollessa teräksen ja maalin välillä.

Korroosiotestien tuloksista rakkuloituminen, halkeilu, ruostuminen, hilseily ja irtoama ja korroosio naarmusta arvioitiin välittömästi testien loppumisen jälkeen. Vetokoe ja hilaristikkokoe tehtiin, kun levyt olivat palautuneet vakiohuoneessa viikon ajan.

### 5.3.2 Referenssilevyjen testit

Standardin ISO 12944 vaatimuksia varten tehdyille referenssilevyille tehtiin vetokokeet ISO 4624:n mukaisesti. Korroosionestotestejä varten maalatuista levyistä valittiin kolme levyä, joista jokaiseen liimattiin kolme halkaisijaltaan 20

mm kokoista alumiinivetonappulaa syanoakrylaattipohjaisella pikaliimalla. Kohdat, joihin vetonappulat liimattiin, karhennettiin hiomapaperilla ennen vetonappuloiden liimaamista. Liimauksen jälkeen levyt vietiin vuorokauden ajaksi vakiohuoneeseen, jotta liima sai tarpeeksi aikaa kuivua.

Vetokokeen suorituspäivänä koelevyjen alumiininappuloiden ympäröivään maalikalvoon porattiin porakoneella metalliin asti yltävä alue, joka kiersi koko nappulan. Näin saatiin pois nappuloiden ympärillä oleva ylimääräinen liima ja pinnoitekalvo. Tämän jälkeen koelevyt asetettiin vetolaitteeseen, ja vetonappulat vedettiin irti. Levyjen maalikalvojen murtolujuuden lisäksi vetokappaleista arvioitiin murtuman tyyppi lähimpään 10 %:iin.

Murtumatyyppi arvioitiin teoriaosuudessa esitetyn taulukon 2 mukaan seuraavasti: substraatin eli alustan tunnus on A, ja jokainen kalvo saa sen jälkeen oman kirjaimen aakkosjärjestyksessä. Vetokoe nappulaa merkitään kirjaimella Z ja nappulan kiinnittämiseen käytettävää liimaa kirjaimella Y. Kirjain sellaisenaan tarkoittaa saman maalikerroksen sisäisen vetovoiman murtumista eli koheesiomurtumaa. Yhdistelmä kirjain/kirjain, esimerkiksi A/B, tarkoittaa adheesiomurtumaa eli kahden eri kerroksen välisen vetovoiman murtumaa alustan ja ensimmäisen pinnoitekerroksen tai kahden eri maalikalvon välillä. Merkintä -/Y tarkoittaa adheesiomurtumaa liiman ja pintakerroksen välillä.

Hilaristikko- ja veitsikoetta varten standardilevyihin laitettiin 2,5 cm leveä vesikuppi nurinpäin niin, että vesi kohtasi maalikalvon pinnan. Näin testit voitiin suorittaa sekä kuivalle että märälle kalvolle. Kupin annettiin olla levyjen päälle vuorokauden ajan ennen testejä. Standardilevyihin tehtiin hilaristikkokoe käyttäen apuna Erichsen Scratch hardness tester P 430 -hilaristikkolaitetta, harjaa sekä teippiä. Ristikon teon jälkeen pintaa harjattiin kevyesti standardin mukaisella harjalla ja suoritettiin silmämääräinen arvio. Tämän jälkeen ristikon päälle laitettiin tiukasti teipinpala, joka nykäistiin nopeasti irti ja suoritettiin arvio uudestaan. Tulos ilmoitettiin ISO 2409 -hilastandardin arviointitaulukon mukaan, ja veitsikokeen tulos standardia ISO 16276-2 mukaillen.

Veitsikoe suoritettiin käyttäen viillon tekemiseen terävää skalpelliä. Standardilevyyn viillettiin x-kuvio sekä kuivalle että märälle testialueelle. Viillon tekemisen jälkeen skalpellin terä yritettiin ujuttaa kalvojen väliin ja nostaa kalvoa.

#### 5.4 Päällemaalattavuus

Päällemaalattavuustesti tehtiin hiekkapuhallettujen kuumavalssattujen teräslevyjen päälle, joissa kaikissa toimi pohjamaalina joko V2- tai V3-maaliversio. Päällemaalattavuutta testattiin käyttäen kolmea eri pintamaalia, joina toimivat itse versiot V2 ja V3, liuotinpohjainen polyuretaanipintamaali sekä liuotinpohjainen korkean kuiva-aineen pigmentoitu korroosionesto polyuretaanimaali.

Tutkittavilla maaleilla V2 ja V3 maalattujen levyjen annettiin kuivua kaksi, kolme ja kuusi kuukautta vakiohuoneessa ennen niiden päällemaalausta. Päällemaalauksen jälkeen levyt kuivuivat vielä viikon ennen adheesiotestejä, joihin kuului vetokoe, hilaristikko- ja veitsikoe.

#### 5.5 Turvallisuus

Testit toteutettiin noudattamalla asianmukaista työturvallisuutta. Kaikki kemikaalien käyttöturvallisuustiedotteet olivat saatavilla ja luettiin ennen kunkin raaka-aineen ensimmäistä käyttöä. Työnantajan puolesta käytössä oli tarvittavat suojavälineet, ja työssä tarvittavat materiaalit, laitteet ja vetokaappien turvallinen käyttö ja käsittely käytiin yhdessä läpi ennen projektin aloittamista. Lyhyiden altistusajojen takia ei hengityssuojaimelle ollut tarvetta, mutta kemikaaleja käsitellessä käytettiin vähintään nitrilikumihansikkaita, työtakkia ja suojalaseja.

## 6 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Kaikkien mittausten ja tutkimusten jälkeen koottiin kaikki projektin tulokset yhteen lopullista tulosten tarkastelua varten.

### 6.1 Fysikaaliset ominaisuudet

#### 6.1.1 Tiheys

Maalinäytteiden ominaispaino (omp) pieneni, mitä enemmän maalissa oli jauhe-maalijätettä mukana (taulukko 6).

Taulukko 6. Maalinäytteiden ominaispaino (omp) yksikössä g/cm<sup>3</sup>.

Testi	V0	V1 (2,5 %)	V2 (5,0 %)	V3 (10,0 %)
Omp	1,413	1,394	1,354	1,335

Maalin ominaispaino pieneni, mitä isompi oli jauhemaalijätteen määrä maalissa. Jauhemaalijätteen tiheyden ollessa pienempi kuin täyteaineiden, joita se korvasi, on trendi järkevä.

#### 6.1.2 Reologia

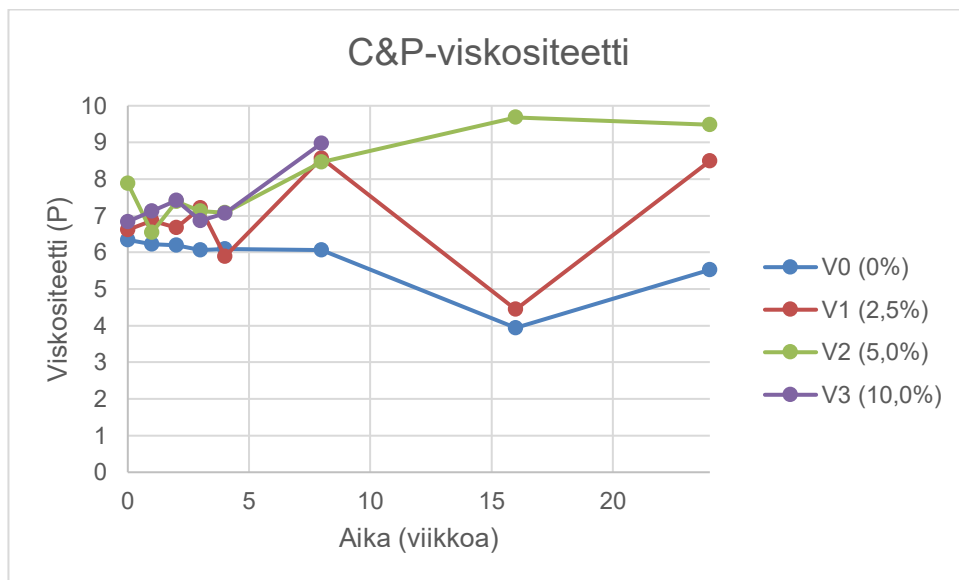
Kylmävalssatulle teräkselle testatun maalin valumisen tulokset (taulukko 7) olivat kauttaaltaan samankaltaiset.

