

Susanna Kaateikko

# Kemiallisten esikäsittelyiden vaikutus maalien tartuntaan kuumasinkityllä pinnalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka

Insinöörityö

22.5.2013

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Susanna Kaateikko Kemiallisten esikäsitteilyiden vaikutus maalien tartuntaan kuumasinkityllä pinnalla</p> <p>53 sivua + 2 liitettä 22.5.2013</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Insinööri (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka</p>
<p>Suuntautumisvaihtoehto</p>	<p>Rakennusten pintakäsittelyt</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>Yliopettaja Kai Laitinen Kalevi Panka, Teknos Oy Esa Virolainen, Ruukki Metals Oy</p>
<p>Insinöörityön tavoitteena oli tutkia kemiallisten esikäsitteilyiden vaikutusta erityyppisten maalien tartuntaan kuumasinkityllä pinnalla. Työ toteutettiin vertailemalla pyyhkäisysuihkupuhdistettujen levyjen koetuloksia sinkkifosfatoitujen ja silaanikäsitteilyjen tuloksiin. Vertailtavia maaliyhdistelmiä oli neljä. Teräksen piipitoisuuden vaikutusta vertailtiin käyttämällä ala- ja keskipiinterästä.</p> <p>Koelevyille tehtiin kondensaatio- ja suolasumutestit. Kondensaatiokaapissa olleiden koelevyjen maalikalvon kiinnipysyvyyttä arvioitiin SFS-EN ISO 4628 -standardin mukaisesti irtivetokokeen avulla ja silmämääräisesti. Suolasumukoestuksessa olleet koelevyt arvioitiin standardin ISO 4628 mukaisesti. Osa koelevyistä vietiin ulkokenttäkoestukseen, josta tuloksia saadaan myöhemmin.</p> <p>Tulosten perusteella voidaan todeta, että muilla kuumasinkityn teräksen maalausjärjestelmillä voidaan päästä vähintään yhtä hyvään korroosiosuojaan kuin yleisimmin käytetyillä pyyhkäisysuihkupuhdistuksella ja liuoteohenteisella EPPUR-maaliyhdistelmällä. Selkeästi parasta maalausjärjestelmää ei voida nimetä, vaan vaihtelua aiheuttavat sekä esikäsitteilyettä testausmenetelmä. Keski- ja alapiin terästen välillä maalausjärjestelmien korroosiosuojauskyvyssä ei ollut suuria eroja. Keskipiin teräkset menestyivät hieman paremmin.</p> <p>Suolasumu- ja kondensaatiotestissä tasaisimmin pärjäsi liuotinohenteinen PUR-maali, joka toimi varmimmin pyyhkäisysuihkupuhdistetulla pinnalla.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>kuumasinkitys, kemiallinen esikäsitteily, maalin tartunta</p>

Author Title	Susanna Kaateikko The Effect of Chemical Pre-Treatment on Paint Adhesion on Hot-Dip Galvanized Steel Surface
Number of Pages Date	53 pages + 2 appendices 22 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Materials and Surface Engineering
Specialisation option	Surface Treatment of Building
Instructors	Kai Laitinen, Senior Lecturer Kalevi Panka, Teknos Oy Esa Virolainen, Ruukki Metals Oy
<p>The subject of this Bachelor's thesis was to study the effect of chemical pre-treatment of different types of paint adhesion on the surface of hot-dip galvanized steel. The final project was carried out by comparing the results of the tests of zinc phosphate treated, sweep blasted and silane treated plates. There were four combinations of paint to compare. The effect of silicon content in steel was compared by using lower and middle silicon steel.</p> <p>The test panel was made by condensation and salt fog tests. In the condensation test panels the adhesion of the paint film was assessed by the SFS-EN ISO 4628 standard by the pull-off test, and visual inspection. The salt fog test plates were evaluated by the ISO 4628 standard. Some of the test plates were taken outdoors for testing, from which results will be obtained later.</p> <p>Based on the results it can be concluded that, at least as good as the most commonly used anti-corrosion protection, sweep blasted and EPPUR solvent borne paint combination can be achieved with other hot-dip galvanized coating systems. Clearly the best paint system cannot be named, because of the variation caused by both pre-processing and testing method. In corrosion protection capability there were no major differences between painting systems with middle and lower silicon steels. Mid-silicon steels fared a little better.</p> <p>The PUR solvent-based paint succeeded consistently in the salt spray and condensation test, which worked most certainly on sweep blasted surface.</p>	
Keywords	hot-dip galvanized, chemical pre-treatment, paint adhesion

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kuumasinkitys	2
3	Kuumasinkityn pinnan esikäsittelymenetelmät ennen maalausta	3
3.1	Pyyhkäisysuihkupuhdistus SaS	3
3.2	Konversiopinnoitteet	4
3.2.1	Sinkkifosfatoi	4
3.2.2	Oxilan MM-0705	5
3.2.3	TecTalis 609	6
3.2.4	Bonderite NT	6
3.2.5	SurTec	6
4	Kuumasinkityn pinnan maalaus	7
5	Koemateriaalit	7
5.1	Koelevyt	7
5.2	Maaliyhdistelmät	8
6	Kuumasinkityksen suoritus	8
7	Kuumasinkitynpinnan esikäsittelyt	9
7.1	Pyyhkäisysuihkupuhdistus SaS	10
7.2	Zn-fosfatoi	10
7.3	Silaanikäsittely	12
8	Koelevyjen maalaus	12
9	Kokeelliset menetelmät	14
9.1	Kondensaatiotesti	14
9.2	Suolasumutesti	15
9.3	Irtivetokoe	16
9.4	Hilaristikkokoe	18
9.5	Ulkokenttäkoestus	18
10	Koetulokset	18
10.1	Referenssilevyjen koetulokset	18

10.2	Kondensaatiotesti	24
10.3	Suolasumutesti	47
11	Tulosten tarkastelu	49
11.1	Teräksen piipitoisuuden vaikutus	49
11.2	Esikäsittelymenetelmien ja maaliyhdistelmien vertailu	50
	11.2.1 Kondensaatiotesti	50
	11.2.2 Suolasumutesti	51
12	Johtopäätökset	52
13	Lähteet	54

#### Liitteet

Liite 1. Esikäsittelyn vaikutus maaliyhdistelmien kestävyteen kondensaatiokokeessa keski- ja alapiin teräksillä

Liite 2. Kuvia koelevyistä

## 1 Johdanto

Kuumasinkittyjen teräsrakenteiden maalaus on haasteellinen prosessi. Referenssin mukaisesti esikäsitteilynä toimii pyyhkäisysuihkupuhdistus, jonka jälkeen pohjamaaliksi maalataan epoksimaali ja pintamaaliksi polyuretaanimaali. Kaikki tämä tulisi tehdä heti kuumasinkityksen jälkeen, jotta käsiteltävä pinta pysyisi optimaalisena maalausaluksena. Oikeassa elämässä näin kuitenkin harvoin on, vaan sinkityt kappaleet päätyvät usein sinkityslaitokselta kosteisiin olosuhteisiin, ennen ne kuin päätyvät maalaamoon.

Teräsrakenteiden monimuotoisuuden vuoksi niiden pyyhkäisysuihkupuhdistus on usein hankalaa. Tästä syystä kemiallisen esikäsitteilyn mahdollisuuksia aletaan miettiä. Jos kappaleen voisi kastaa nestemäiseen kylpyyn ja sen jälkeen vain maalata, olisi prosessi huomattavasti nopeampi. Entä jos kahden maalikerroksen sijaan riittäisi vain yksi maalikerros?

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tutkia kemiallisten esikäsitteilyiden vaikutusta erityyppisten maalien tartuntaan kuumasinkityllä pinnalla. Tutkittavia esikäsitteilymenetelmiä on kolme: yksi mekaaninen ja kaksi kemiallista esikäsitteilymenetelmää. Tutkittavia maaliyhdistelmiä on neljä ja teräslaatuja kaksi. Työssä pyritään kuumasinkityn pinnan hallittuun käsittelyyn eli prosessit tehdään heti kuumasinkityksen jälkeen. Työn tilaajina ovat Teknos Oy ja Rautaruukki Oyj.

Teknos Oy

Teknos Oy on Euroopan johtavia teollisuusmaalien valmistajia ja sillä on vahva asema myös kauppa- ja rakennusmaaleissa. Teknos on perustettu vuonna 1948, ja se on yksi Suomen suurimmista perheyriyksistä. Sen palveluksessa on noin tuhat henkeä, joista runsaat 150 toimii tutkimuksen ja tuotekehityksen parissa. Konsernin liikevaihto on noin 250 milj. euroa.

Tuotantoa Teknoksella on seitsemässä maassa: Suomessa, Ruotsissa, Tanskassa, Saksassa, Puolassa, Venäjällä ja Kiinassa. Myyntiyhtiöitä sillä on 14 maassa ja vientiä oman edustajaverkoston välityksellä pariinkymmeneen muuhun maahan. Suomessa Teknoksen tuotantolaitoksia on kaksi: Rajamäellä ja Helsingissä Pitäjänmäellä, jossa toimii myös yhtiön pääkonttori ja toinen tutkimuskeskuksista. (1)

## Rautaruukki Oyj

Rautaruukki Oyj (markkinointinimi Ruukki) on kansainvälinen teräs- ja konepajateollisuuden moniosaaja, jonka juuret ulottuvat 1960-luvulle saakka. Alun perin yhtiön perustamisen tarkoituksena oli turvata kotimaisen telakka- ja muun metalliteollisuuden raaka-ainehuolto. Nykyisin sen liiketoiminta kattaa rakentamisen sekä konepaja- ja teräsliiketoiminnot.

Ruukin palveluksessa työskentelee noin 11 800 henkilöä noin 30 maassa, mm. Pohjoismaissa, Baltian maissa, Venäjällä ja Ukrainassa sekä itäisessä Keski-Euroopassa. (2)

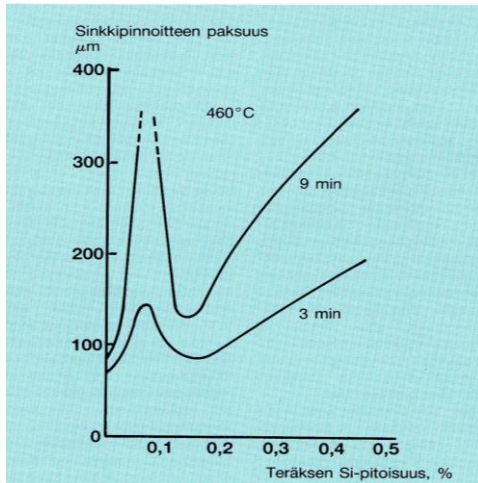
## 2 Kuumasinkitys

Kuumasinkitys tapahtuu upottamalla teräskappale sulaan sinkkiin, jolloin teräs ja sinkki reagoivat. Kappaleen pinnalle muodostuu rauta-sinkkiseoksista pinnoite, jonka kerroksen rautapitoisuus pienenee pintaa kohti. (5, s. 3)

Ennen kuin kappale voidaan kuumasinkittää, tulee sen pinnalta poistaa rasvat ja muut epäpuhtaudet rasvanpoistoliuoksella. Tämän jälkeen kappale huuhdotaan vedellä ja kappaleesta poistetaan valssihilse ja ruoste peittaamalla se laimeassa suola- tai rikkihapossa. Peittauksen jälkeen kappale tulee käsitellä juoksuteaineella. Juoksute poistaa kappaleen sekä kylvyn pinnalta oksideja, jolloin teräs ja sinkki pääsevät keskenään metalliseen kosketukseen. Menetelmiä on kaksi, märkä- ja kuivamenetelmä. Märkämenetelmässä juoksute, ammoniumkloridi, on sinkkipadan pinnalla. Kosteaa kappale upotetaan silloin juoksutekylvyn läpi ja nostetaan ylös puolelta, jossa juoksutetta ei ole. Kuivamenetelmässä kappale upotetaan juoksutekylpyyn, sinkki-ammoniumkloridiliuokseen, minkä jälkeen kappaleen annetaan kuivua ennen sinkkipataan upottamista. (3, s. 11)

Kuumasinkityspadan sulan sinkin lämpötila on yleensä noin 460 °C. Vaihtelut välillä 440 - 470 °C eivät vaikuta olennaisesti rauta-sinkkireaktion nopeuteen. Upotusaika vaihte-

lee yleensä 1,5 ja 5 min välillä, mutta isoimpien kappaleiden upotusaika saattaa olla jopa 10 min. Teräksen seosaineista eniten sinkkikerroksen paksuuteen vaikuttaa pii. Se kiihdyttää teräksen ja sinkin välisiä reaktioita ja saa reaktion jatkumaan kiivaana koko kaston ajan. Kuten kuvasta 1 nähdään, piipitoisuuden vaikutus pinnoitepaksuuteen ei ole lineaarinen. (3, s. 13-14; 5, s. 3)



Kuva 1 Piipitoisuuden ja pinnoitepaksuuden suhde 3 ja 9 min kastoajalla. (3)

Kuumasinkityksen aikana tulee muistaa puhdistaa sinkkipadan pinta oksideista ja juoksitejäämistä aina ennen kappaleen upotusta ja nostoa. Kuumasinkityt kappaleet voidaan jäähdyttää ilmassa tai vedessä, minkä jälkeen ne voidaan jälkipuhdistaa, tarkastaa ja lastata. (3, s. 11)

### 3 Kuumasinkityn pinnan esikäsittelymenetelmät ennen maalausta

#### 3.1 Pyyhkäisysuihkupuhdistus SaS

Pyyhkäisysuihkupuhdistus on yleisimmin käytetty sinkki ja alumiinipintojen karhennusmenetelmä. Siinä puhallusrakeet singotaan puhdistettavaa pintaa kohti tietyssä kulmassa matalalla ilmanpaineella. Kuumasinkityn pinnan pyyhkäisysuihkupuhdistus tulee tehdä standardin PSK 2702 (Kuumasinkittyjen teräsrakenteiden hankinta ja maalaus. Käyttösuositus prosessiteollisuudelle) mukaisesti:

- puhallusraemateriaalina tulee olla luonnonhiekkä, alumiinioksidi, silikaatit tai oliivihiekka
- puhallusraekoko 0,2 - 0,5 mm



- suutinpaine 0,15 – 0,35 MPa
- puhallusetäisyys 0,3 – 1 m
- puhalluskulma 30 – 60 °.