Taulukko 7. Valumisen tulokset näytteille V0, V1, V2 ja V3 (µm).

Valuminen	V0	V1 (2,5 %)	V2 (5,0 %)	V3 (10,0 %)
(raita kyljellään)	400 µm	400 µm	400 µm	400 µm

Valumisen arvoksi haluttiin vähintään 300 µm, joka saavutettiin jokaisessa tutkittavassa maalissa.

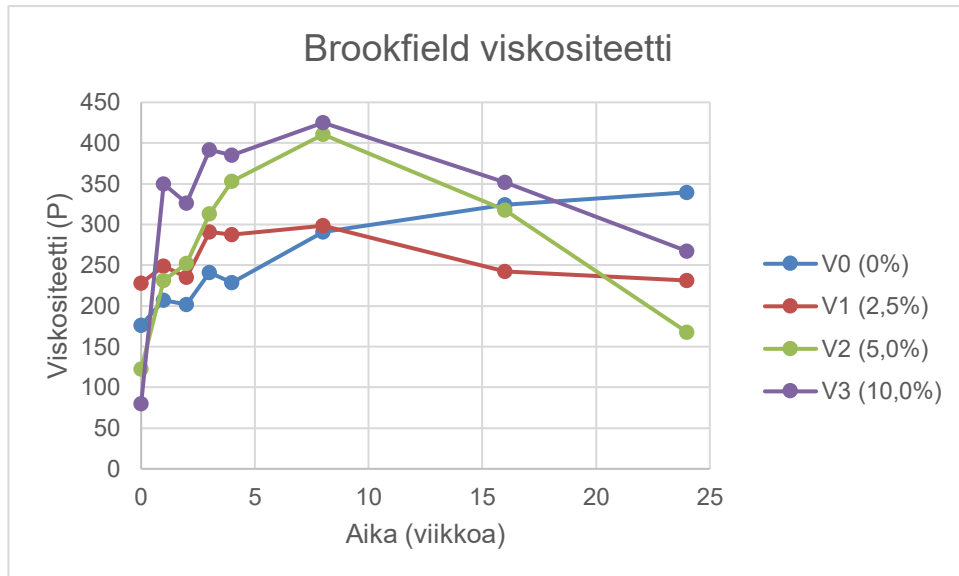
Cone & Plate -mittaus on herkkä näytemäärälle ja mittauksen suoritusavalle, mikä aiheuttaa helposti vaihtelua tuloksiin. Yleinen trendi on kumminkin näissä viskositeettiseurannoissa, että jauhemaalia sisältävien versioiden viskositeetit nousivat ajan myötä (kuva 17). Kaikki viskositeetit ovat korkeampia kuin version V0. Version V2 arvo näyttäisi vakiintuvan kahden kuukauden mittauksen jälkeen. Version V3 Cone & Plate -viskositeetin arvoa ei saatu enää mitattua 8 viikon jälkeen (Liite 1 taulukko 1).



Kuva 17. Cone & Plate -viskositeettitulokset näytteille V0, V1, V2 ja V3 muodossa viskositeetti (poise) ajan funktiona (viikko).

Kaikkien jauhemaalijäte näytteiden tulokset C&P- viskositeeteissa olivat korkeampia kuin referenssinä toimeen V0-version arvot. Parhaalta näytti versio V2, jonka viikoittaisen Cone & Plate -viskositeetin arvo näytti vakiintuvan viikon 8 jälkeen.

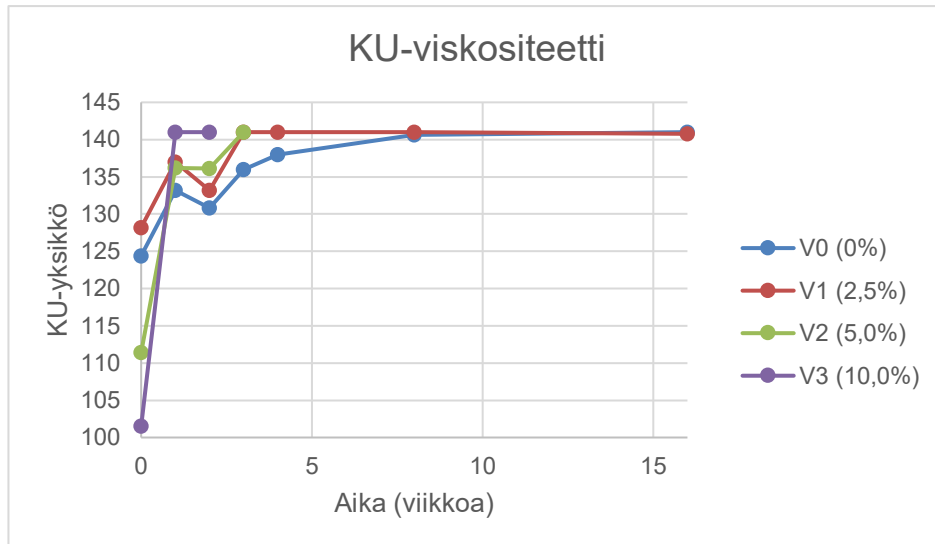
Brookfield-viskositeetin arvot (kuva 18) näyttivät karkeasti arvioiden menevän V0-version alle viikkojen 8 (V1 versio) ja 18 (versiot V2 ja V3) (Liite 1 taulukko 2).



Kuva 18 Brookfield-viskositeettitulokset näytteille V0, V1, V2 ja V3 muodossa viskositeetti (poise) ajan funktiona (viikko).

Brookfield-viskositeetin arvoissa vertailuversion V0-arvo oli nouseva koko mittausajan. Versiot V2 ja V3 noudattivat samaa laskevaa trendiä viikon 6 mittauksen jälkeen. Version V1 arvot näytti vakioituvan 4 kuukauden kohdalla.

KU-viskosimetrin maksimiarvo on 140. Kaikilla versioilla, joissa oli jauhemaalijätettä mukana, saavutettiin tämä arvo nopeammin kuin verrokkimaalilla (kuva 19) (Liite 1 taulukko 3).



Kuva 19 KU-viskositeettitulokset näytteille V0, V1, V2 ja V3 muodossa viskositeetti (KU-yksikkö) ajan funktiona (viikko).

V2- ja V3- versioiden KU-viskositeetin arvoja ei saatu enää mitattua ensimmäisen viikon jälkeen, eikä V1-version arvoa viikon kolme jälkeen. Ainoastaan referenssinä toiminut V0-versio säilyi mitattava kahdeksaan viikkoon asti.

### 6.1.3 Käyttöaika

Lasilevyille applikoitujen maalinäytteiden mitatut käyttöajat ovat nähtävissä alla olevassa taulukossa 8.

Taulukko 8. Pot-life tulokset näytteille V0, V1, V2 ja V3.

Pot-life	V0	V1 (2,5 %)	V2 (5,0 %)	V3 (10,0 %)
Brookfield (6/20)	3,5 h	4,5 h	4 h	4 h
(C&P)	0,5 h	-	-	-

Tutkittavan tuotteen V0-version pot-life on mitattu aiemmin arvolla 45 minuuttia, mutta tätä ei pystytty tämän projektin yhteydessä todentamaan. Brookfield viskositeetin muutos ajan suhteen ei näytä juurikaan muuttuvan riippumatta jauhejätteen lisäsmäärästä. Jauhemaali-jätteen lisäys näyttäisi lievästi madaltavan

viskositeetin nousua. Mistään seoksista ei saatu Cone & Plate arvoa mitattua edes lähtöhetkellä, mikä taas viittaisi heikentyneeseen ruiskutettavuuteen.

#### 6.1.4 Kuivumisajan määrittäminen

Lasilevyille applikoitujen maalinäytteiden mitatut kuivumisaikojen tulokset näytteille V0, V1, V2 ja V3 ovat nähtävissä alla olevassa taulukossa 9.

Taulukko 9. Kuivumisen tulokset näytteille V0, V1, V2 ja V3.

Kuivuminen	V0	V1 (2,5 %)	V2 (5,0 %)	V3 (10,0 %)
Pölykuiva (200 µm märkäkalvo paksuus)	30 min	30 min	30 min	20 min
Kosketuskuiva (200 µm märkäkalvo paksuus)	70 min	80 min	90 min	110 min
Läpikuiva (200 µm märkäkalvo paksuus)	210 min	240 min	300 min	300 min

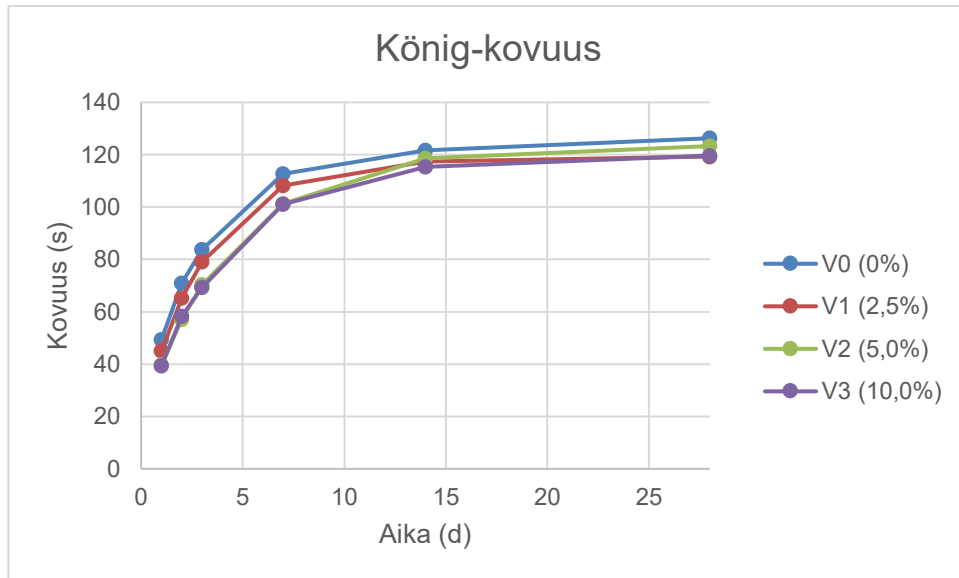
Jauhemaalijätteen läsnäolo maalissa näytti kasvattavan maalin kuivumisaikaa tasaisesti, lukuun ottamassa versiota V3, jonka pölykuiva-aika oli pienempi kuin muilla näytteillä. V3-version muut kosketus- ja läpikuivumisaikat olivat pidemmät kuin muilla näytteillä. Tähän saattaa vaikuttaa itse jauhemaalijätteen koostumuksen vaihtelu.

## 6.2 Kalvojen ominaisuudet

### 6.2.1 Kovuuskehitys

Projektin aikana mitattu kovuuden kehittyminen (kuva 20) oli nähtävissä kaikissa maalinäytteissä koko 28 päivän mittausjakson ajan (Liite 2 taulukko 1).





Kuva 20 Kovuuskehitys kovuuden (s) ja ajan (d) funktiona.

Kovuuden kehittyminen kaikilla koelevyillä oli samankaltaista kaikkien mittausten välillä. V0-versio sai isoimmat kovuusarvot koko mittausperiodin ajan. Ensimmäisen vuorokauden jälkeen version V1 maalikalvo oli hieman kovempi kuin versioiden V2 ja V3. Kahden viikon mittauksen kohdalla voitiin huomata, että version V2 kovuuskehitys oli mennyt version V1 kovuuden ohi. Kokeen lopussa myös versio V3 oli lähes saavuttanut version V1 kovuuden. Yhden päivän jälkeen kalvoa pidetään pehmeänä, jos sen tulos on alle 20 s. Kovana kalvoa voidaan pitää, kun 24 tunnin kuivauksen jälkeen tulos on vähintään 50 sekuntia.

### 6.2.2 Kiilto

Kaikki kiillot mitattiin lasilevyille levitetyltä 200 µm paksuisilta kalvoilta 60° kulmassa (taulukko 10).

Taulukko 10. Mitatut kiiltoarvot näytteistä V0, V1, V2 ja V3.

Testi	V0	V1 (2,5 %)	V2 (5,0 %)	V3 (10,0 %)
Kiilto	2,5	5,5	11,9	7,7

Jauhemaalijätettä sisältävien maalien kiilto oli korkeampi verrattuna V0-vertailunäytteeseen. Version V2 kiillon arvo oli korkeampi kuin version V3. Koska valmistettava tuote toimii pohjamaalina, on hyvä, että kiillon arvon pysyy matan puolella.

### 6.2.3 Aikainen vedenkesto

Lasilevyille applikoitujen maalinäytteiden mitatut aikaisen vedenkeston arvot ovat nähtävissä alla olevassa taulukossa 11.

Taulukko 11. Aikaisen vedenkeston tulokset sanallisesti kuvattuna näytteille V0, V1, V2 ja V3.

Testi	V0	V1 (2,5 %)	V2 (5,0 %)	V3 (10,0 %)
Aikainen vedenkesto				
1d/1d	Ok, ei muutoksia	Ok, ei muutoksia	Ok, ei muutoksia	Ok, ei muutoksia
2d/1d	Pehmentynyt hieman	Ok, ei muutoksia	Pehmentynyt hieman	Ok, ei muutoksia

Jauhemaalijätettä sisältävien maalien aikaisen vedenkeston arvot olivat kauttaaltaan hyviä, mikä viittaa siihen, että jauhemaalien lisääminen maaliin suuremmisakin määrin ei heikennä aikaista vedenkestoa merkittävästi.

## 6.3 Mekaaniset ominaisuudet

### 6.4 Maalausjärjestelmien korroosionestotestien tulokset

Maaliyhdistelmien maalausjärjestelmien testaukset tehtiin standardin ISO 12944:n mukaisilla testausmenetelmillä koestuslaboratoriossa.

Maalausjärjestelmät 1 ja 3 korroosio testattiin rasitusluokassa C3-M, joka on tarkoitettu kohtalaisen ilmastorasituksen vaikutuspiirissä olevien maalausjärjestelmien testaamiseen. Maalausjärjestelmät 2 ja 4 testattiin rasitusluokassa C4-H, joka on tarkoitettu ankaran ilmastorasituksen vaikutuspiirissä olevien

maalauksjärjestelmien testaamiseen. C3-M-rasitusluokassa suolasumurasituksen aika on 240 tuntia ja veden kondenssitestissä 120 tuntia. C4-H-rasitusluokassa suolasumurasituksen aika on 720 tuntia ja veden kondenssitestissä 480 tuntia.