Valmiin sinkkipinnan tulee olla tasaisen himmeä ja pinnoitteen ehjä. Mikäli puhallus tehdään liian suurella paineella, raekoko on liian suuri tai puhalletaan liian läheltä ja kohti suoraan, kuumasinkitys saattaa irrota metallin pinnasta. (6, s. 32; 7)

## 3.2 Konversiopinnoitteet

### 3.2.1 Sinkkifosfatoi

Fosfatoi on metallipinnan kemiallinen käsittely, jossa kylpyliuos reagoi metallipinnan kanssa muodostaen metallin pintaan ohuen ja hienokiteisen metallifosfaattipinnan. Fosfaattipinta antaa metallipinnalle korroosiosuojaa, toimii maalin tartuntapohjana ja öljyjen, vahojen sekä korroosionestoaineiden alustana ja avustaa teräksen mekaanisessa työstössä. Rautametallisissa, toisiinsa hankaavissa pinnoissa fosfatoi vähentää kitkaa. Fosfaattipinnoitteen vaatimukset on eritelty standardissa SFS-EN 12476 (Metallien fosfatoi-pinnoitteet. Vaatimusten erittelymenetelmä). (6, s. 98)

Sinkkifosfatoi kylpy sisältää sinkkifosfaatteja, vapaata fosforihappoa ( $H_3PO_4$ ) sekä kiihdyttäjiä kuten kloraatteja, nitriittejä tai nitraatteja. Kun metallipinta joutuu kosketuksiin fosfatoi liuoksen kanssa, liuoksen vapaa fosforihappo reagoi metallin kanssa liuottaen sitä ja muodostaen vetyä. Kiihdyttimien tehtävä on vähentää vedynkehitystä ja nopeuttaa liukenemisreaktiota.

Kun fosforihappo reagoi edelleen, sen pitoisuus liuoksessa laskee ja liuoksen pH nousee, jolloin sinkkifosfaatti ei enää liukene täysin liuokseen vaan sitä alkaa saostua metallin pinnalle fosfolyyttinä ( $Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ) ja hopeiittina ( $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ). Kun kappaleen pinta on peittynyt ja metallin liukeneminen loppunut, fosfatoi reaktio päättyy.

Sinkkifosfatoi prosessissa on yleensä viisi vaihetta: puhdistus, huuhtelu, fosfatoi, huuhtelu ja passivoiva jälkihuhtelu. Käsittelyaika riippuu menetelmästä: upotusfosfatoi tyypillinen kasto aika on 3 - 20 min ja ruiskutuksessa 1 - 3 min. Kylvyn toimi-

vuuden ja pinnan tasalaatuisuuden turvaamiseksi kylvyn vaiheita tulee valvoa ja tehdä tarpeen tullen kemikaalilisäyksiä. Kun fosfatoidaan sinkkiä, sitä rikastuu kylpyliuokseen metallin liuetessa. Tämä seikka tulee ottaa huomioon kemikaalilisäyksiä tehtäessä. (6, s. 98-99)

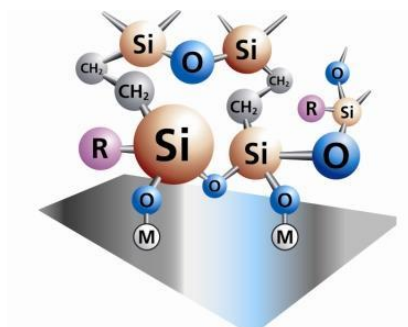
Fosfatointipinnoitteen tärkeimpiä ominaisuuksia on

- kasvattaa pinnan huokoisuutta sekä ominaispinta-alaa, mikä parantaa maalin tarttuvuutta sekä mahdollistaa voiteluaineiden pysymisen pinnalla
- kasvattaa pinnan sähköistä vastusta, mikä pienentää sähkökemiallista korroosiota ja estää korroosion etenemisen maalin alle
- estää maalin ja reaktiivisen pohjamateriaalin, kuten sinkin reaktio.

Fosfatointipinnoitteella saadaan pinnan olosuhteet happamiksi, jolloin vältetään maalin saippuoitumiselta. (6, s. 98)

### 3.2.2 Oxsilan MM-0705

Silaanipohjaiset esikäsitteilyaineet, kuten Oxsilan MM-0705, ovat raskasmetalli- ja fosfaattivapaita esikäsitteilyliuoksia. Oxsilan on ympäristöystävällisempi vaihtoehto sinkki-fosfatoinnille. Se sisältää Ti/Zr-hexafluoridia, silaanipolymeeria ja lisäaineita. Kuvassa 2 näkyy silaanin molekyyli rakenne.



Kuva 2. Silaanirakenne (8)

Metallin pinnalle muodostuu kemiallisen reaktion seurauksena silaaniketjuista noin 60 nm paksu molekyyliverkosto, joka parantaa maalin tarttuvuutta ja yhdessä maalin

kanssa suojaa metallin pintaa korroosiolta. Käsittely soveltuu kaikille metallipinnoille, ja sitä voidaan käyttää kaikkien maalausjärjestelmien kanssa. Sakan muodostuminen prosessissa on vähäistä, joten mittavaa jätevedenpuhdistusta ei tarvita.

Käsittely Oxsilan MM-0705 -silaanilla on erittäin helppoa ja suoritetaan neljässä vaiheessa: rasvanpoisto, kaksi huuhtelua ja silaanikäsitteily. Ainoa lämmitettävä kylpy on rasvanpoisto. Oxsilan-liuos voidaan joko ruiskuttaa käsiteltävän kappaleen pintaan tai käsiteltävä kappale voidaan upottaa Oxsilan-liuokseen. Käsittelyaika on 2 - 180 s, liuoksen pH:n tulee olla 5,5 - 6,5 ja silaanipitoisuus 3 – 10 %. Jälkihuuhdelua ei tarvita. Silaanituotteita on useita kymmeniä, joista valitaan kuhunkin tarkoitukseen sopivin vaihtoehto. (9)

### 3.2.3 TecTalis 609

TecTalis on prosessi, jossa kemiallisen reaktion avulla metallin pintaan saadaan alle 100 nm:n pinnoite. TecTalis antaa hyvän korroosiosuojan ja parantaa maalin tarttuvuutta metallin pintaan. Prosessissa on kahdeksan vaihetta: kaksi rasvanpoistoa, kaksi huuhtelua, TecTalis-käsittely ja kolme huuhtelua. Menetelmä on ympäristöystävällinen, prosessissa muodostuu vain vähän sakkaa, lämmitystä tarvitaan vain rasvanpoistossa ja prosessia on helppo kontrolloida yksinkertaisilla mittauksilla. (10)

### 3.2.4 Bonderite NT

Bonderite NT on teräs- sinkki- ja alumiinipinnoille soveltuva nanopinnoite. Menetelmä on raskasmetalli-, fosfaatti-, BOD- ja COD-vapaa, joten jätevesien puhdistus ja niiden kanssa toimiminen on helpompaa ja turvallisempaa. Prosessissa metallin pintaan muodostuu noin 20-30 nm paksu pinnoite. Käsittelyaika on 20 – 120 s riippuen liuoksen konsentraatiosta. Bonderite NT -liuos voidaan joko ruiskuttaa kappaleen pintaan tai kappale voidaan upottaa liuokseen. Prosessi on viisivaiheinen: rasvanpoisto, kaksi huuhtelua, Bonderite NT-käsittely ja huuhtelu. Näiden vaiheiden jälkeen pinta voidaan neutralisoida ja kuivata. Käsittelylämpötila on 20 °C. Liuoksen pH:n tulee olla 3,8 - 5,5, ja sitä tulee tarkkailla. (11)

### 3.2.5 SurTec

SurTec on nanopinnoite, joka perustuu kolmenarvoiseen kromiin. Prosessi soveltuu eri metallien passivoimiseen ennen maalausta parantaen metallin korroosiokestävyyttä ja maalin tarttuvuutta. Käsittelylämpötila on 20 °C. Liuksen pH:n tulee olla 4,0 - 4,5, ja sitä tulee tarkkailla sekä säätää tarvittaessa. Suositeltu käsittelyaika on 30 sekuntia. SurTec-liuos voidaan joko ruiskuttaa kappaleen pintaan tai kappale voidaan upottaa liuokseen. Prosessissa on kuusi vaihetta: rasvanpoisto, kaksi huuhtelua, SurTec-käsittely, huuhtelu ja kuivaus kuumalla ilmalla. Prosessin aikana saattaa esiintyä vähäistä lietettä, mikä ei kuitenkaan vaikuta kylvyn laatuun. (12)

#### 4 Kuumasinkityn pinnan maalaus

Maalattavan kuumasinkityn pinnan tulee olla pölytön ja kuiva, pinnan lämpötilan 3 °C ilman kastelämpötilan yläpuolella ja ilman suhteellisen kosteuden alle 80 %.

Maalauksessa erityistä huomiota on kiinnitettävä pohjamaalaukseen, jonka ensimmäinen kerros tulee tehdä ns. harsotustekniikalla. Tämä tarkoittaa maalin ohentamista 20 - 40 % ja sen ohuelti ruiskuttamista sinkitylle pinnalle, jolloin maali täyttää pinnassa olevan profiilin ja kuplien muodostuminen maalipintaan estyy. Varsinainen pohjamaalaus tehdään 15 – 30 min kuluttua harsotuksesta tavanomaisella maalaustekniikalla. Seuraavat maalikerrokset maalataan tavanomaisella maalaustekniikalla maaliyhdistelmän mukaan. (7)

#### 5 Koemateriaalit

##### 5.1 Koelevyt

Koelevyinä käytettiin Ruukin keski- ja alapiin teräslevyjä, joiden koko oli 10 cm x 15 cm x 5-6 mm. Koska koestuksia oli useita ja niissä haluttiin testata kolme rinnakkaislevyä, kumpaakin teräslajia oli 144 kpl eli yhteensä 288 levynäytettä. Keskipiikoelevyjen teräksen piipitoisuus oli 0,213 % ja teräs täytti standardin SFS-EN ISO 10025-2 (Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 2: Seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot) vaatimukset. Alapiikoelevyjen teräksen piipitoisuus oli 0,017 % ja teräs täytti standardin SFS-EN ISO 10149-2 (Kuumavalssatut lujat kylmämuovattavat teräslevytuotteet. Osa 2: Termomekaanisesti valssattujen terästen toimitusehdot) vaatimukset.

Koelevyihin porattiin ripustusta varten kaksi reikää, yksi levyn kumpaankin ylänurkkaan. Jotta teräslaadut erotettiin toisistaan, alapiiteräs koelevyihin porattiin 9 mm reiät ja keskipiiteräs koelevyihin 12 mm ripustusreiät.

## 5.2 Maaliyhdistelmät

Työssä käytettiin Teknoksen neljää (4) eri maaliyhdistelmää (suluissa kuivakalvopaksuuksien tavoitearvot):

1. Referenssiyhdistelmä: Epoksi primer ja polyuretaanipintamaali (80  $\mu\text{m}$  + 40  $\mu\text{m}$  = 120  $\mu\text{m}$ )
2. Märkämaaliyhdistelmä 1: Yksikerrospolyuretaanimaali (120  $\mu\text{m}$ )
3. Märkämaaliyhdistelmä 2: Vesiohenteinen epoksi primer ja vesiohenteinen polyuretaanipintamaali (60  $\mu\text{m}$  + 40  $\mu\text{m}$  = 100  $\mu\text{m}$ )
4. Jauhemaali (80-100  $\mu\text{m}$ )

## 6 Kuumasinkityksen suoritus

Kuumasinkitys suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun materiaali- ja pintakäsittelytekniikan laboratoriossa. Ennen kuumasinkitystä koelevyille tehtiin esikäsittelyt seuraavasti:

- NaOH-kylpy, kasta aika 4 min. Kylvyn NaOH-pitoisuus 5 % ja lämpötila 60 °C
- Huuhtelu (H<sub>2</sub>O, vesijohtovesi), kasta aika 1 min
- HCl-kylpy, kasta aika 30 min. Kylvyn HCl-pitoisuus 16 %
- Huuhtelu (H<sub>2</sub>O, vesijohtovesi), kasta aika 1 min
- Juoksutekasto, 1 min. Inhibiitti Rodine 60 n. 1 % (~10 g/l)

Koelevyt upotettiin sulaan sinkkiin, jonka lämpötila oli 450 °C. Taulukosta 1 nähdään sinkkikylvyn alkuainepitoisuudet. Kasta aika vaihteli koelevyn piipitoisuuden mukaan: alapiin koelevyjä kastettiin 4 min ja keskiin koelevyjä 2 min. Pataan mahtui kerrallaan parhaimmillaan 8 koelevyä. Levyjen jäähtyttyä osasta mitattiin sinkkikerroksen paksuus (taulukko 2). Mittaukset tehtiin toisena, kolmantena ja neljäntenä työpäivänä, sillä ensimmäisenä päivänä ei niitä ehditty mittaamaan.