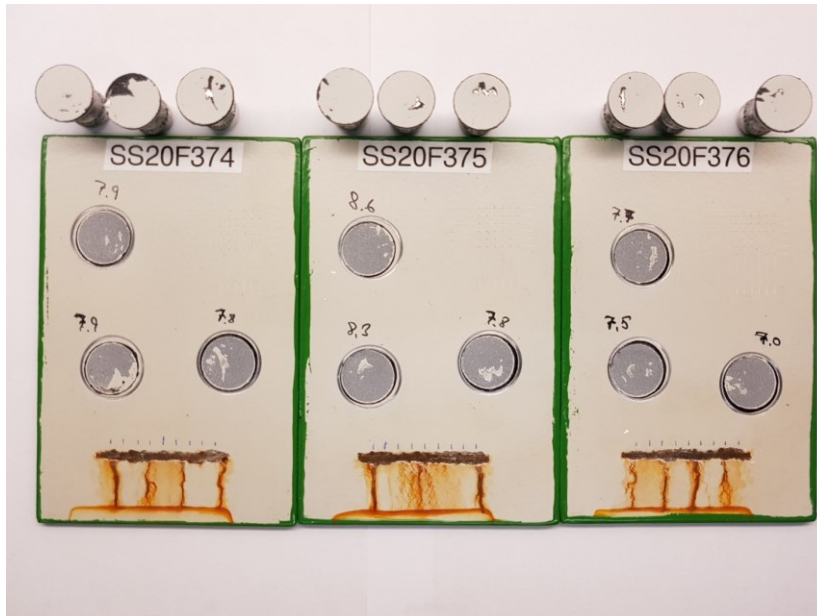
#### 6.4.1 Suolasumurasitustestin tulokset

240 tunnin C3-M-suolasumurasituksessa ollut pelkkää tutkittavaa 5,0 % jauhe-maalijätettä sisältävä maalauksjärjestelmä sarja 1 ei läpäissyt testejä, koska levyissä havaittiin rakkulointia asteella 2(S2). Muiden vaatimuksien osalta levyt läpäisivät vaatimukset. Ruostuminen etenemiset naarmusta olivat 0,2–0,5 mm alueella eli alle sallitun 1,5 mm. Hilaristikon irtoamisarvoa 1 voidaan pitää hyväksyttävänä (Taulukko 12).

Taulukko 12. Sarja 1 suolasumutesti 240 tuntia kolmelle rinnakkaiselle näytteelle, rasitusluokka C3-M.

Sarja 1 (V2 5,0 %)	Levy 1	Levy 2	Levy 3
Rakkuloituminen, ISO 4628-2	2(S2)	2(S2)	2(S2)
Ruostuminen, ISO 4628-3	Ri0	Ri0	Ri0
Halkeileminen, ISO 4629-4	0	0	0
Hilseileminen, ISO 4628-5	0	0	0
Ruostuminen naarmusta, ISO 12944-6	0,5	0,4	0,2
Hilaristikko (3 mm)	1	1	1
Adheesio, ISO 4624	7,9/7,9/7,8	8,6/8,3/7,8	7,7/7,5/7,0

Kuvassa 21 on nähtävissä sarjan 1 240 tunnin suolasumutestissä olleet levyt.



Kuva 21 Sarja 1:n suolasumulevyt (240 tuntia).

240 tunnin C3-M-suolasumurasituksessa ollut pelkkää tutkittavaa 10,0 % jauhe-maalijätettä sisältävä maalausjärjestelmä sarja 3 (taulukko 13) suoritui muiden arvojen alueella kuten sarja 1, paitsi ruostuminen etenemisestä naarmusta, jonka arvot olivat keskiarvoltaan hieman suuremmat. Arvot pysyivät kuitenkin sallituissa rajoissa. Lisäksi rakkuloitumisen arvo oli  $2(S2) > 0$ , eikä sarja 3 ei näin ollen läpäissyt testejä.

Taulukko 13. Sarja 3 suolasumutesti 240 tuntia kolmelle rinnakkaiselle näytteelle, rasitusluokka C3-M.

Sarja 3 (V3 10,0 %)	Levy 1	Levy 2	Levy 3
Rakkuloituminen, ISO 4628-2	2(S2)	2(S2)	2(S2)
Ruostuminen, ISO 4628-3	Ri0	Ri0	Ri0
Halkeileminen, ISO 4629-4	0	0	0
Hilseileminen, ISO 4628-5	0	0	0
Ruostuminen naarmusta, ISO 12944-6	0,8	0,2	0,3
Hilaristikko (3 mm)	1	1	1
Adheesio, ISO 4624	7,0/7,1/8,2	7,5/7,6/9,9	7,0/5,9/7,7

720 tunnin C4-H-suolasumurasituksessa ollut maalausjärjestelmä sarja 2, jossa kahden 5,0 % jauhemaalijätettä sisältävän tutkittavan maalikerroksen lisäksi oli

päällimmäisenä kerroksena liuotinpohjaista polyuretaanipintamaalia, pärjäsi testissä paremmin. Maalausarjan kaikki arvot pysyivät alle vaadittujen vaatimuservojen (taulukko 14).

Taulukko 14. Sarja 2 suolasumutesti 720 tuntia kolmelle rinnakkaiselle näytteelle, rasitusluokka C4-H.

Sarja 2 (2 * V2 (5,0 %) + PUR)	Levy 1	Levy 2	Levy 3
Rakkuloituminen, ISO 4628-2	0	0	0
Ruostuminen, ISO 4628-3	Ri0	Ri0	Ri0
Halkeileminen, ISO 4629-4	0	0	0
Hilseileminen, ISO 4628-5	0	0	0
Ruostuminen naarmusta, ISO 12944-6	0,7	0,8	0,4
Hilaristikko (3 mm)	-	-	-
Adheesio, ISO 4624	8/7,8/7	7/8,4/7,9	7,8/8,2/6,9

Myös maalausjärjestelmä sarja 4, jossa kahden 10,0 % jauhemaalijätettä sisältävän tutkittavan maalikerroksen lisäksi oli päällimmäisenä kerroksena liuotinpohjaista polyuretaanipinta, läpäisi 720 tunnin C4-H-suolasumurasitustestit kaikkien arvojen pysyessä alle vaadittujen vaatimuservojen (taulukko 15).

Taulukko 15. Sarja 4 suolasumutesti 720 tuntia kolmelle rinnakkaiselle näytteelle, rasitusluokka C4-H.

Sarja 4 (2 * V3 (10,0 %) + PUR)	Levy 1	Levy 2	Levy 3
Rakkuloituminen, ISO 4628-2	0	0	0
Ruostuminen, ISO 4628-3	Ri0	Ri0	Ri0
Halkeileminen, ISO 4629-4	0	0	0
Hilseileminen, ISO 4628-5	0	0	0
Ruostuminen naarmusta, ISO 12944-6	0,7	0,4	0,4
Hilaristikko (3 mm)	-	-	-
Adheesio, ISO 4624	7,7/7,2/5,9	8,8/8,8/8,2	7,8/8,1/8,1

Suolasumutesteissä sarjojen 2 ja 4 pärjääminen oli odotettavaa. Huomiotta ei voi kuitenkaan jättää sitä, että tutkittavaksi valmistettujen maalien sisältämät jauhemaalierät eivät huolellisesta sekoittamisesta huolimatta ole täysin tasa-koosteisia. Tämä saattaa vaikuttaa korroosiotestien tuloksiin.

## 6.4.2 Kondenssirasiustestien tulokset

120 tunnin C3-M luokan kondenssirasiuksessa koestettut sarjat 1 (taulukko 16) ja 3 eivät läpäisseet testejä, koska levyissä havaittiin rakkulointia asteella 2(S2).

Taulukko 16. Sarja 1 kondenssitesti 120 tuntia kolmelle rinnakkaiselle näytteelle, rasiusluokka C3-M.

Sarja 1 (V2 5,0 %)	Levy 1	Levy 2	Levy 3
Rakkuloituminen, ISO 4628-2	2(S2)	2(S2)	2(S2)
Ruostuminen, ISO 4628-3	Ri0	Ri0	Ri0
Halkeileminen, ISO 4629-4	0	0	0
Hilseileminen, ISO 4628-5	0	0	0
Ruostuminen naarmusta, ISO 12944-6	-	-	-
Hilaristikko (3 mm)	1	1	1
Adheesio, ISO 4624	8,4/8,8/7,9	8,2/9,3/8,2	7,6/8,7/7,3

Alla sarjan 3 120 tunnin (taulukko 17) kondenssitestien tulokset.

Taulukko 17. Sarja 3 kondenssitesti 120 tuntia kolmelle rinnakkaiselle näytteelle, rasiusluokka C3-M.

Sarja 3 (V3 10,0 %)	Levy 1	Levy 2	Levy 3
Rakkuloituminen, ISO 4628-2	2(S2)	0	2(S2)
Ruostuminen, ISO 4628-3	Ri0	Ri0	Ri0
Halkeileminen, ISO 4629-4	0	0	0
Hilseileminen, ISO 4628-5	0	0	0
Ruostuminen naarmusta, ISO 12944-6	-	-	-
Hilaristikko (3 mm)	1	1	1
Adheesio, ISO 4624	7,4/8,4/8,5	8,3/8,5/8,3	8,3/8,5/8,3

480 tunnin C4-H-kondenssirasiuksessa olleet sarjat 2 (taulukko 18) ja 4, joissa kahden 5,0 % ja 10,0 % jauhemaalijätettä sisältävän tutkittavan maalin lisäksi oli päällimmäisenä kerroksena liuotinpohjaista polyuretaanipintamaalia, läpäisivät kondenssirasiustestit kaikkien arvojen pysyessä alle vaadittujen vaatimusarvojen.

Taulukko 18. Sarja 2 kondenssitesti 480 tuntia kolmelle rinnakkaiselle näytteelle, rasitusluokka C4-H.

Sarja 2 (2 * V2 (5,0 %) + PUR)	Levy 1	Levy 2	Levy 3
Rakkuloituminen, ISO 4628-2	0	0	0
Ruostuminen, ISO 4628-3	Ri0	Ri0	Ri0
Halkeileminen, ISO 4629-4	0	0	0
Hilseileminen, ISO 4628-5	0	0	0
Ruostuminen naarmusta, ISO 12944-6	-	-	-
Hilaristikko (3 mm)	1	1	1
Adheesio, ISO 4624	9/8,3/8,3	9/8,6/8,4	8,2/8,5/6,9

Alla sarjan 4 480 tunnin kondenssitestin tulokset (taulukko 19).

Taulukko 19. Sarja 4 kondenssitesti 480 tuntia kolmelle rinnakkaiselle näytteelle, rasitusluokka C4-H.

Sarja 4 (2 * V3 (10,0 %) + PUR)	Levy 1	Levy 2	Levy 3
Rakkuloituminen, ISO 4628-2	0	0	0
Ruostuminen, ISO 4628-3	Ri0	Ri0	Ri0
Halkeileminen, ISO 4629-4	0	0	0
Hilseileminen, ISO 4628-5	0	0	0
Ruostuminen naarmusta, ISO 12944-6	-	-	-
Hilaristikko (3 mm)	1	1	1
Adheesio, ISO 4624	9,7/9,1/8,9	9,3/9,4/10,2	9,5/8,7/10,4

Kuvassa 22 on nähtävissä sarjan 4 480 tunnin kondenssirasitustestin läpäisseet levyt.



Kuva 22 Sarjan 4 kondenssilevyt 480 h.

ISO 12944-6:n mukaisesti testattua maalipinnoitteiden välistä vetolujuuden arvoa pidetään hyväksyttynä, kun se on ylittää minimiarvon 2,5 MPa. Jos irtoaminen tapahtuu alustan ja ensimmäisen kalvon välillä, vetolujuus on hyväksytty, jos se on vähintään 5 MPa.

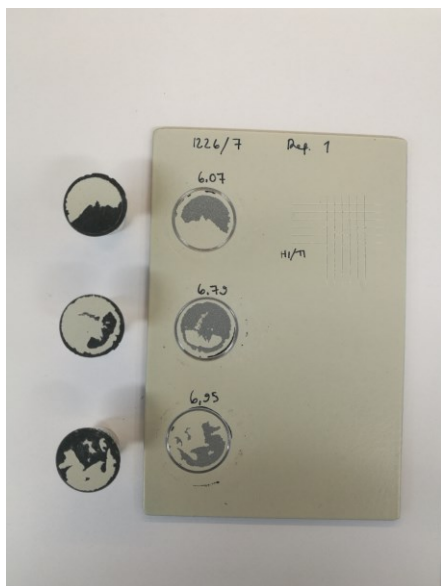
Suolasumutestien ja kondenssitestien kaikkien vetokokeiden tulokset olivat  $>5$  eli hyväksytyjä. Kuten suolasumutesteissä pärjäsi kondenssিতেsteissä parhaiten sarja 4, jonka adheesioarvot olivat hieman paremmat kuin sarjojen 1, 2 ja 3. Tähän on saattanut vaikuttaa se, että maalausjärjestelmään on sisällytetty liuotinpohjaista polyuretaanipintamaalia oleva pintakerros. Myös koestusvaihtelu täytyy ottaa huomioon. Monikerroslevyissä oli havaittavissa myös joissain levyissä pieniä neulanpistoja pintamaalissa, mikä mahdollisesti johtuu siitä, että jauhemaalain lisäys tekee mahdollisesti pinnasta vaikeamman kostuttaa.

Maalausjärjestelmien hilaristikkotulokset pysyivät hyväksytyissä rajoissa läpäisten testin. Veitsiadheesiotestiä ei tehty koestuslevyille, sillä se ei ole vaatimuksena standardissa.



### 6.4.3 Referenssilevyjen testit

Maaliyhdistelmien maalausjärjestelmien referenssilevyjen testaukset tehtiin standardin 12944–6 mukaisilla testausmenetelmillä laboratoriotyötilassa. Kuvassa 23 sarjan 1 referenssilevy 1.



Kuva 23 Tutkittavalla maaliversiolla V2 maalatun sarjan 1 referenssilevy 1.

Referenssilevyille suoritettujen testien tulokset löytyvät koottuna alla olevasta taulukosta 20.

Taulukko 20. Sarjojen 1, 2, 3 ja 4 referenssilevyjen adheesiokokeiden ja hilaristikkokokeiden tulokset.

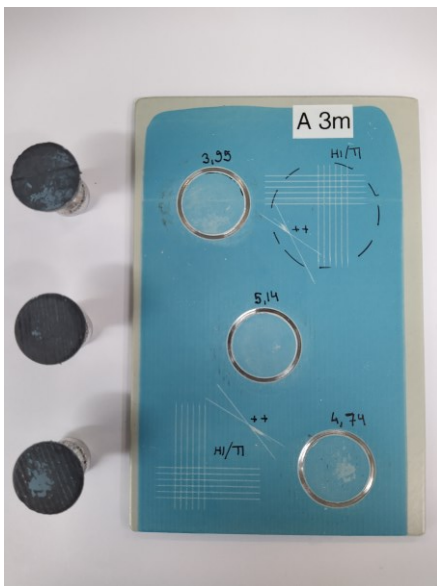
		Referenssilevy 1	Referenssilevy 2	Referenssilevy 3	
		Adheesio (MPa)	Adheesio (MPa)	Adheesio (MPa)	Hila (2 mm)
<b>Sarja 1.</b>	V2 (5,0 %)	6,1/6,8/7,0	6,6/6,1/6,2	7,4/6,2/5,4	1
<b>Sarja 2.</b>	2 * V2 (5,0 %) + PUR	6,4/6,9/6,6	6,9/6,6/7,0	6,5/6,9/5,4	1
<b>Sarja 3.</b>	V3 (10,0 %)	6,4/5,7/7,2	7,0/5,2/6,2	6,1/4,3/5,4	1
<b>Sarja 4.</b>	2 * V3 (10,0 %) + PUR	5,9/6,0/5,9	6,9/6,8/6,5	6,9/6,8/7,2	1

Referenssilevyjen tulokset olivat yhtenäisiä maalausjärjestelmien koestettujen korroosionestolevyjen tuloksien kanssa. Usein jos koestuksien aikana ei

tapahdu kalvojen ominaisuuksien romahtamista, adheesiotulokset voivat jopa parantua, kuten nähdään tässäkin koestusten jälkeen.

## 6.5 Päällemaalattavuuden tulokset

Tarkastellessa versioiden V2 ja V3 levyjä A-AA kolmen (kuva 24) ja kuuden kuukauden kuluttua päällemaalauksesta vaikuttaisi siltä, että liima ei ole tarttunut näiden pintaan hyvin. Maalipinta näyttää lähes ehjältä nappuloiden kohdalta, ja nappuloissa on nähtävissä mustaa liimakerrosta. On mahdollista, että jauhemaali heikentää ainakin pikaliiman tarttuvuutta maaliin. Maalikerrokset itsessään ovat tarttuneet hyvin toisiinsa. Kaikki adheesioarvot ovat  $>2,5$  MPa eli hyväksytyjä (Liite 3 taulukot 1 ja 2).