Taulukko 1. Sinkkikylvyn alkuainepitoisuudet

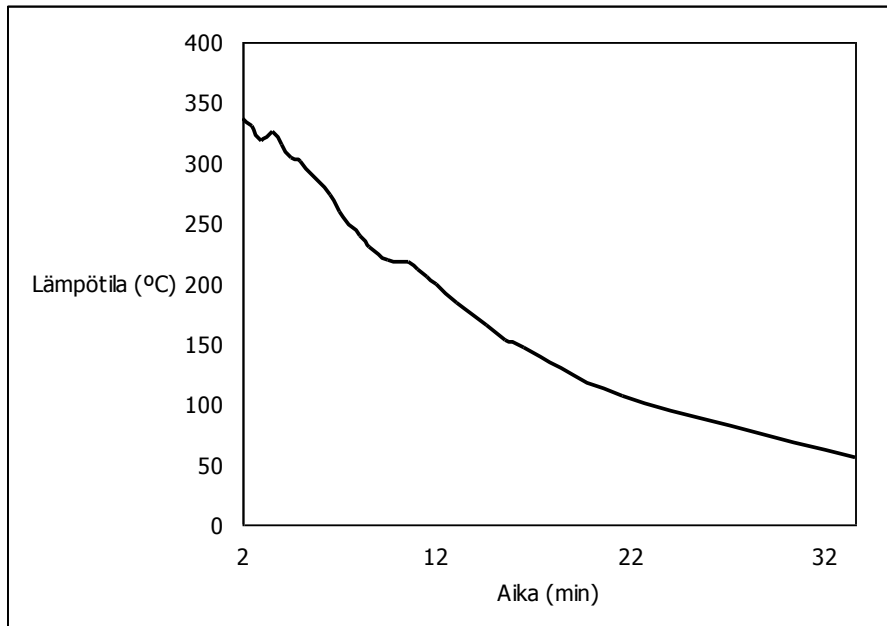
Al %	Fe %	Ni %	Cu %	Cd %	Sn %	Pb %	Bi %
<0,0005	0,025	0,0051	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,003	<0,0005

Taulukko 2. Sinkkipinnoitteen paksuuksia mitattiin 2, 3 ja 4 päivänä. Jokaisena päivänä mitattiin kuuden (6) keski- ja alapiinkoelevyn pinnoitepaksuudet. Yhdestä koelevystä otettiin viisi (5) arvoa, ilmoitettu pinnoitepaksuus on näiden viiden keskiarvo. Tuloksista laskettiin keski- ja alapiin koelevyille kokonaiskeskiarvot, joita käytettiin maalikalvojen kuivakalvopaksuuksien määrittämisessä.

	Keskipii (µm)	Alapii (µm)
<b>2. päivä</b>	92,3	61,0
	96,4	68,1
	100,2	68,7
	76,7	60,2
	90,5	68,0
	77,0	60,0
<b>3. päivä</b>	110,3	71,2
	106,6	74,8
	88,3	75,3
	106,6	62,5
	92,1	75,0
	77,7	71,7
<b>4. päivä</b>	91,5	63,2
	79,6	56,9
	104,6	69,6
	98,8	65,8
	77,6	68,3
	100,4	58,7
<b>Ka</b>	<b>92,6</b>	<b>66,6</b>

## 7 Kuumasinkitynpinnan esikäsittelyt

Koelevyt jaettiin kolmeen eri esikäsittelymenetelmään, ja ne käsiteltiin heti kuumasinkityksen jälkeen, kun se vain levyjen lämpötilan kannalta oli mahdollista. Kuvassa 3 on esitetty koelevyjen jäähtymisnopeus, joka määritettiin mittaamalla koelevyn lämpötilaa pintalämpömittarilla jäähtymisen aikana.



Kuva 3. Kuumasinkityn koelevyn lämpötilan lasku

### 7.1 Pyyhkäisysuihkupuhdistus SaS

Koelevyt pyyhkäisysuihkupuhdistettiin eli hiekkapestiin standardin SFS-EN ISO 12944 (Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmällä) mukaisesti puhalluskaapissa siten, että koelevyn pinta oli kauttaaltaan himmeä. Puhdistus tehtiin noin 45 asteen kulmassa, 30 cm päästä ja siinä käytettiin kulmikasta alumiinioksidiraetta. Työ oli hidasta alhaisen suutinpaineen vuoksi. Puhdistuksen jälkeen levyistä puhallettiin pölyt paineilmalla, minkä jälkeen ne maalattiin.

### 7.2 Zn-fosfatoiointi

Sinkkifosfatoiointiprosessissa oli neljä 65 litran allasta:

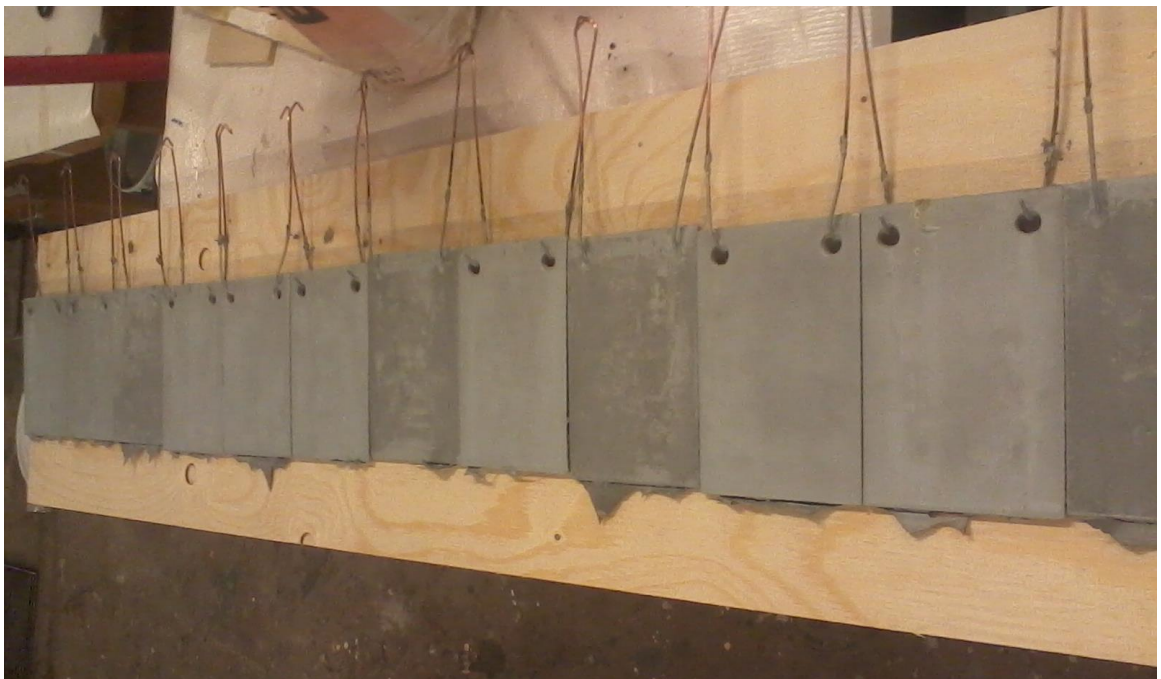
1. Aktivointiallas: Aktivointiaine (Cardolene V6513, 1 g/l), kastoaika 1 min.
2. Fosfatoiinallas: Trikationinen fosfatoiointiaine (Cardobond 26), lämpötila 50-80 °C, kastoaika 3 min.
3. Huuhteluallas: Vesijohtovesi, kastoaika 1 min.
4. Huuhteluallas: Vesijohtovesi, kastoaika 1 min.

Joka aamu altaiden 1, 3 ja 4 pH mitattiin pH-mittarilla. Ensimmäisenä ja toisena päivänä altaaseen 1 lisättiin 65 g aktivointiainetta. Aktivointikylvyn pH:n tuli olla 9 - 9,5 ja sitä

nostettiin tarpeen vaatiessa NaOH-liuoksella. Altaan 2, eli fosfatointialtaan, lämpötila tarkistettiin ja siihen lisättiin hapetin (Cardobond additive H7001, natriumnitriitti). Taulukosta 1 nähdään päivittäisten mittausten tulokset. Ennen Zn-fosfatointia koelevyn lämpötilan tuli laskea alle 40 °C:n. Zn-fosfatoinnin jälkeen koelevyjen annettiin kuivua (kuva 4), minkä jälkeen ne maalattiin.

Taulukko 3. Zn-fosfatointilinjan kylpyjen päivittäiset pH:t ja lämpötilat sekä kemikaalilisäykset

<b>Aktivointikylpy</b>	<b>1. päivä</b>	<b>2. päivä</b>	<b>3. päivä</b>	<b>4. päivä</b>
Aktivointiaineenpitoisuus g/l	1	1		
Mitattu pH	8,8			
Lisätty NaOH (ml)	150			
pH	9,07	9,5	8,9	9
<b>Fosfatointikylpy</b>	<b>1. päivä</b>	<b>2. päivä</b>	<b>3. päivä</b>	<b>4. päivä</b>
Lämpötila (°C)	68	69	66	63
Lisätty hapetin (ml)	27,3	10	10	10
<b>Huuhtelukylpy 1.</b>	<b>1. päivä</b>	<b>2. päivä</b>	<b>3. päivä</b>	<b>4. päivä</b>
pH	8,0		7,6	7,1
<b>Huuhtelukylpy 2.</b>	<b>1. päivä</b>	<b>2. päivä</b>	<b>3. päivä</b>	<b>4. päivä</b>
pH	8,0		8,1	8,1



Kuva 4. Zn-fosfatoituja koelevyjä. Vaaleamman harmaat ovat alapiin ja tummemmat keskipiin koelevyjä.



### 7.3 Silaanikäsitely

Alle 100 °C:n lämpötilaan jäähtyneiden koelevyjen pintaan ruiskutettiin sumutinpullolla 10 prosenttinen Oxilan MM-705 -vesiliuos (tislattu vesi). Liuosta sumutettiin koelevyn pintaan silmämääräisesti niin, että se oli kauttaaltaan kastunut. Levyjen annettiin kuivua ennen maalausta.

## 8 Koelevyjen maalaus

Koelevyjen maalaus suoritettiin siten, että päivän aikana maalattiin yhdellä maalijärjestelmällä. Työpäiviä oli täten neljä. Maaliyhdistelmissä, joissa oli sekä pohja- että pintamaali, maalattiin ensin pohjamaali ja seuraavana päivänä pintamaali.

Märkämaaliyhdistelmät maalattiin korkeapaineruiskulla, 180 bar:n paineella ja suuttimena käytettiin 0,013” suutinta. Jauhemaalaus suoritettiin kitkaruiskulla ja maalatut koelevyt poltettiin uunissa 190 °C:een lämpötilassa noin 20 min ajan.

Kaikki maalit olivat huoneenlämpöisiä, eikä niitä laimennettu. Valmiista koelevyistä mitattiin pinnoitepaksuudet Elcometer-mittalaitteella. Tuloksista saatiin määritettyä maalien kuivakalvopaksuudet vähentämällä sinkkikerroksen paksuus saadusta tuloksesta (taulukot 4 - 7).

Taulukko 4. Maalikalvonpaksuuksia, referenssiyhdistelmä eli kaksikerros-EPPUR-maalausjärjestelmä

EPPUR, liuote (ref.)	SaS		Silaanikäsitelty		Zn-fosfatoitu	
	Keskipii (µm)	Alapii (µm)	Keskipii (µm)	Alapii (µm)	Keskipii (µm)	Alapii (µm)
Pinnoitekerroksen paksuus	212,5	207,3	244,5	230,5	279,0	201,7
	215,0	214,5	242,5	204,0	242,0	198,4
	212,5	211,4	233,5	209,0	239,5	193,6
	211,5	198,7	253,0	232,5	222,5	231,4
	199,4	201,1	263,5	230,0	217,8	221,0
<b>Kokonaispaksuus ka</b>	<b>210,2</b>	<b>206,6</b>	<b>247,4</b>	<b>221,2</b>	<b>240,2</b>	<b>209,2</b>
Zn-kerroksen ka	92,6	66,6	92,6	66,6	92,6	66,6
<b>Maalikalvon paksuus (µm)</b>	<b>117,6</b>	<b>140,0</b>	<b>154,8</b>	<b>154,6</b>	<b>147,6</b>	<b>142,6</b>
<b>Tavoitekalvonpaksuus (pohjamaali+pintamaali)</b>	<b>(80 + 40) µm = 120 µm</b>					

Taulukko 5. Maalikalvonpaksuuksia, märkämaaliyhdistelmä 1 eli yksikerrospolyuretaanimaali

Märkämaaliyhdistelmä 1	SaS		Silaanikäsitelty		Zn-fosfatoitu	
	Keskipii (µm)	Alapii (µm)	Keskipii (µm)	Alapii (µm)	Keskipii (µm)	Alapii (µm)
Pinnoitekerroksen paksuus	166,1	147,3	157,3	152,2	203,0	165,1
	200,5	160,0	143,6	175,5	209,5	173,6
	206,0	152,8	138,0	148,4	202,0	162,4
	198,9	161,4	166,6	167,3	213,5	164,6
	184,1	187,4	151,2	157,6	197,3	194,2
<b>Kokonaispaksuus ka</b>	<b>191,1</b>	<b>161,8</b>	<b>151,3</b>	<b>160,2</b>	<b>205,1</b>	<b>172,0</b>
Zn-kerroksen ka	92,6	66,6	92,6	66,6	92,6	66,6
<b>Maalikalvon paksuus (µm)</b>	<b>98,5</b>	<b>95,2</b>	<b>58,7</b>	<b>93,6</b>	<b>112,5</b>	<b>105,4</b>
<b>Tavoitekalvonpaksuus</b>	<b>120 µm</b>					

Taulukko 6. Maalikalvonpaksuuksia, märkämaaliyhdistelmä 2 eli vesiohenteinen EPPUR-maalaujärjestelmä

Märkämaaliyhdistelmä 2	SaS		Silaanikäsitelty		Zn-fosfatoitu	
	Keskipii (µm)	Alapii (µm)	Keskipii (µm)	Alapii (µm)	Keskipii (µm)	Alapii (µm)
Pinnoitekerroksen paksuus	193,9	212	166,9	176,3	227	168,5
	214	194,2	185,9	170	173,2	165,1
	196,6	234,5	207	173,7	173,1	162,6
	215	233	190,4	174,1	188,9	156,1
	200,5	229,5	206	166,8	169,1	175,2
<b>Kokonaispaksuus ka</b>	<b>204,0</b>	<b>220,6</b>	<b>191,2</b>	<b>172,2</b>	<b>186,3</b>	<b>165,5</b>
Zn-kerroksen ka	92,6	66,6	92,6	66,6	92,6	66,6
<b>Maalikalvon paksuus (µm)</b>	<b>111,4</b>	<b>154,0</b>	<b>98,6</b>	<b>105,6</b>	<b>93,7</b>	<b>98,9</b>
<b>Tavoitekalvonpaksuus (pohjamaali+pintamaali)</b>	<b>(60 + 40) µm = 100 µm</b>					

Taulukko 7. Maalikalvonpaksuuksia, jauhemaali

Jauhemaali	SaS		Silaanikäsitelty		Zn-fosfatoitu	
	Keskipii ( $\mu\text{m}$ )	Alapii ( $\mu\text{m}$ )	Keskipii ( $\mu\text{m}$ )	Alapii ( $\mu\text{m}$ )	Keskipii ( $\mu\text{m}$ )	Alapii ( $\mu\text{m}$ )
Pinnoitekerroksen paksuus	120,1	117,5	204,0	202,1	210,0	231
	154,3	111,7	163,7	160,3	207,5	231,7
	166,1	122,6	157,2	200	252,0	211,5
	173,2	134	149,2	148,7	239,5	203,6
	126,3	111,6	158	158,8	264,5	198,3
<b>Kokonaispaksuus ka</b>	<b>148,0</b>	<b>119,5</b>	<b>166,4</b>	<b>174,0</b>	<b>234,7</b>	<b>215,2</b>
Zn-kerroksen ka	92,6	66,6	92,6	66,6	92,6	66,6
<b>Maalikalvon paksuus (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>55,4</b>	<b>52,9</b>	<b>73,8</b>	<b>107,4</b>	<b>142,1</b>	<b>148,6</b>
<b>Tavoitekalvonpaksuus</b>	<b>80-100 <math>\mu\text{m}</math></b>					

## 9 Kokeelliset menetelmät

### 9.1 Kondensaatiotesti

Kondensaatiotesti tehtiin standardin SFS-EN ISO 6270-1 (Maalit ja lakat. Kosteudenkestävyyden määrittäminen. Osa 1: Jatkuva kondensoituminen) mukaisesti. Testissä koelevyt laitetaan kondensaatiokaapin katoksi. Kaapin pohjalla on vettä, joka lämmitetään 40 °C:n lämpötilaan. Koelevyt eivät lämpene, sillä ympäröivä ilma pitää ne huoneenlämpöisinä. Kondensaatiokaapin sisällä olevan ilman kosteuspitoisuus on 100 %, joten kosteus kondensoituu levyn pintaan. Koelevyjä pidettiin kondensaatiokaapissa 480 tuntia (kuva 5).