Kuva 24 Levyn A 3 kk päällemaalattavuuslevy.

Versioiden V2 ja V3 levyissä B-BB, joissa jauhemaalimaalin pintamaalina toimii liuotinpohjainen polyuretaanipintamaali, on molemmissa tapahtunut pintamaalin koheesiomurtuman ohella adheesiomurtumaa alustamaalin ja alustan välillä. Adheesioarvoissa päästään jo 10 MPa:n yli (Liite 3 taulukot 3 ja 4).

Levyissä C-CC, joissa pintamaalina toimi liuotinpohjainen korkean kuiva-aineen korroosionesto pigmentoitu polyuretaanimaali, alustamaali on kolmen kuukauden kohdalla murtunut suurilta osin metallipinnasta asti. Kuuden kuukauden kohdalla on tapahtunut koheesiomurtumaa molemmissa maalikerroksissa. Levyjen C-CC adheesioarvoissa päästään korkeimmillaan 12–15 MPa:n alueelle (Liite 3 taulukot 5 ja 6).

Hilaristikkokokeen tulokset ovat kauttaaltaan hyviä kaikissa päällemaalattavuuslevyissä pysyen H1-tasolla, poikkeuksena ainoastaan versio V3, jossa päällemaalauksella oli suoritettu samalla maalilla kuin pohjamaali. Kuuden kuukauden kohdalla ristikko oli täydellinen eli kalvon murenemistä ei havaittu lainkaan.

Veitsikokeella saatujen tulosten perusteella näytteiden A-AA ja B-BB adheesiot niillä testattujen päällemaalattujen maalien kanssa ovat erinomaiset. Näytteiden C-CC adheesio on hieman heikompi, mutta edelleen hyvä.

## 7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Projektin tavoitteena oli löytää käyttömahdollisuutta työnantajan jauhemaalilinjalta laadunvalvontavaatimukset täyttämättömälle jauhemaalijätteelle, jonka ainoa sijoituspaikka tällä hetkellä on polttaminen energiaksi polttolaitoksella. Jauhemaalijätteen käyttö raaka-aineen toisessa tuotteessa olisi sekä kustannustehokasta että vahvistaisi yrityksen kiertotaloudellisia tavoitteita.

Projektin alussa käytiin läpi aikaisemmista testeistä saadut tulokset. Testattavaksi tuotteeksi valittiin jo olemassa oleva yksinkertainen ja ominaisuudeltaan vakaa tuote, jonka koostumusta lähdettiin muokkaamaan niin, että osa tuotteen täyteaineista vaihdettiin eri pitoisuuksiin jauhemaalijätettä. Näin valmistettujen maalien eri ominaisuuksia mitattiin laboratoriotestein, ja arvoja verrattiin vertailuersioksi valitun alkuperäisentuotteen arvoihin.

Työn kokeellisessa osuudessa testattujen maalinäytteiden tuloksissa oli sekä onnistumisia että huolta herättäviä piirteitä. Hyviä tuloksia saatiin suurimmassa osassa maalin fysikaalisia ominaisuuksia mittaavissa perustesteissä, joista tulokset menivät linjassa V0-versioon verrattuna. Maalien kuivausominaisuudet voivat jauhemaalijätteen koostumuksesta johtuen vaihdella ja siten kuivumisajoilla voi olla eroja. Toisaalta taas maalien säilyvyys käyttökelpoisena on huono. Hyvän maalin tunnuspiireteisiin kuuluu se, että se säilyy käyttökelpoisena pitkään. Perustestien jälkeen päätettiin jatkaa erillisiin koestustestauksiin ja päällemaalattavuustesteihin 5,0 % ja 10,0 % jauhemaalijätettä sisältävät maalit.

Projektin aikana mitattujen viskositeetin arvojen heilahtelusta voidaan päätellä, että jauhemaalijätteen epätasainen koostumus vaikuttaa valmistetun maalin viskositeettiin. Vaikka tuotteen Brookfield viskositeetin arvo oli hyvä, on huomattava, että loppuen lopuksi maalit muuttuivat melko paksuksi tahnaksi.

Suurempikaan määrä jätettä ei heikentänyt kovuuskehitystä merkittävästi, mikä on lupaava merkki. Kaikki työn aikana valmistetut jauhemaalijäte maalit saavuttivat kovuusarvon >50 s jo ensimmäisen mittauspäivän aikana, ja arvot nousivat

tasaisesti suhteessa V0-maalin arvoihin, joten kovuuskehitystä voidaan pitää onnistuneena. Kiiltoarvot ylittivät V0-version arvot, pysyen kuitenkin himmeällä alueella. Kalvojen aikainen vedenkesto oli hyvää.

Virallisiin maalausjärjestelmien korroosionestokoestukseen laitetuista sarjoista läpi menivät sarjat 2 ja 4, jossa jauhemaalijätettä sisältävien maalien lisäksi oli pintakerroksena liuotinpohjaista polyuretaanipintamaalia. Pelkkää jauhemaalijätettä sisältävät sarjat 1 ja 3 eivät läpäisseet testejä, koska kalvot rakkuloituivat testien aikana.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että vaikka jauhemaalijätteen sijoittaminen osaksi toista maalikokonaisuutta on mahdollista, asiaa täytyy vielä tutkia lisää. Vaikka osa tuotteen ominaisuuksista vaikuttaa hyviltä, tarkoituksena ei ole tehdä heikkoa tuotetta, vaan normaalituotteen tasolla oleva tuote, jonka suorituskyky vastaa markkinoilla jo olevia tuotteita. Esimerkiksi tuotteen paksuuntuminen on iso ongelma maalin ruiskutettavuuden ja sekoitettavuuden kannalta.

Työssä saatujen tuloksien perusteella päätettiin, että projektia ei toistaiseksi jatketa eikä projektin aikana valmistetuista maaleista ei lähdetä tekemään tuotetta tällaisenaan. Maaleja pitäisi myöskin vielä testata muun muassa vesiohenteisessä ympäristössä.

Tällä hetkellä projektin jatkon paras vaihtoehto olisi myydä jauhemaalijätettä sellaisenaan jonkin toisen pinnoitevalmistajan omia täytemateriaaliprojekteja varten. Jos jäte voidaan myydä raaka-aineeksi jäisi jäljelle enää tuotteen kerääminen, sekoittaminen ja logistiikka.

Tämän projektin aikana valmistettujen maalinäytteiden tuloksia voidaan kuitenkin käyttää kattavana lähdemateriaalina, kun jauhemaalijätettä sisältävien tuotteiden tutkimuksia tulevaisuudessa jatketaan.