Kuva 5. Kondensaatiokaappeja

## 9.2 Suolasumutesti

Testi tehtiin standardin SFS-EN ISO 9227 (Korroosiokokeet keinotekoisissa kaasuympäristöissä. Suolasumukokeet) mukaisesti. Koelevyihin tehtiin viilto sinkkiin saakka (kuva 6) ja ne laitettiin suolasumukaappiin, jossa levyt olivat 720 h prosenttisessa suolasumussa (kuva 7). Levyt tarkastettiin 10 päivän (noin 240 h:n) välein.



Kuva 6. Suolasumutestiin valmisteltu koelevy



Kuva 7. Koelevyt suolasumukaapissa

### 9.3 Irtivetokoe

Irtivetokoe tehtiin standardin SFS-EN ISO 4624 (Maalit ja lakat. Tarttuvuuden arviointi vetokokeella) mukaisesti referenssilevyille (levyt, joita ei ollut koestettu) sekä kondensaatiotestissä olleille koelevyille. Yhteen koelevyyn liimattiin kaksi vetonuppia (kuva 8). Liiman kovettumisen jälkeen koelevyjen maalipinta porattiin pylväsporakoneella vetonupin ympäriltä sinkkiin asti (kuva 9). Tämän jälkeen koelevy asetettiin pneumaattiseen tartuntavetolaitteeseen ja vetonuppi vedettiin irti (kuva 10 ja 11).



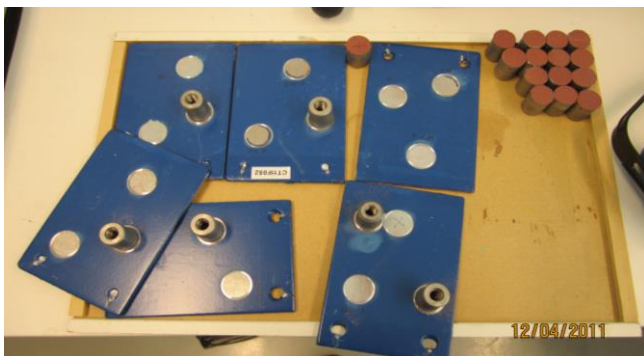
Kuva 8. Irtivetokokeen nuppien liimausta



Kuva 9. Maalipinnan porausta pylväsporakoneella



Kuva 10. Vetonuppien vetoa



Kuva 11. Koelevyjä irtivetokokeen jälkeen

#### 9.4 Hilaristikkokoe

Hilaristikkokoe tehtiin standardin SFS-EN ISO 2409 (Maalit ja lakat. Hilaristikkokoe) mukaisesti 2 mm hilaristikolla referenssilevyille, joita ei ollut koestettu. Ensimmäinen ristikko tehtiin kuivalle maalipinnalle (kuivatartunta). Toinen ristikko tehtiin kohtaan, jonka päällä oli ollut vesikuppi vuorokauden ajan (märkätartunta).

#### 9.5 Ulkokenttäkoestus

Osa koelevyistä on ilmastorasituksessa Bohus-Malmön saarella, osa Helsingin Pitäjänmäellä Teknoksen toimipisteen katolla. Testi on standardin SFS-EN ISO 2810 (Maalit ja lakat. Pinnoitteiden säänkestävyys. Kokeen suoritus ja arviointi) mukainen eli koelevyt ovat 45° kulmassa suunnattuna kohti etelää.

## 10 Koetulokset

### 10.1 Referenssilevyjen koetulokset

Referenssilevyille eli levyille, joita ei koestettu, tehtiin irtiveto- sekä hilaristikkokokeet (kuva 12). Irtivetokokeessa tulokseksi saatiin murtolujuus, MPa, sekä silmämääräisesti arvioitava murtumatyyppi. Murtumatyypit ovat seuraavat:

	A	alustan koheesiomurtuma
sen	A/B	adheesiomurtuma alustan ja ensimmäisen pinnoitekerroksen välillä
	B	koheesiomurtuma ensimmäisessä pinnoitekerroksessa
	B/C	adheesiomurtuma ensimmäisen ja toisen pinnoitekerroksen välillä
	-/Y	adheesiomurtuma liiman ja pinnoitekerroksen välillä
	Y	liiman koheesiomurtuma.

Hilaristikkotartuntakokeen tulokset on arvosteltu standardin SFS-EN ISO 2409 mukaan asteikolla 0-5, jossa 0 on paras. Hilaristikkotestin tuloksen arviointi on kolmivaiheinen:



Ensimmäinen luku arvioidaan hilaristikon teon jälkeen, toinen harjauksen jälkeen ja kolmas teipin vedon jälkeen.

Viiltokokeessa terävällä veitsellä vedetään V-leikkaus maalikalvoon ja pyritään irrottamaan maalikalvo V:n ohuesta päästä. Jos maalikalvo irtoaa volemalla murusina, on tulos hyvä eli hyväksytty (+). Jos maalikalvon saa helposti nostettua irti alustasta kalvona, on tulos hylätty (-).



Kuva 12. Referenssikoelevyjä. Ylärivissä SaS-käsitellyt, keskivivillä Zn-fosfatoidut ja alarivissä silaanikäsitellyt koelevyt. Siniset koelevyt ovat liuotinhenteisellä EPPUR-maalilla maalattuja (ref.), vaaleanharmaat liuotinhenteisellä PUR-maalilla, punaiset vesiohenteisellä EPPUR-maalilla ja vihreät jauhemaalilla maalattuja koelevyjä. Vasemmanpuoleiset ovat alapiini ja oikeanpuoleiset keskipiini koelevyjä

Taulukoissa 8 - 11 on esitetty keskipiini referenssilevyjen irtiveto-, hilaristikko- sekä viiltokokeen tulokset.



Taulukko 8. Liuotinhenteisellä EPPUR-maalilla (ref.) maalattujen keskiin referenssilevyjen tartuntatuloksia.

Keskipii	SaS			Zn-fosfatoitu			Silaanikäsitelty		
	Irtiveto- lujuus, MPa	Murtumatyyppit		Irtiveto- lujuus, MPa	Murtumatyyppit		Irtiveto- lujuus, MPa	Murtumatyyppit	
EPPUR, liuote (Ref)	9,43	95 % B/C	5 % C/Y	10,57	95 % B/C	5 % C/Y	8,95	95 % A/B	5 % C/Y
	11,34	95 % B/C	5 % C/Y	9,49	95 % B/C	5 % C/Y	8,41	100 % A/B	
	8,38	95 % B/C	5 % C/Y	9,14	95 % B/C	5 % C/Y	8,89	100 % A/B	
<b>Ka</b>	<b>9,72</b>			<b>9,73</b>			<b>8,75</b>		
<b>Kuivatartunta</b>									
Hila, 2 mm	0,1,1			0,1,1			0,1,1		
Viilto	+			+			+		
<b>Märkätartunta</b>									
Hila, 2 mm	0,1,1			0,1,1			0,1,1		
Viilto	+			+			+		

Taulukko 9. Liuotinhenteisellä PUR-maalilla maalattujen keskiin referenssilevyjen tartuntatuloksia.

Keskipii	SaS			Zn-fosfatoitu			Silaanikäsitelty	
	Irtiveto- lujuus, MPa	Murtumatyyppit		Irtiveto- lujuus, MPa	Murtumatyyppit		Irtiveto- lujuus, MPa	Murtumatyyppit
PUR, liuote	17,61	50 % A	50 % B/Y	7,26	70 % A/B	30 % C/Y	8,09	100 % B/Y
	19,71	40 % A	60 % B	6,27	80 % A/B	20 % B/Y	8,47	100 % B/Y
	15,51	100 % B/Y		7,96	50 % A/B	50 % B/Y	5,22	100 % B/Y
<b>Ka</b>	<b>17,61</b>			<b>7,16</b>			<b>7,26</b>	
<b>Kuivatartunta</b>								
Hila, 2 mm	0,1,1			3,3,4			2,2,4	
Viilto	+			+			+	
<b>Märkätartunta</b>								
Hila, 2 mm	1,1,4			1,1,2			0,1,4	
Viilto	+			+			+	

Taulukko 10. Vesiohenteisella EPPUR-maalilla maalattujen keskipiin referenssilevyjen tartuntatuloksia.

Keskipii	SaS			Zn-fosfatoitu			Silaanikäsitelty	
	Irtiveto- lujuus, MPa	Murtumatyyppit		Irtiveto- lujuus, MPa	Murtumatyyppit		Irtiveto- lujuus, MPa	Murtumatyyppit
EPPUR, vesi	17,68	90 % B/C	10 % C/Y	13,92	90 % B/C	10 % C/Y	8,18	100 % A/B
	16,31	90 % B/C	10 % C/Y	16,11	95 % B/C	5 % C/Y	10,70	100 % A/B
	17,93	90 % B/C	10 % C/Y	16,08	90 % B/C	10 % C/Y	8,69	100 % A/B
<b>Ka</b>	<b>17,31</b>			<b>15,37</b>			<b>9,19</b>	
<b>Kuivatartunta</b>								
Hila, 2 mm	0,0,0			0,0,0			0,1,3	
Viilto	+			+			+	
<b>Märkätartunta</b>								
Hila, 2 mm	0,0,1			0,1,1			4,5,5	
Viilto	+			+			-	

Taulukko 11. Jauhemaalilla maalattujen keskipiin referenssilevyjen tartuntatuloksia.

Keskipii	SaS		Zn-fosfatoitu		Silaanikäsitelty		
	Irtiveto- lujuus, MPa	Murtumatyyppit	Irtiveto- lujuus, MPa	Murtumatyyppit	Irtiveto- lujuus, MPa	Murtumatyyppit	
Jauhe	10,73	100 % B/Y	12,58	100 % A/B	7,61	95 % A/B	5 % B/Y
	10,16	100 % B/Y	12,45	100 % A/B	7,07	95 % A/B	5 % B/Y
	6,31	100 % B/Y	11,05	100 % A/B	5,51	100 % A/B	
<b>Ka</b>	<b>9,07</b>		<b>12,03</b>		<b>6,73</b>		
<b>Kuivatartunta</b>							
Hila, 2 mm	0,0,0		0,0,0		0,0,2		
Viilto	+		+		+		
<b>Märkätartunta</b>							
Hila, 2 mm	0,0,0		0,0,0		4,4,4		
Viilto	+		+		-		

Taulukoissa 12 - 15 on esitetty alapiin referenssilevyjen koetulokset.

Taulukko 12. Liutinohteisella EPPUR-maalilla (ref.) maalattujen alapiin referenssilevyjen tartuntatuloksia; irtiveto-, hilaristikko- sekä viiltokoe.

Alapii	SaS			Zn-fosfatoitu			Silaanikäsitelty		
	Irtiveto-lujuus, MPa	Murtumatyyppit		Irtiveto-lujuus, MPa	Murtumatyyppit		Irtiveto-lujuus, MPa	Murtumatyyppit	
EPPUR, liuote (Ref.)	6,37	100 % A/B		10,54	100 % A/B		11,15	100 % A/B	
	9,24	95 % A/B	5 % B/Y	10,10	100 % A/B		11,53	100 % A/B	
	10,00	100 % A/B		9,84	100 % A/B		10,89	100 % A/B	
<b>Ka</b>	<b>8,54</b>			<b>10,16</b>			<b>11,19</b>		
<b>Kuivatartunta</b>									
Hila, 2 mm	0,1,1			0,1,1			0,1,1		
Viilto	+			+			+		
<b>Märkätartunta</b>									
Hila, 2 mm	0,1,1			0,0,1			0,1,1		
Viilto	+			+			+		

Taulukko 13. Liutinohteisella PUR-maalilla maalattujen alapiin referenssilevyjen tartuntatuloksia; irtiveto-, hilaristikko- sekä viiltokoe.

Alapii	SaS			Zn-fosfatoitu			Silaanikäsitelty		
	Irtiveto-lujuus, MPa	Murtumatyyppit		Irtiveto-lujuus, MPa	Murtumatyyppit		Irtiveto-lujuus, MPa	Murtumatyyppit	
PUR, liuote	6,27	90 % A	10 % B/Y	19,20	50 % B	50 % B/Y	15,10	5 % A 30 % B	65 % B/Y
	9,55	90 % A	10 % B/Y	8,18	60 % A/B	40 % B/Y	12,52	15 % B	85 % B/Y
	10,61	40 % A	60 % B/Y	10,96	70 % B/Y	30 % A/B	15,86	15 % B	85 % B/Y
<b>Ka</b>	<b>8,81</b>			<b>12,78</b>			<b>14,49</b>		
<b>Kuivatartunta</b>									
Hila, 2 mm	0,0,0			0,0,2			0,0,0		
Viilto	+			+			+		
<b>Märkätartunta</b>									
Hila, 2 mm	0,1,1			4,4,4			0,1,1		
Viilto	+			-			+		

Taulukko 14. Vesiohenteisella EPPUR-maalilla maalattujen alapiin referenssilevyjen tartuntatuloja; irtiveto-, hilaristikko- sekä viiltokoe.

Alapii	SaS			Zn-fosfatoitu			Silaanikäsitelty		
	Irtiveto-lujuus, MPa	Murtumatyyppit		Irtiveto-lujuus, MPa	Murtumatyyppit		Irtiveto-lujuus, MPa	Murtumatyyppit	
EPPUR, vesi	13,22	90 % B/C	10 % C/Y	17,48	95 % B/C	5 % C/Y	15,86	95 % B/C	5 % C/Y
	11,78	90 % B/C	10 % C/Y	17,04	90 % B/C	10 % C/Y	18,69	95 % B/C	5 % C/Y
	12,93	85 % B/C	15 % C/Y	16,24	100 % B/C		15,92	95 % B/C	5 % C/Y
<b>Ka</b>	<b>12,64</b>			<b>16,92</b>			<b>16,82</b>		
<b>Kuivatartunta</b>									
Hila, 2 mm	0,0,1			0,0,0			0,0,1		
Viilto	+			+			+		
<b>Märkätartunta</b>									
Hila, 2 mm	0,0,1			0,0,0			0,0,2		
Viilto	+			+			+		

Taulukko 15. Jauhemaalilla maalattujen alapiin referenssilevyjen tartuntatuloksia; irtiveto-, hilaristikko- sekä viiltokoe.

Alapii	SaS		Zn-fosfatoitu		Silaanikäsitelty		
	Irtiveto-lujuus, MPa	Murtumatyyppit	Irtiveto-lujuus, MPa	Murtumatyyppit	Irtiveto-lujuus, MPa	Murtumatyyppit	
Jauhe	7,61	100 % B/Y	9,97	100 % A/B	2,13	95 % A/B	5 % B/Y
	8,31	100 % B/Y	8,18	100 % A/B	-	irtosi poratessa	
	7,42	100 % B/Y	11,08	100 % A/B	3,85	90 % A/B	10 % B/Y
<b>Ka</b>	<b>7,78</b>		<b>9,74</b>		<b>2,99</b>		
<b>Kuivatartunta</b>							
Hila, 2 mm	0,0,0		0,0,0		3,3,4		
Viilto	+		+		-		
<b>Märkätartunta</b>							
Hila, 2 mm	1,1,1		0,0,0		5		
Viilto	+		-		-		

## 10.2 Kondensaatiotesti

Kondensaatiokaapissa olleiden koelevyjen (kuva 13) maalikalvon kiinnipysyvyyttä arviointiin standardin SFS-EN ISO 4628 mukaisesti ja tulokset täyttivät ISO 12944-6 vaatimukset rakkuloitumisen 0(S0), ruostumisen Ri(0), halkeilun 0(S0) sekä hilseilyn 0(S0) suhteen.

Koelevyjä vertailtiin käytännössä maalikalvon rakkuloitumisen sekä irtivetokokeiden perusteella. Irtivetokokeen tuloksia verrattiin referenssilevyjen vastaaviin tuloksiin.

Taulukoissa 16 - 18 on kondensaatiokaapissa olleiden liuotinhenteisellä EPPUR-maalilla (ref.) maalattujen keskiin koelevyjen rakkuloituminen ja irtivetokokeen tulokset. Irtivetokokeen tuloksia on verrattu referenssi- eli koestamattomien koelevyjen tuloksiin (taulukko 8 sivulla 20).



Kuva 13. Kondensaatiokaapissa olleita koelevyjä. Ylärivissä on SaS-käsitelyjä, keskimmäisessä Zn-fosfatoituja ja alarivissä silaanikäsiteltyjä koelevyjä. Siniset koelevyt ovat liuotinhenteisellä EPPUR-maalilla maalattuja (ref.), vaaleanharmaat liuotinhenteisellä PUR-maalilla, punaiset vesiohenteisellä EPPUR-maalilla ja vihreät jauhemaalilla maalattuja koelevyjä. Vasemmanpuoleiset ovat alapiini ja oikeanpuoleiset keskiin koelevyjä.

Taulukko 16. Pyyhkäisy puhdistettujen ja liuotinhenteisellä EPPUR-maalilla (ref.) maalattujen keskiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Keskipii	EPPUR, liuote (ref.)				
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyyppit	
SaS	CT11F043	ei	5,92	95 % A/B	5 % C/Y
			5,48	95 % A/B	5 % C/Y
			5,35	100 % B/C	
	CT11F044	ei	6,91	95 % A/B	5 % C/Y
			5,13	100 % A/B	
			5,99	100 % A/B	
	CT11F045	ei	6,15	95 % A/B	5 % C/Y
			7,17	100 % A/B	
			6,85	95 % A/B	5 % C/Y
<b>Ka</b>			<b>6,11</b>		
<b>Koestamaton Ka</b>			<b>9,72</b>		
<b>Erotus</b>			<b>-3,61</b>		

Taulukko 17. Zn-fosfatoitujen ja liuotinhenteisellä EPPUR-maalilla (ref.) maalattujen keskipiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Keskipii	EPPUR, liuote (ref.)				
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyyppit	
Zn-fosfatointi	CT11F040	5 (S1)	12,04	95 % B/C	5 % C/Y
			13,5	95 % B/C	5 % C/Y
			12,36	95 % B/C	5 % C/Y
	CT11F041	5 (S1)	9,14	95 % B/C	5 % C/Y
			10,76	95 % B/C	5 % C/Y
			10,83	95 % B/C	5 % C/Y
	CT11F042	5 (S1)	10,83	100 % B/C	
			10,32	95 % B/C	5 % C/Y
			10,22	95 % B/C	5 % C/Y
<b>Ka</b>			<b>11,11</b>		
<b>Koestamaton Ka</b>			<b>9,73</b>		
<b>Erotus</b>			<b>1,38</b>		

Taulukko 18. Silaanikäsiteltyjen ja liuotinhenteisellä EPPUR-maalilla (ref.) maalattujen keskipiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Keskipii	EPPUR, liuote (ref.)			
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyyppit
Silaanikäsitteily	CT11F046	ei	2,74	100 % A/B
			2,55	100 % A/B
			0,13	100 % A/B
	CT11F047	ei	4,97	100 % A/B
			2,71	100 % A/B
			3,63	100 % A/B
	CT11F048	ei	5	100 % A/B
			2,29	100 % A/B
			-	irtosi poratessa: 100 % A/B
<b>Ka</b>			<b>3,00</b>	
<b>Koestamaton Ka</b>			<b>8,75</b>	
<b>Erotus</b>			<b>-5,75</b>	



Taulukoissa 19 - 21 on kondensaatiokaapissa olleiden liuotinhenteisellä PUR-maalilla maalattujen keskipiin koelevyjen rakkuloituminen ja irtivetokokeen tulokset. Irtivetokokeen tuloksia on verrattu referenssi- eli koestamattomien koelevyjen tuloksiin (taulukko 9 sivulla 20).

Taulukko 19. Pyyhkäisypuhdistettujen ja liuotinhenteisellä PUR-maalilla maalattujen keskipiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Keskipii	PUR, liuote				
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyypit	
SaS	CT11F061	ei	23,44	95 % B	5 % B/Y
			23,6	50 % B	50 % B/Y
			25,7	90 % B	10 % B/Y
	CT11F062	ei	27,58	95 % B	5 % B/Y
			27,74	50 % B	50 % B/Y
			21,43	90 % B	10 % B/Y
	CT11F063	ei	23,69	40 % B	60 % B/Y
			23,44	50 % B	50 % B/Y
			21,88	90 % B	10 % B/Y
<b>Ka</b>			<b>24,28</b>		
<b>Koestamaton Ka</b>			<b>17,61</b>		
<b>Erotus</b>			<b>6,67</b>		

Taulukko 20. Zn-fosfatoitujen ja liuotinhenteisellä PUR-maalilla maalattujen keskiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Keskipii	PUR, liuote					
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyytit		
Zn-fosfatointi	CT11F058	4 (S1)	7,74	90 % A/B	10 % B/Y	
			7,07	95 % A/B	5 % B/Y	
			10,61	95 % A/B	5 % B/Y	
	CT11F059	5 (S1)	3,57	100 % A/B		
			4,01	100 % A/B		
			7,83	95 % A/B	5 % B/Y	
	CT11F060	4 (S1)	3,79	100 % A/B		
			7,61	95 % A/B	5 % B/Y	
			4,01	100 % A/B		
	<b>Ka</b>			<b>6,25</b>		
	<b>Koestamaton Ka</b>			<b>7,16</b>		
	<b>Erotus</b>			<b>-0,91</b>		

Taulukko 21. Silaanikäsiteltyjen ja liuotinhenteisellä PUR-maalilla maalattujen keskipiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset..

Keskipii	PUR, liuote				
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyyppit	
Silaanikäsitteily	CT11F064	ei	5,32	100 % A/B	
			11,34	95 % A/B	5 % B/Y
			4,2	95 % B	5 % B/Y
	CT11F065	ei	17,8	90 % A/B	10 % B/Y
			17,77	90 % A/B	10 % B/Y
			16,75	90 % A/B	10 % B/Y
	CT11F066	ei	7,87	100 % A/B	
			8,73	100 % A/B	
			6,08	100 % A/B	
<b>Ka</b>			<b>10,65</b>		
<b>Koestamaton Ka</b>			<b>7,26</b>		
<b>Erotus</b>			<b>3,39</b>		

Taulukoissa 22 - 24 on kondensaatiokaapissa olleiden vesiohenteisella EPPUR-maalilla maalattujen keskiin koelevyjen rakkuloituminen ja irtivetokokeen tulokset. Irtivetokoetta ei pystytty tekemään maalikalvon kuplimisen takia suurelle osalle tämän maaliyhdistelmän koelevyistä. Saatuja tuloksia on verrattu referenssi- eli koestamattomien koelevyjen tuloksiin (taulukko 10 sivulla 21).

Taulukko 22. Pyyhkäisy puhdistettujen ja vesiohenteisella EPPUR-maalilla maalattujen keskiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Keskipii	EPPUR, vesi				
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyyppit	
SaS	CT11F079	5 (S1)	ei tehty		
	CT11F080	5 (S1)	11,08	95 % A/B	5 % B/Y
			11,82	95 % A/B	5 % B/Y
			10,25	95 % A/B	5 % B/Y
	CT11F081	5 (S1)	13,41	90 % A/B	10 % C/Y
			13,25	90 % A/B	10 % C/Y
			12,93	90 % A/B	10 % C/Y
	<b>Ka</b>			<b>12,12</b>	
	<b>Koestamaton Ka</b>			<b>17,31</b>	
<b>Erotus</b>			<b>-5,19</b>		

Taulukko 23. Zn-fosfatoitujen ja vesiohenteisella EPPUR-maalilla maalattujen keskipiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Keskipii	EPPUR, vesi			
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyyppit
Zn-fosfatointi	CT11F076	5 (S2)	ei tehty	
	CT11F077	5 (S2)	ei tehty	
	CT11F078	5 (S2)	ei tehty	
<b>Ka</b>			-	
<b>Koestamaton Ka</b>			15,37	
<b>Erotus</b>			-	

Taulukko 24. Silaanikäsiteltyjen ja vesiohenteisella EPPUR-maalilla maalattujen keskipiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Keskipii	EPPUR, vesi			
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyyppit
Silaanikäsitely	CT11F082	5 (S3)	ei tehty	
	CT11F083	5 (S3)	ei tehty	
	CT11F084	5 (S3)	ei tehty	
<b>Ka</b>			-	
<b>Koestamaton Ka</b>			9,19	
<b>Erotus</b>			-	

Taulukoissa 25 - 27 on kondensaatiokaapissa olleiden jauhemaalilla maalattujen keskiin koelevyjen rakkuloituminen ja irtivetokokeen tulokset. Irtivetokokeen tuloksia on verrattu referenssi- eli koestamattomien koelevyjen tuloksiin (taulukko 11 sivulla 21).

Taulukko 25. Pyyhkäisy puhdistettujen ja jauhemaalilla maalattujen keskiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Keskipii	Jauhe				
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyyppit	
SaS	CT11F097	ei	7,99	100 % B/Y	
			9,11	95 % B/Y	5 % A/B
			10,61	100 % B/Y	
	CT11F098	ei	9,17	100 % B/Y	
			8,69	100 % B/Y	
			9,81	100 % B/Y	
	CT11F099	ei	8,15	100 % B/Y	
			9,71	100 % B/Y	
			10,54	100 % B/Y	
<b>Ka</b>			<b>9,31</b>		
<b>Koestamaton Ka</b>			<b>9,07</b>		
<b>Erotus</b>			<b>0,24</b>		

Taulukko 26. Zn-fosfatoitujen ja jauhemaalilla maalattujen keskipiin koelevyjen kondensaatio-testin tulokset.

Keskipii	Jauhe			
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyytit
Zn-fosfatointi	CT11F094	ei	9,33	100 % B/Y
			10,1	100 % B/Y
			11,97	100 % B/Y
	CT11F095	ei	8,22	100 % B/Y
			10,76	100 % B/Y
			10	100 % B/Y
	CT11F096	ei	7,99	100 % B/Y
			8,6	100 % B/Y
			8,22	100 % B/Y
<b>Ka</b>			<b>9,47</b>	
<b>Koestamaton Ka</b>			<b>12,03</b>	
<b>Erotus</b>			<b>-2,56</b>	

Taulukko 27. Silaanikäsiteltyjen ja jauhemaalilla maalattujen keskiin koelevyjen kondensaatio-testin tulokset.