## Lähteet

- 1 Rähä, Mikael. 2021. Tuotekehityskemisti. Teknos Oy. Helsinki. Haastattelu 24.6.2021.
- 2 Bosweld, Tim. 2013. What Is Paint Made of. Verkkoaineisto. Dunn-Edwards Paints. <[www.dunnedwards.com/colors/specs/posts/what-is-paint-made-of](http://www.dunnedwards.com/colors/specs/posts/what-is-paint-made-of)>. Luettu 2.7.2021.
- 3 Järvinen, Jukka. 2014. Rakennusmaalauksen suunnittelu. Vanhojen maalipintojen analysoinnista. Verkkoaineisto. Tikkurila-opisto. <<https://docplayer.fi/7391313-Tikkurila-opisto-rakennusmaalauksen-suunnittelu-vanhojen-maalipintojen-analysoinnista-tutkimuspaallikko-jukka-jarvinen-4-12-2014.html>>. 04.12.2014. Luettu 2.7.2021.
- 4 Jokinen, Isto. Maalikemiaa. Pala pintakäsittelijöiden kemian opetukseen toisella asteella. Verkkoaineisto. Opetushallitus. <<https://docplayer.fi/12932013-Maalikemiaa-maalien-aineosat-maalien-kalvonmuodostus-olosuhteiden-vaikutus-kalvonmuodostukseen.html>>. 10.7.2021.
- 5 Single Component Coating. 2020. Verkkoaineisto. Corrosionpedia. <<https://www.corrosionpedia.com/definition/7013/single-component-coating>>. 27.1.2020. Luettu 9.4.2022.
- 6 How to Mix 2-Component Paint Correctly. Verkkoaineisto. Besa lab. <<https://lab.bernardoecenarro.com/en/how-to-mix-2-component-paint-correctly/>>. Luettu 9.4.2022.
- 7 Escobar, Joel. 2004. High Solids Paints: Tips for obtaining good results. Verkkoaineisto. Aviationpros. <<https://www.aviationpros.com/home/article/10386600/high-solids-paints-tips-for-obtaining-good-results>>. Luettu 9.4.2022.
- 8 Kallioinen, Ilkka; Sarvimäki Ilkka; Takala, Antti & Ådahl, Robert. 1981. Maalialan materiaalioppi käsikirja. Ammattikasvatushallitus. Valtion painatuskeskus. 2. painos. Luettu 10.8.2021.
- 9 Fan-Long, Jin; Xian, Li; Soo-Jin, Park. 2015. Synthesis and application of epoxy resins: A review. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 29, s. 1-11. 10.8.2021. Luettu 11.4.2022.
- 10 Suzuki, A. H., Lage, Fernando., Oliveira, Leandro Soares., Franca, Adriana S. 2016. Biological Materials as Precursors for the Production of Resins. In book: Advances in Environmental Research. Chapter: 1, page 8. Nova Science Publishers, Inc. 29.9.2021. Luettu 11.4.2022.
- 11 Making Epoxy Resins. Making Epoxy Monomers and Polymers. Verkkoaineisto. <<http://pslc.ws/macrog/eposyn.htm>>. Luettu 11.4.2022.

- 12 Jokinen, Isto; Kuusela, Asko; Nikkari, Tapani. 2001. Metallituotteiden maa-  
laus. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy. Luettu 21.8.2021.
- 13 Jauhemaalihartsia. Verkkoaineisto. <<http://image.made-in-china.com/2f0j00nveaONbyGsqt/Polyester-Resin-for-Powder-Coating-R-2002.jpg>>. Luettu 21.8.2021.
- 14 The Different Types of Powder Coatings. 2017. Verkkoaineisto. IFS Coat-  
ings. <[ifscoatings.com/content/news/guides/the-different-types-of-powder-coatings/](https://ifscoatings.com/content/news/guides/the-different-types-of-powder-coatings/)>. Luettu 5.9.2021.
- 15 Epoxy powder coatings: why so popular? 2018. Verkkoaineisto.  
<<https://epoxy-europe.eu/lang/fr/spotlight/epoxy-powder-coatings-popular-english/>>. Luettu 5.9.2021.
- 16 Peltoranta, Jari. Jauhemaalauksen suosio kasvaa pintakäsittelyssä. Pro  
metalli. Verkkoaineisto. <[www.prometalli.fi/natiivi/3034/jauhemaalauksen-suosio-kasvaa-pintakasittelyssa](http://www.prometalli.fi/natiivi/3034/jauhemaalauksen-suosio-kasvaa-pintakasittelyssa)>. Luettu 5.9.2021.
- 17 Dan Brady. Indian pigments. Verkkoaineisto. <[https://live.staticflickr.com/1388/1382064216\\_f35a6c7d0f\\_b.jpg](https://live.staticflickr.com/1388/1382064216_f35a6c7d0f_b.jpg)>. Luettu 11.9.2021.
- 18 Pigments through the ages. Verkkoaineisto. <[www.webexhibits.org/pigments/intro/pigments.html](http://www.webexhibits.org/pigments/intro/pigments.html)>. Luettu 12.9.2021.
- 19 Giordano, Nicholas. 2012. College Physics: Reasoning and Relationships.  
2nd Edition. Cengage Learning. Luettu 12.9.2021.
- 20 Tiheyden määrittäminen pallomenetelmällä. Teknos Method 1112.2017. Yrityk-  
sen sisäinen dokumentti. Teknos Oy. Luettu 17.9.2021.
- 21 ISO 16862:2003. Paints and varnishes — Evaluation of sag resistance.  
Luettu 17.9.2021.
- 22 Goldschmidt, Artur & Streitberger, Hans-Joachi. 2007. BASF Handbook on  
Basics of Coating Technology, 2nd Edition. BASF Coatings AG, Munster.  
Luettu 20.9.2021.
- 23 Viskositeetin mittaaminen. Cone & Plate laite. Verkkoaineisto.  
<<https://www.brookfieldengineering.com/-/media/ametebrookfield/images/products/cap100.jpg?la=en&revision=da952ee1-7762-4e22-a9c1-e6ab178911a9&hash=6C4516E6C588CDF6C7254A11BAE426A4>>. Lu-  
ettu 20.9.2021.
- 24 Viskositeetin mittaaminen Brookfield viskosimetrillä. Teknos Method  
1050.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Teknos Oy. Luettu 20.9.2021.
- 25 Viskositeetin mittaaminen. Brookfield laite. Verkkoaineisto. <[labomat.eu/gb/viscosity-rheology/47-419-brookfield-dve-viscometer.html](http://labomat.eu/gb/viscosity-rheology/47-419-brookfield-dve-viscometer.html)>. Luettu 20.9.2021.

- 26 Viskositeetin mittaaminen Brookfield KU viskosimetrillä. Teknos Method 1062.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Teknos Oy. Luettu 21.9.2021.
- 27 Viskositeetin mittaaminen. Brookfield KU viskosimetri. Verkkoaineisto. <spc-rt.com/pdf/2018%20Brookfield%20Catalogue%20New!!.pdf>. s. 3. Luettu 21.9.2021.
- 28 Pot life -testi (viskositeetin seuranta, kiillon seuranta). Teknos Method 1116. Yrityksen sisäinen dokumentti. Teknos Oy. 28.9.2021.
- 29 Pölykuivumisajan määrittäminen maalikalvosta. Teknos Method 1098. Yrityksen sisäinen dokumentti. Teknos Oy. 29.9.2021.
- 30 Kosketuskuivumisajan määrittäminen maalikalvosta. Teknos Method 1099. Yrityksen sisäinen dokumentti. Teknos Oy. 29.9.2021.
- 31 Kuivuminen. Läpikuivumisen mittauslaite. Teknos Method 1067. Yrityksen sisäinen dokumentti. Teknos Oy. 29.9.2021.
- 32 Pendulum Hardness Test. Verkkoaineisto. <www.materials.co.uk/pendulum.htm>. 3.10.2021.
- 33 Kovuuden mittaaminen. Verkkoaineisto. <gardco.com/pages/hardness/byko-swing-pendulum-hardness-tester.cfm.>. 3.10.2021.
- 34 Kiillon mittaaminen. Verkkoaineisto. <www03.edu.fi/oppimateriaalit/metallituotemaalaus/lab04.html>. Luettu 6.10.2021.
- 35 Teknos Maalaus RYL. Verkkoaineisto. <www.teknosmaalausryl.fi/index.php?page=7>. Luettu 6.10.2021.
- 36 Maalikalvon aikaisen vesikeston koestus petrimaljalla. Teknos Method 1108. Yrityksen sisäinen dokumentti. Teknos Oy. Luettu 6.10.2021.
- 37 SFS-EN ISO 4624:2016. Maalit ja lakat. Tarttuvuuden arviointi vetokoella. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 2.11.2021.
- 38 PosiTest AT-A vetokoelaite. Verkkoaineisto. <www.defelsko.com/positest-at>. Päivitetty 4.5.2018. Luettu 2.11.2021.
- 39 SFS-EN ISO 16276-2 Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Pinnon tartunnan ja koheesion (murtumislujuuden) arviointi ja hyväksymiskriteerit. Osa 2: Hilaristikkokoe ja X-viiltokoe. Luettu 2.11.2021.
- 40 SFS-EN ISO 12944-6:2019. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 6: Laboratoriomenetelmät suorituskyvyn testaamiseksi. Luettu 3.11.2021.
- 41 SFS-EN ISO 6270-2:2018. Paints and varnishes. Determination of resistance to humidity. Part 2: Condensation (in-cabinet exposure with heated water reservoir). Luettu 3.11.2021.