Keskipii	Jauhe			
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyytit
Silaanikäsitteily	CT11F100	ei	5,57	100 % B/Y
			-	irtosi poratessa: 100 % A/B
			-	irtosi poratessa: 100 % A/B
	CT11F101	ei	-	irtosi poratessa: 100 % A/B
			3,03	100 % B/Y
			1,4	100 % B/Y
	CT11F102	ei	3,85	100 % B/Y
			5,48	100 % B/Y
			2,68	100 % B/Y
<b>Ka</b>			<b>3,67</b>	
<b>Koestamaton Ka</b>			<b>6,73</b>	
<b>Erotus</b>			<b>-3,06</b>	



Taulukoissa 28 - 30 on kondensaatiokaapissa olleiden liuotinhenteisellä EPPUR-maalilla (ref.) maalattujen alapiin koelevyjen rakkuloituminen ja irtivetokokeen tulokset. Irtivetokokeen tuloksia on verrattu referenssi- eli koestamattomien koelevyjen tuloksiin (taulukko 12 sivulla 22).

Taulukko 28. Pyyhkäisypuhdistettujen ja liuotinhenteisellä EPPUR-maalilla (ref.) maalattujen alapiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Alapii	EPPUR, liuote (ref.)				
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyytit	
SaS	CT11F052	5 (S1)	4,81	90 % A/B	10 % C/Y
			4,14	100 % A/B	
			5,03	95 % A/B	5 % C/Y
	CT11F053	5 (S1)	4,87	100 % A/B	
			4,78	95 % A/B	5 % C/Y
			4,87	100 % A/B	
	CT11F054	5 (S1)	4,39	100 % A/B	
			2,93	95 % A/B	5 % C/Y
			4,59	95 % A/B	5 % C/Y
<b>Ka</b>			<b>4,49</b>		
<b>Koestamaton Ka</b>			8,54		
<b>Erotus</b>			<b>-4,05</b>		

Taulukko 29. Zn-fosfatoitujen ja liuotinhenteisellä EPPUR-maalilla (ref.) maalattujen alapiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Alapii	EPPUR, liuote (ref.)						
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyypit			
Zn-fosfatointi	CT11F049	ei	8,15	95 % B/C	5 % C/Y		
			7,61	95 % B/C	5 % C/Y		
			7,64	30 % A/B	65 % B/C	5 % B/Y	
	CT11F050	ei	10,06	95 % B/C	5 % C/Y		
			7,42	95 % B/C	5 % C/Y		
			9,24	95 % B/C	5 % C/Y		
	CT11F051	ei	7,96	95 % B/C	5 % C/Y		
			9,9	95 % B/C	5 % C/Y		
			9,52	95 % B/C	5 % C/Y		
	<b>Ka</b>			<b>8,61</b>			
	<b>Koestamaton Ka</b>			10,16			
	<b>Erotus</b>			<b>-1,55</b>			

Taulukko 30. Silaanikäsiteltyjen ja liuotinhenteisellä EPPUR-maalilla (ref.) maalattujen alapiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Alapii	EPPUR, liuote (ref.)			
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyyppit
Silaanikäsitteily	CT11F055	3 (S1)	-	irtosi poratessa: 100 % A/B
			-	irtosi poratessa: 100 % A/B
			-	irtosi poratessa: 100 % A/B
	CT11F056	3 (S1)	-	irtosi poratessa: 100 % A/B
			1,05	100 % A/B
			1,59	100 % A/B
	CT11F057	3 (S1)	-	irtosi poratessa: 100 % A/B
			5,22	100 % A/B
			-	irtosi poratessa: 100 % A/B
<b>Ka</b>			<b>2,62</b>	
<b>Koestamaton Ka</b>			11,19	
<b>Erotus</b>			<b>-8,57</b>	

Taulukoissa 31 - 33 on kondensaatiokaapissa olleiden liuotinhenteisellä PUR-maalilla maalattujen alapiin koelevyjen rakkuloituminen ja irtivetokokeen tulokset. Irtivetokokeen tuloksia on verrattu referenssi- eli koestamattomien koelevyjen tuloksiin (taulukko 13 sivulla 22).

Taulukko 31. Pyyhkäisy puhdistettujen ja liuotinhenteisellä PUR-maalilla maalattujen alapiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Alapii	PUR, liuote					
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyypit		
SaS	CT11F070	ei	23,95	95 % B	5 % B/Y	
			19,3	5 % B	95 % B/Y	
			23,5	80 % B	20 % B/Y	
	CT11F071	ei	21,72	90 % B	5 % B/Y	5 % A
			21,56	60 % B	35 % B/Y	5 % A
			19,08	90 % B	5 % B/Y	5 % A
	CT11F072	ei	16,4	50 % B	30 % B/Y	20 % A
			15,48	70 % B	30 % A	
			14,46	70 % B	30 % A	
	<b>Ka</b>			<b>19,49</b>		
<b>Koestamaton Ka</b>			8,81			
<b>Erotus</b>			<b>10,68</b>			

Taulukko 32. Zn-fosfatoitujen ja liuotinhenteisellä PUR-maalilla maalattujen alapiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Alapii	PUR, liuote			
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyytit
Zn-fosfatoihti	CT11F067	5 (S2)	2,23	100 % A/B
			1,11	100 % A/B
			2,36	100 % A/B
	CT11F068	5 (S2)	-	irtosi poratessa: 100 % A/B
			-	irtosi poratessa: 100 % A/B
			-	irtosi poratessa: 100 % A/B
	CT11F069	5 (S2)	2,64	100 % A/B
			2,23	100 % A/B
			-	irtosi poratessa: 100 % A/B
<b>Ka</b>			<b>2,11</b>	
<b>Koestamaton Ka</b>			12,78	
<b>Erotus</b>			<b>-10,67</b>	

Taulukko 33. Silaanikäsiteltyjen ja liuotinhenteisellä PUR-maalilla maalattujen alapiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Alapii	PUR, liuote				
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyyppit	
Silaanikäsitteily	CT11F073	ei	17,83	100 % B	
			19,75	85 % B	15 % B/Y
			17,04	100 % B	
	CT11F074	ei	18,12	100 % B	
			14,14	40 % B	60 % B/Y
			15,83	100 % B	
	CT11F075	ei	18,03	100 % B	
			17,74	50 % B	50 % B/Y
			18,15	100 % B	
<b>Ka</b>			<b>17,40</b>		
<b>Altistamaton Ka</b>			14,49		
<b>Erutus</b>			<b>2,91</b>		

Taulukoissa 34 - 36 on kondensaatiokaapissa olleiden vesiohenteisella EPPUR-maalilla maalattujen alapiin koelevyjen rakkuloituminen ja irtivetokokeen tulokset. Irtive-  
tokoetta ei pystytty tekemään maalikalvon kuplimisen takia suurelle osalle tämän maa-  
liyhdistelmän koelevyistä. Saatuja tuloksia on verrattu referenssi- eli koestamattomien  
koelevyjen tuloksiin (taulukko 14 sivulla 23).

Taulukko 34. Pyyhkäisy puhdistettujen ja vesiohenteisella EPPUR-maalilla maalattujen alapiin  
koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Alapii	EPPUR, vesi			
	Koelevynro.	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyyppit
SaS	CT11F088	5 (S2)	ei tehty	
	CT11F089	5 (S2)	ei tehty	
	CT11F090	5 (S2)	ei tehty	
Ka			-	
Koestamaton Ka			12,64	
Erotus			-	

Taulukko 35. Zn-fosfatoitujen ja vesiohenteisella EPPUR-maalilla maalattujen alapiin koelevyjen  
kondensaatiotestin tulokset.

Alapii	EPPUR, vesi			
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyyppit
Zn-fosfatoi	CT11F085	5 (S3)	ei tehty	
	CT11F086	5 (S3)	ei tehty	
	CT11F087	5 (S3)	ei tehty	
Ka			-	
Koestamaton Ka			16,92	
Erotus			-	

Taulukko 36. Silaanikäsiteltyjen ja vesiohenteisella EPPUR-maalilla maalattujen alapiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Alapii	EPPUR, vesi			
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyyppit
Silaanikäsitteily	CT11F091	5 (S3)	ei tehty	
	CT11F092	5 (S3)	ei tehty	
	CT11F093	5 (S3)	ei tehty	
<b>Ka</b>			-	
<b>Koestamaton Ka</b>			16,82	
<b>Erotus</b>			-	



Taulukoissa 37 - 39 on kondensaatiokaapissa olleiden jauhemaalilla maalattujen alapiin koelevyjen rakkuloituminen ja irtivetokokeen tulokset. Irtivetokokeen tuloksia on verrattu referenssi- eli koestamattomien koelevyjen tuloksiin (taulukko 15 sivulla 23).

Taulukko 37. Pyyhkäisy puhdistettujen ja jauhemaalilla maalattujen alapiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Alapii	Jauhe				
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyytit	
SaS	CT11F106	ei	11,69	100 % B/Y	
			1,24	100 % B/Y	(liimauksessa vikaa)
			11,37	100 % B/Y	
	CT11F107	ei	5,03	100 % B/Y	
			9,46	100 % B/Y	
			7,61	100 % B/Y	
	CT11F108	ei	7,45	100 % B/Y	
			8,54	5 % A	95 % B/Y
			8,31	100 % B/Y	
<b>Ka</b>			<b>7,86</b>		
<b>Koestamaton Ka</b>			7,78		
<b>Erotus</b>			<b>0,08</b>		

Taulukko 38. Zn-fosfatoitujen ja jauhemaalilla maalattujen alapiin koelevyjen kondensaatiotestin tulokset.

Alapii	Jauhe			
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyyppit
Zn-fosfatointi	CT11F103	ei	7,55	100 % B/Y
			6,62	100 % B/Y
			6,56	100 % B/Y
	CT11F104	ei	4,84	100 % B/Y
			7,64	100 % B/Y
			7,45	100 % B/Y
	CT11F105	ei	10,96	100 % B/Y
			8,45	100 % B/Y
			13,12	100 % B/Y
<b>Ka</b>			<b>8,13</b>	
<b>Koestamaton Ka</b>			9,74	
<b>Erotus</b>			<b>-1,61</b>	

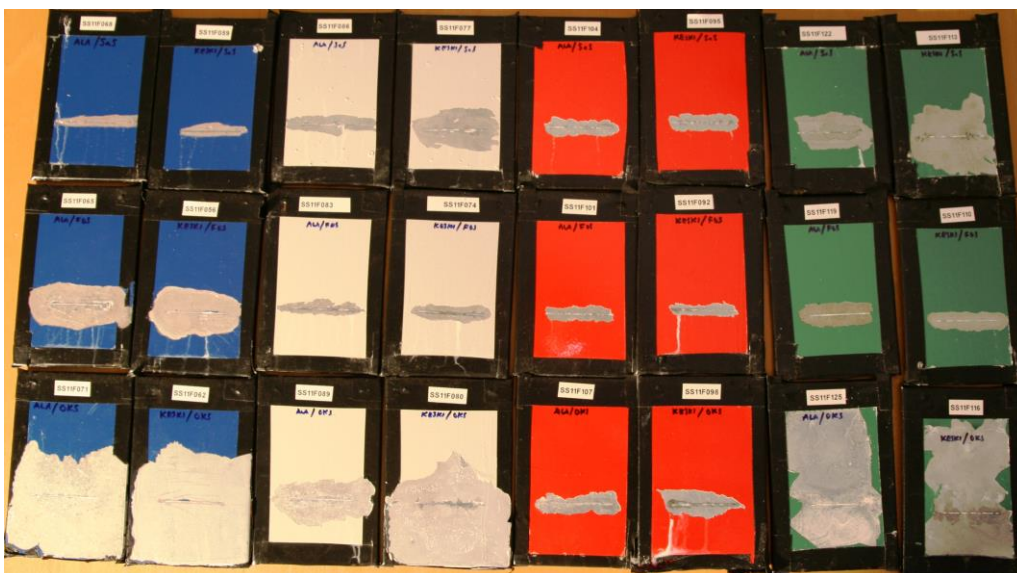
Taulukko 39. Silaanikäsiteltyjen ja jauhemaalilla maalattujen alapiin koelevyjen kondensaatio-testin tulokset.

Alapii	Jauhe				
	Koelevynro	Rakkulat/ 480 h	Irtivetolujuus, MPa	Murtumatyytit	
Silaanikäsitteily	CT11F109	ei	-	irtosi poratessa: 100 % A/B	
			4,27	100 % A/B	
			3,76	100 % A/B	
	CT11F110	ei	4,81	95 % A/B	5 % B/Y
			6,56	50 % A/B	50 % B/Y
			6,62	95 % A/B	5 % B/Y
	CT11F111	ei	3,41	100 % A/B	
			-	irtosi poratessa: 100 % A/B	
			-	irtosi poratessa: 100 % A/B	
	<b>Ka</b>			<b>4,91</b>	
<b>Koestamaton Ka</b>			2,99		
<b>Erotus</b>			<b>1,92</b>		

### 10.3 Suolasumutesti

Suolasumukoestuksessa olleet koelevyt arvioitiin standardin ISO 4628 mukaisesti, ja ne täyttivät standardin ISO 12944-6 vaatimukset rakkuloitumisen 0(S0), ruostumisen Ri(0), halkeilun 0(S0) sekä hilseilyn 0(S0) suhteen.

Suolasumukokeiden tulokset (kuva 14) arvioitiin mittaamalla alue, jolta maali irtosi helposti veitsellä. Pituus mitattiin viillosta ylös- ja alaspäin, ja ilmoitettu pituus on suurin etäisyys kiinnipysyvän maalin reunasta viiltoon saakka. Tulokset on esitetty taulukoissa 40 ja 41 (s. 48).



Kuva 14. Suolasumukoestuksessa olleita levyjä. Ylärivissä on SaS-käsiteltyjä, keskimmaisessä Zn-fosfatoituja ja alarivissä silaanikäsiteltyjä koelevyjä. Siniset koelevyt ovat liuotinhenteisellä EPPUR-maalilla maalattuja (ref.), vaaleanharmaat liuotinhenteisellä PUR-maalilla, punaiset vesiohenteisellä EPPUR-maalilla ja vihreät jauhemaalilla maalattuja koelevyjä. Vasemmanpuoleiset ovat alapiin ja oikeanpuoleiset keskipiin koelevyjä.

Taulukko 40. Suolasumukoestuksen tulokset keskiin koelevyillä.

KESKIPII	Sas			Zn-fosfatointi			Silaanikäsitteily		
	Maalin irtoaminen viillosta			Maalin irtoaminen viillosta			Maalin irtoaminen viillosta		
Maalaus-yhdistelmä	Koelevy-nro	Ylös-päin, mm	Alas-päin, mm	Koelevy-nro	Ylös-päin, mm	Alas-päin, mm	Koelevy-nro	Ylös-päin, mm	Alas-päin, mm
EPPUR, liuote (ref.)	SS11F057	6	8	SS11F054	17	15	SS11F060	11	13
	SS11F058	4	4	SS11F055	20	17	SS11F061	33	50
	SS11F059	7	4	SS11F056	20	22	SS11F062	45	50
PUR, liuote	SS11F075	18	12	SS11F072	8	6	SS11F078	19	50
	SS11F076	20	17	SS11F073	4	5	SS11F079	37	50
	SS11F077	19	17	SS11F074	8	7	SS11F080	42	50
EPPUR, vesi	SS11F093	7	6	SS11F090	5	5	SS11F096	15	11
	SS11F094	8	9	SS11F091	6	5	SS11F097	9	9
	SS11F095	8	7	SS11F092	6	5	SS11F098	10	11
Jauhe	SS11F111	42	40	SS11F108	8	18	SS11F114	77	33
	SS11F112	18	18	SS11F109	9	8	SS11F115	75	50
	SS11F113	37	50	SS11F110	7	9	SS11F116	75	50

Taulukko 41. Suolasumukoestuksen tulokset alapiin koelevyillä.

ALAPII	Sas			Zn-fosfatointi			Silaanikäsitteily		
	Maalin irtoaminen viillosta			Maalin irtoaminen viillosta			Maalin irtoaminen viillosta		
Maalaus-yhdistelmä	Koelevy-nro	Ylös-päin, mm	Alas-päin, mm	Koelevy-nro	Ylös-päin, mm	Alas-päin, mm	Koelevy-nro	Ylös-päin, mm	Alas-päin, mm
EPPUR, liuote (ref.)	SS11F066	9	15	SS11F063	22	50	SS11F069	42	21
	SS11F067	8	9	SS11F064	18	17	SS11F070	51	31
	SS11F068	7	3	SS11F065	18	21	SS11F071	41	50
PUR, liuote	SS11F084	6	7	SS11F081	7	6	SS11F087	14	10
	SS11F085	9	14	SS11F082	9	8	SS11F088	13	14
	SS11F086	9	9	SS11F083	9	4	SS11F089	19	22
EPPUR, vesi	SS11F102	7	8	SS11F099	8	7	SS11F105	13	12
	SS11F103	9	9	SS11F100	5	6	SS11F106	11	7
	SS11F104	7	7	SS11F101	7	6	SS11F107	10	8
Jauhe	SS11F120	10	13	SS11F117	9	9	SS11F123	75	50
	SS11F121	22	18	SS11F118	10	10	SS11F124	75	50
	SS11F122	18	14	SS11F119	10	10	SS11F125	75	50

## 11 Tulosten tarkastelu

### 11.1 Teräksen piipitoisuuden vaikutus

Taulukossa 42 on vertailtu referenssikäsiteltyjen, eli liuotinhohenteisella EPPUR-maalilla maalattujen ja pyyhkäisypuhdistettujen koelevyjen kondensaatiotestin tuloksia keski- ja alapiin koelevyillä. Alapiin teräksellä maalin tartunta alustaan oli heikompaa jo ennen koestusta: irtivetokokeen tuloksena murtumatyyppi oli A/B, kun keskipiin teräksellä se oli B/C. Kondensaatiokoestuksessa maalikalvo rakkuloitui alapiin teräksellä (5 (S1)), kun keskipiin teräksellä yhdistelmä läpäisi testin. Toinen yhdistelmä, jossa keskipiin teräs oli rakkuloitumisen suhteen alapiin terästä parempi, oli silaanikäsitelty ja liuotinhohenteisella EPPUR-maalilla maalattu koelevy. Muissa yhdistelmissä teräksen piipitoisuudella ei ollut vaikutusta maalausjärjestelmän kestävyYTEEN.

Taulukko 42. Teräksen piipitoisuuden vaikutus pyyhkäisysuihkupuhdistettujen ja liuotinhohenteisellä EPPUR-maalilla (ref.) maalattujen koelevyjen kondensaatiotestin tuloksiin.

Liuotinhohenteinen EPPUR-maali (ref.), SaS			
Ominaisuus		Keskipii	Alapii
Murto- lujuus, MPa	Ennen koetta	9,72	8,54
	Kokeen jälkeen	6,11	4,49
	Muutos, +/-	-3,61	-4,05
Yleisin murtumatyyppi ennen koetta		95 % B/C, 5 % C/Y	100 % A/B
Yleisin murtumatyyppi kokeen jälkeen		95 % A/B, 5 % C/Y	95 % A/B, 5 % C/Y
Rakkuloituminen / 480 h		ei	5 (S1)

Suolasumutestin tuloksista selkeimmän kuvan ala- ja keskipiin terästen eroista antaa tulososion kuva 14 (s. 50). Taulukossa 43 on verrattu maalin irtoamista viillosta ja ilmoitettu, kummalla teräksellä tulos oli parempi. Tuloksissa ei ollut suuria eroja terästen välillä. Ainoastaan liuotinhohenteisella EPPUR-maalilla (ref.) maalattujen keskipiin koelevyjen tulokset olivat parempia kuin alapiin levyjen esikäsitteystä riippumatta.

Taulukko 43. Keski- ja alapiin terästen suolasumukoestuksen tuloksien vertailu. Taulukkoon on merkitty teräs, jolla on ollut parempi maalin kiinnipysyvyys viilossa ilmoitetun maalin ja esikäsitelty yhdistelmällä.

<b>Maalaus-yhdistelmä</b>	<b>Sas</b>	<b>Zn-fosfointi</b>	<b>Silaani-käsitelty</b>
<b>EPPUR, liuote (ref.)</b>	keskipii	keskipii	keskipii
<b>PUR, liuote</b>	alapii	keskipii	alapii
<b>EPPUR, vesi</b>	keskipii	keskipii	alapii
<b>Jauhe</b>	alapii	alapii	keskipii

Keskipiin teräksillä saatiin hieman parempia tuloksia kuin alapiin teräksillä, mikä johtui todennäköisesti keskipiiterästen suuremmasta pinnankarheudesta, joka parantaa maalin tartuntaa.

## 11.2 Esikäsitelymenetelmien ja maaliyhdistelmien vertailu

### 11.2.1 Kondensaatiotesti

Taulukoissa 44 ja 45 on yhteenveto kondensaatiotestin koetuloksista. Vertailussa on otettu huomioon koelevyjen rakkuloituminen sekä irtivetokokeen tulokset eli irtivetolujuus ja murtumatyyppi, joista suurin painoarvo oli rakkuloitumisella. Jos kokeen tulos on ollut hyväksyttävä rakkuloitumisen suhteen, se on saanut 2 pistettä. Vetokoetulos on ollut hyväksyttävä, jos jännitys on ollut yli 5 MPa tai murtumatyyppi on ollut jokin muu kuin A/B. Hyväksyttävä irtivetolujuus on saanut yhden pisteen. Jos tulos ei ole hyväksyttävä, pisteitä tulee 0. Tämä vertailu tuottaa selkeitä eroja maalien välille: jauhemaali on ollut paras ja vesiohenteinen EPPUR-yhdistelmä huonoin. Esikäsitelyiden osalta erot eivät ole suuria; vain pyyhkäisysuihkupuhdistus erottuu keskipiin teräksellä parhaimpana.

Liitteessä 1 on esitetty esikäsiteltyyn vaikutus maaliyhdistelmien kestävyyskondensaatiokokeessa sekä keski- että alapiin teräksille.

Taulukko 44. Keskipiin teräksen kondensaatiotestin koetulosten vertailu.

Keskipii	EPPUR, liuote (ref.)		PUR, liuote		EPPUR, vesi		Jauhemaali		Yht.
	Rakku-loitumi-nen	Tartun-ta	Rakku-loitumi-nen	Tartun-ta	Rakku-loitumi-nen	Tartun-ta	Rakku-loitumi-nen	Tartun-ta	
<b>SaS</b>	2	1	2	1	0	1	2	1	<b>10</b>
<b>Zn-fosfointi</b>	0	1	0	1	0	0	2	1	<b>5</b>
<b>Silaani-käsittely</b>	2	0	2	1	0	0	2	0	<b>7</b>
<b>Yht.</b>	<b>6</b>		<b>7</b>		<b>1</b>		<b>8</b>		

Taulukko 45. Alapiin teräksen kondensaatiotestin koetulosten vertailu.

Alapii	EPPUR, liuote (ref.)		PUR, liuote		EPPUR, vesi		Jauhemaali		Yht.
	Rakku-loitumi-nen	Tartun-ta	Rakku-loitumi-nen	Tartun-ta	Rakku-loitumi-nen	Tartun-ta	Rakku-loitumi-nen	Tartun-ta	
<b>SaS</b>	0	0	2	1	0	0	2	1	<b>6</b>
<b>Zn-fosfointi</b>	2	1	0	0	0	0	2	1	<b>6</b>
<b>Silaani-käsittely</b>	0	0	2	1	0	0	2	1	<b>6</b>
<b>Yht.</b>	<b>3</b>		<b>6</b>		<b>0</b>		<b>9</b>		

### 11.2.2 Suolasumutesti

Suolasumutestin tuloksien perusteella määriteltiin paremmuusjärjestys sekä keski- että alapiin koelevyille (taulukot 46 ja 47, s. 52). Vertailu tehtiin laskemalla yhteen kolmen rinnakkaislevyn maalin irtoamisetäisyys (mm) sekä ala- että yläsuuntaan viillosta. Saatua etäisyyksiä verrattiin muiden koelevyjen vastaaviin tuloksiin. Vertailussa sinkkifosfointi ja pyyhkäisysuihkupuhdistus menestyivät selvästi silaanikäsitteilyä paremmin. Maaleista vesiohenteisen EPPUR-yhdistelmän tulos oli paras ja jauhemaaloin huonoin. Maalien osalta tulos on päinvastainen kuin kondensaatiotestissä. Yleisesti kondensaatiotestin tulosten uskotaan vastaavan paremmin säärasitusolosuhteita kuin suolasumutestin.



Taulukko 46. Maalausyhdistelmien sekä esikäsitteilyiden vaikutus maalin irtoamiseen viillosta suolasumutestissä sekä irtoamisen mukainen paremmuusjärjestys suolasumutestin keskipiin koelevyillä.

Keskipii	SaS, mm	Zn-fosfointi, mm	Silaani-käsittely, mm	Yhteensä, mm	Sija
EPPUR, liuote	33	111	202	346	2.
PUR, liuote	103	38	248	389	3.
EPPUR, vesi	45	32	65	142	1.
Jauhemaali	205	59	360	624	4.
Yht.	386	240	875		
Sija	2.	1.	3.		

Taulukko 47. Maalausyhdistelmien sekä esikäsitteilyiden vaikutus maalin irtoamiseen viillosta suolasumutestissä sekä irtoamisen mukainen paremmuusjärjestys alapiin koelevyillä.

Alapii	SaS, mm	Zn-fosfointi, mm	Silaani-käsittely, mm	Yhteensä, mm	Sija
EPPUR, liuote	51	146	236	433	3.
PUR, liuote	54	43	92	189	2.
EPPUR, vesi	47	39	61	147	1.
Jauhemaali	95	58	375	528	4.
Yht.	247	286	764		
Sija	1.	2.	3.		

## 12 Johtopäätökset

Tehtyjen testien perusteella maalausjärjestelmien korroosiosuojauskyvyssä ei ollut suuria eroja keski- ja alapiin terästen välillä. Keskipiin teräkset menestyivät hieman paremmin. Tulosten perusteella voidaan todeta, että muilla kuumasinkityn teräksen maalausjärjestelmillä voidaan päästä vähintään yhtä hyvään korroosiosuojaan kuin yleisimmin käytetyillä pyyhkäisysuihkupuhdistuksella ja liuoteohenteisella EPPUR-maaliyhdistelmällä. Selkeästi parasta maalausjärjestelmää ei voida nimetä, vaan vaihtelua aiheuttavat sekä esikäsitteily- että testausmenetelmä.

Kondensaatiotestin perusteella paras yhdistelmä keskipiin teräksille on pyyhkäisysuihkupuhdistus ja jauhemaali, alapiin teräksille mikä tahansa tutkituista esikäsitteilyistä ja jauhemaali. Suolasumukokeen perusteella toimivin yhdistelmä keskipiin teräksille oli

Zn-fosfointi ja vesiohenteinen EPPUR-maaliyhdistelmä. Alapiin teräksille toimivin oli pyyhkäisysuihkupuhdistus ja vesiohenteinen EPPUR-maaliyhdistelmä.

Tasaisimmin kummassakin testissä pärjäsi liuotinohenteinen PUR-maali, joka toimi varmimmin pyyhkäisysuihkupuhdistetulla pinnalla.

Ulkokenttäkoestuksen tulokset saadaan vasta vuosien päästä.