- 42 SFS-EN ISO 9227:2017. Corrosion tests in artificial atmospheres. Salt spray tests. Luettu 5.11.2021. Luettu 5.11.2021.
- 43 SFS-EN ISO 2812-4:2017. Paints and varnishes. Determination of resistance to liquids. Part 4: Spotting methods (ISO 2812-4:2017). Luettu 5.11.2021.
- 44 SFS-EN ISO 12944-2:2017. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Luettu 5.11.2021.
- 45 Maalikalvon päällemaalattavuus. Teknos Method 1108. Yrityksen sisäinen dokumentti. Teknos Oy. Luettu 6.11.2021.
- 46 SFS-EN ISO 2813 Maalit ja lakat. Kiillon määrittäminen kulmilla 20°, 60° ja 85°. Luettu 6.11.2021.

## Liite 1 Viskositeettimittausten tulokset

Taulukko 1. Cone & Plate tulokset.

		V0	V1	V2	V3
C&P	0	6,34	6,62	7,88	6,84
1 week	1	6,22	6,87	6,54	7,13
2 weeks	2	6,19	6,67	7,38	7,41
3 weeks	3	6,06	7,21	7,12	6,86
4 weeks	4	6,09	5,89	7,08	7,06
8 weeks	8	6,06	8,57	8,46	8,98
16 weeks	16	3,94	4,44	9,68	
24 weeks	24	5,53	8,49	9,48	

Taulukko 2. Brookfield-viskositeetin tulokset.

		V0	V1	V2	V3
Brookfield (6/20)	0	176,5	228	122,5	80
1 week	1	207	249	231	349,5
2 weeks	2	202	235,5	252	326
3 weeks	3	241	291	313	391,5
4 weeks	4	228,5	287,5	353	385
8 weeks	8	291	298,5	410,5	425
16 weeks	16	324	242,5	317,5	352
24 weeks	24	339,5	231	167,5	267,5

Taulukko 3. KU-viskositeetin tulokset.

		V0	V1	V2	V3
KU-viscosity	0	124,4	128,2	111,4	101,5
1 week	1	133,2	137	136,2	141
2 weeks	2	130,8	133,2	136,1	141
3 weeks	3	136	141	141	
4 weeks	4	138	141		
8 weeks	8	140,6	141		
16 weeks	16	141	140,8		
24 weeks	24				

**Liite 2 Kovuuskehitystulokset**

Taulukko 1. König-kovuustulokset.

König hardness (200 µm WFT)					
		V0	V1	V2	V3
1 day	1	49,3	45	39,7	39,3
2 day	2	71	65,3	57	58,3
3 day	3	83,7	79	70,3	69,3
7 day	7	112,7	108,3	101,3	101
14 day	14	121,7	117,3	118,7	115,3
28 day	28	126,3	119,3	123,3	119,7

**Liite 3 Päällemaalattavuuslevyjen tulokset**

Taulukko 1. Päällemaalattavuus tulokset, levyt A.

A 5 %	X-viilto	X-viilto	Hila	Hila	1	Adheesionappulat	
	(kuiva)	(märkä)	(kuiva)	(märkä)		2	3
A 2 kk	++	++	H1/T1	H1/T1	4,18 MPa	3,68 MPa	5,42 MPa
					100 % C	100 % C	100 % C
A 3 kk	++	++	H1/T1	H1/T1	3,95 MPa	5,14 MPa	4,74 MPa
					100 % C	100 % C	100 % C
A 6 kk	++	++	H0/T1	H1/T1	4,15 MPa	3,51 MPa	4,40 MPa
					100 % C	100 % C	100 % C

Taulukko 2. Päällemaalattavuus tulokset, levyt AA.

AA 10 %	X-viilto	X-viilto	Hila	Hila	1	Adheesionappulat	
	(kuiva)	(märkä)	(kuiva)	(märkä)		2	3
AA 2 kk	++	++	H1/T1	H1/T1	4,27 MPa	7,24 MPa	7,95 MPa
					100 % C	10 % B/C, 90 % C	100 % C
AA 3 kk	++	++	H1/T1	H1/T1	6,10 MPa	3,78 MPa	3,99 MPa
					100 % C	100 % C	100 % C
AA 6 kk	++	++	H0/T0	H0/T0	5,08 MPa	5,35 MPa	5,34 MPa
					100 % C	100 % C	100 % C

Taulukko 3. Päällemaalattavuus tulokset, levyt B.

B 5 %	X-viilto	X-viilto	Hila	Hila	1	Adheesionappulat	
	(kuiva)	(märkä)	(kuiva)	(märkä)		2	3
B 2 kk	++	++	H1/T1	H1/T1	9,12 MPa	10,26 MPa	9,52 MPa
					100 % C	80 % B, 20 % C	20 % B, 80 % C
B 3 kk	++	++	H1/T1	H1/T1	10,74 MPa	10,14 MPa	8,22 MPa
					50 % B, 50 % C	80 % B, 20 % C	90 % B, 10 % C
B 6 kk	++	++	H0/T1	H1/T1	10,55 MPa	10,21 MPa	10,75 MPa
					30 % A/B, 70 % C	30 % A/B, 70 % C	40 % A/B, 60 % C

Taulukko 4. Päällemaalattavuus tulokset, levyt BB.

BB 10 %	X-viilto	X-viilto	Hila	Hila	Adheesionappulat		
	(kuiva)	(märkä)	(kuiva)	(märkä)	1	2	3
BB 2 kk	++	++	H1/T1	H1/T1	9,61 MPa	8,20 MPa	7,95 MPa
					10 % B, 90 % C	20 % B, 80 % C	30 % B, 70 % C
BB 3 kk	++	++	H1/T1	H1/T1	10,79 MPa	10,78 MPa	8,77 MPa
					100 % C	100 % C	20 % B, 80 % C
BB 6 kk	++	++	H1/T1	H1/T1	8,92 MPa	8,41	9,32 MPa
					100 % C	90 % C, 10 % Y/Z	100 % C

Taulukko 5. Päällemaalattavuus tulokset, levyt C.

C 5 %	X-viilto	X-viilto	Hila	Hila	Adheesionappulat		
	(kuiva)	(märkä)	(kuiva)	(märkä)	1	2	3
C 2 kk	++	+	H1/T1	H1/T1	11,39 MPa	10,05 MPa	9,31 MPa
					90 % B, 10 % B/C	90 % B, 10 % B/C	90 % B, 10 % B/C
C 3 kk	+	+	H1/T1	H1/T1	8,94 MPa	8,71 MPa	9,14 MPa
					100 % B	100 % B	100 % B
C 6 kk	+	+	H1/T1	H1/T1	13,92 MPa	15,10 MPa	12,81 MPa
					50 % A/B, 20 % B/C, 20 % C, 10 % C/Y	50 % A/B, 50 % B/C	60 % A/B, 10 % B/C, 30 % C

Taulukko 6. Päällemaalattavuus, levyt CC.

CC 10 %	X-viilto	X-viilto	Hila	Hila	Adheesionappulat		
	(kuiva)	(märkä)	(kuiva)	(märkä)	1	2	3
CC 2 kk	++	+	H1/T1	H1/T1	10,97	7,84 MPa	11,70 MPa
					10 % B, 90 % C	20 % B, 80 % C	30 % B, 70 % C
CC 3 kk	+	+	H1/T1	H1/T1	10,79 MPa	10,78 MPa	8,77 MPa
					90 % B, 10 % B/C	80 % B, 20 % B/C	100 % B
CC 6 kk	+	++	H1/T1	H1/T1	12,53 MPa	13,26 MPa	11,81 MPa
					10 % A/B, 80 % B/C, 10 % C/Y	20 % A/B, 80 % B/C	100 % B/C