### 13 Lähteet

- 1 Teknos Oy. Verkkodokumentti.  
< <http://www.teknos.fi/>> Luettu 28.9.2012.
- 2 Rautaruukki Oyj. Verkkodokumentti.  
<http://www.ruukki.fi/>> Luettu 28.9.2012.
- 3 Rune, Thomas. 1991. Kuumasinkitys. Kuumasinkitsijät Ry. Forssa: Auranen Oy.
- 4 Hyttinen, Esko, Hyttinen, Ville. 1993. Kuumasinkityn teräksen käyttö rakentamisessa. Oulun yliopisto. Rakennetekniikan julkaisu 35. Oulu.
- 5 Kuumasinkityn teräksen maalaus. 1989. Tekninen tiedotus 15/89.
- 6 Tunturi, Pirjo, Tunturi, Pekka. 1999. Metallien pinnoitteet ja pintakäsittelyt. Metalliteollisuuden Keskusliitto. Tampere: Tammer-Paino Oy.
- 7 Suomen kuumasinkitsijät Ry. 2007. Verkkodokumentti.  
<[http://www.kuumasinkitys.fi/maalauksen\\_yleisohje\\_1\\_2007.pdf](http://www.kuumasinkitys.fi/maalauksen_yleisohje_1_2007.pdf)> Luettu 29.5.2012.
- 8 TeollisuusSuomi. Syyskuu 2011. Verkkodokumentti.  
<[www.duoproduct.com/files/TeollisuusSuomi.pdf](http://www.duoproduct.com/files/TeollisuusSuomi.pdf)> Luettu 29.5.2012.
- 9 Chemetall. Verkkodokumentti. <[www.chemetall.fi](http://www.chemetall.fi)> Luettu 29.5.2012.
- 10 Henkel. Tectalis. Verkkodokumentti. <<http://www.henkel.com/tectalis-17995.htm>>  
Luettu 28.5.2012.
- 11 Henkel. Bonderite NT. Verkkodokumentti.  
<[http://www.solvents.net.au/index\\_htm\\_files/BONDERITE%20NT-1%20\(14825190\).pdf](http://www.solvents.net.au/index_htm_files/BONDERITE%20NT-1%20(14825190).pdf)> Luettu 28.5.2012.

12 SurTec. Verkkodokumentti.

<<http://www.surtec.com/!PIB/6%20Konversionsschichten/Englisch/609E.pdf>>

Luettu 29.5.2012.

## Esikäsitelyn vaikutus maaliyhdistelmien kestävyteen kondensaatioko- keessa keski- ja alapiin teräksillä

Taulukko 1. Esikäsitelyn vaikutus liuotinhenteisellä EPPUR-maalilla (ref.) maalattujen keski-  
piin koelevyjen kondensaatiotestin tuloksiin.

Keskipiin teräs, liuotinhenteinen EPPUR-maali (ref.)				
Ominaisuus		SaS	Zn- fosfointi	Silaani- käsittely
Murtolujuus, MPa	Ennen koetta	9,72	9,73	8,75
	Kokeen jälkeen	6,11	11,11	3
	Muutos, +/-	-3,61	1,38	-5,75
Yleisin murtumatyyppi ennen koetta		95 % B/C, 5 % C/Y	96 % B/C, 5 % C/Y	100 % A/B
Yleisin murtumatyyppi kokeen jälkeen		95 % A/B, 5 % C/Y	95 % B/C, 5 % C/Y	100 % A/B
Rakkuloituminen / 480 h		ei	5 (S1)	ei

Taulukko 2. Esikäsitelyn vaikutus liuotinhenteisellä PUR-maalilla maalattujen keskipiin koele-  
vyjen kondensaatiotestin tuloksiin verrattuna referenssikäsiteltyjen koelevyjen koetuloksiin.

Keskipiin teräs					
Ominaisuus		EPPUR, liuote (Ref.) SaS	Liuotinhenteinen PUR-maali		
			SaS	Zn- fosfointi	Silaani- käsittely
Murtolujuus, MPa	Ennen koetta	9,72	17,61	7,16	7,26
	Kokeen jälkeen	6,11	24,28	6,25	15,8
	Muutos, +/-	-3,61	6,67	0,91	-8,54
Yleisin murtumatyyppi ennen koetta		95 % B/C, 5 % C/Y	50 % A, 50-100 % B/Y	50-80 % A/B, 20-80 % B/Y	100 % B/Y
Yleisin murtumatyyppi kokeen jälkeen		95 % A/B, 5 % C/Y	50-90 % B, 50-10 % B/Y	100 % A/B	90-100 A/B, 10 % B/Y
Rakkuloituminen / 480 h		ei	ei	4 (S1)	ei

Taulukko 3. Esikäsitellyn vaikutus vesiohenteisella EPPUR-maalilla maalattujen keskiin koelevyjen kondensaatiotestin tuloksiin verrattuna referenssikäsiteltyjen koelevyjen koetuloksiin.

Keskiin teräs					
Ominaisuus		EPPUR, liuote (Ref.) SaS	Vesiohenteinen EPPUR-maali		
			SaS	Zn- fosfointi	Silaani- käsittely
Murtolujuus, MPa	Ennen koetta	9,72	17,31	15,37	9,19
	Kokeen jälkeen	6,11	12,12	-	-
	Muutos, +/-	-3,61	-5,19	-	-
Yleisin murtumatyyppi ennen koetta		95 % B/C, 5 % C/Y	90 % B/C, 10 % C/Y	91 % B/C, 10 % C/Y	100 % A/B
Yleisin murtumatyyppi kokeen jälkeen		95 % A/B, 5 % C/Y	95 % A/B, 5 % B/Y tai C/Y	-	-
Rakkuloituminen / 480 h		ei	5 (S1)	5 (S2)	5 (S3)

Taulukko 4. Esikäsitellyn vaikutus jauhemaalilla maalattujen keskiin koelevyjen kondensaatiotestin tuloksiin verrattuna referenssikäsiteltyjen koelevyjen koetuloksiin.

Keskiin teräs					
Ominaisuus		EPPUR, liuote (Ref.) SaS	Jauhemaali		
			SaS	Zn- fosfointi	Silaani- käsittely
Murtolujuus, MPa	Ennen koetta	9,72	9,07	12,03	6,73
	Kokeen jälkeen	6,11	9,31	9,47	3,67
	Muutos, +/-	-3,61	0,24	-2,56	-3,06
Yleisin murtumatyyppi ennen koetta		95 % B/C, 5 % C/Y	100 % B/Y	100 % A/B	95 % A/B, 5 % B/Y
Yleisin murtumatyyppi kokeen jälkeen		95 % A/B, 5 % C/Y	100 % B/Y	100 % B/Y	100 % B/Y
Rakkuloituminen / 480 h		ei	ei	ei	ei

Taulukko 5. Esikäsitellyn vaikutus liuotinohenteisellä EPPUR-maalilla (ref.) maalattujen alapiin koelevyjen kondensaatiotestin tuloksiin.

Alapiin teräs, liuotinohenteinen EPPUR-maali (ref.)				
Ominaisuus		SaS	Zn-fosfointi	Silaani- käsittely
Murtolujuus, MPa	Ennen koetta	8,54	10,16	11,19
	Kokeen jälkeen	4,49	8,61	2,62
	Muutos, +/-	-4,05	-1,55	-8,57
Yleisin murtumatyyppi ennen koetta		100 % A/B	100 % A/B	100 % A/B
Yleisin murtumatyyppi kokeen jälkeen		95 % A/B, 5 % C/Y	95 % B/C, 5 % C/Y	100 % A/B, irtosi poratessa
Rakkuloituminen / 480 h		5 (S1)	ei	3 (S1)

Taulukko 6. Esikäsittelyn vaikutus liuotinhenteisellä PUR-maalilla maalattujen alapiin koelevyjen kondensaatiotestin tuloksiin verrattuna referenssikäsiteltyjen koelevyjen koetuloksiin.

Alapiin teräs					
Ominaisuus		EPPUR, liuote (Ref.) SaS	Liuotinhenteinen PUR-maali		
			SaS	Zn-fosfatoiinti	Silaani- käsittely
Murtolujuus, MPa	Ennen koetta	8,54	8,81	12,78	14,49
	Kokeen jälkeen	4,49	19,49	2,11	17,4
	Muutos, +/-	-4,05	10,68	-10,67	2,91
Yleisin murtumatyyppi ennen koetta		100 % A/B	90 % A, 10 % B/Y	40-70 B/Y, 60- 30 % A/B	15 % B, 85 % B/Y
Yleisin murtumatyyppi kokeen jälkeen		95 % A/B, 5 % C/Y	50-90 % B, 5-35 B/Y, 5- 30 % A	100 % A/B	100 % B
Rakkuloituminen / 480 h		5 (S1)	ei	5 (S2)	ei

Taulukko 7. Esikäsittelyn vaikutus vesiohenteisellä EPPUR-maalilla maalattujen alapiin koelevyjen kondensaatiotestin tuloksiin verrattuna referenssikäsiteltyjen koelevyjen koetuloksiin.

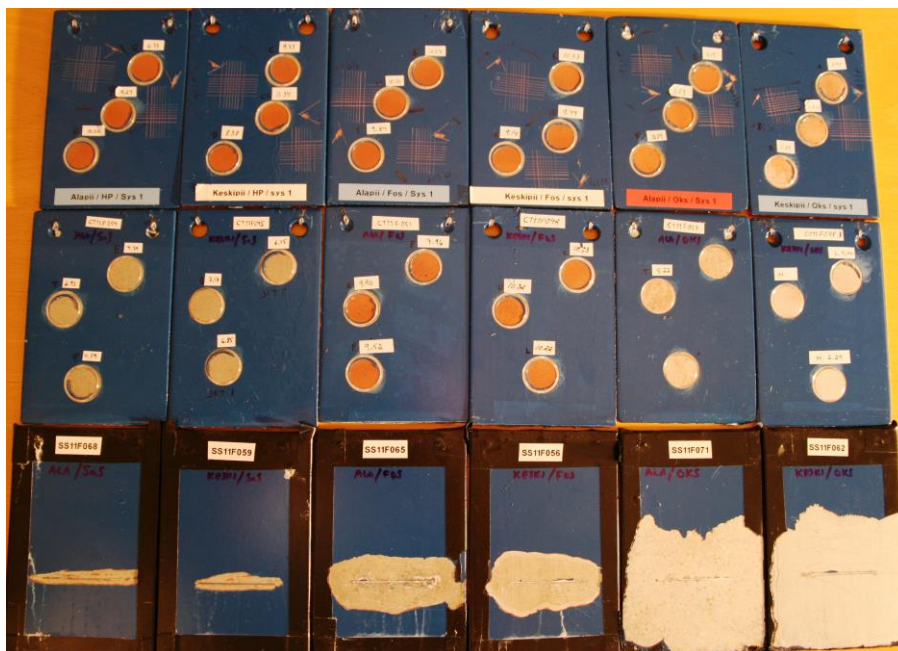
Alapiin teräs					
Ominaisuus		EPPUR, liuote (Ref.) SaS	Vesiohenteinen EPPUR-maali		
			SaS	Zn- fosfatoiinti	Silaani- käsittely
Murtolujuus, MPa	Ennen koetta	8,54	12,64	16,92	16,82
	Kokeen jälkeen	4,49	-	-	-
	Muutos, +/-	-4,05	-	-	-
Yleisin murtumatyyppi ennen koetta		100 % A/B	90 % B/C, 10 % C/Y	90-100 % B/C, 10 % C/Y	95 % B/C, 5 % C/Y
Yleisin murtumatyyppi kokeen jälkeen		95 % A/B, 5 % C/Y	-	-	-
Rakkuloituminen / 480 h		5 (S1)	5 (S2)	5 (S3)	5 (S3)

Taulukko 8. Esikäsitteilyn vaikutus jauhemaalilla maalattujen alapiin koelevyjen kondensaatio-testin tuloksiin verrattuna referenssikäsitteltyjen koelevyjen koetuloksiin.

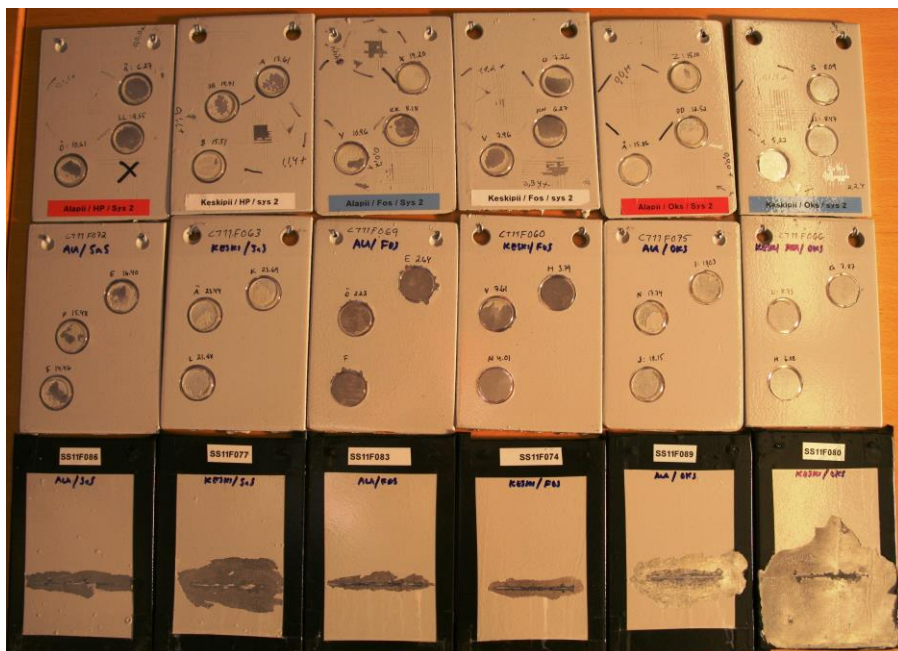
<b>Alapiin teräs</b>					
<b>Ominaisuus</b>		<b>EPPUR, liuote (Ref.) SaS</b>	<b>Jauhemaali</b>		
			<b>SaS</b>	<b>Zn-fosfointi</b>	<b>Silaanikäsittely</b>
<b>Murtolujuus, MPa</b>	<b>Ennen koetta</b>	8,54	7,78	9,74	2,99
	<b>Kokeen jälkeen</b>	4,49	7,86	8,13	4,91
	<b>Muutos, +/-</b>	-4,05	0,08	-1,61	1,92
<b>Yleisin murtumatyyppi ennen koetta</b>		100 % A/B	100 % B/Y	100 % A/B	90 % A/B, 10 % B/Y
<b>Yleisin murtumatyyppi kokeen jälkeen</b>		95 % A/B, 5 % C/Y	100 % B/Y	100 % B/Y	50-100 % A/B, 50-5 % B/Y
<b>Rakkuloituminen / 480 h</b>		5 (S1)	ei	ei	ei



## Kuvia koelevyistä



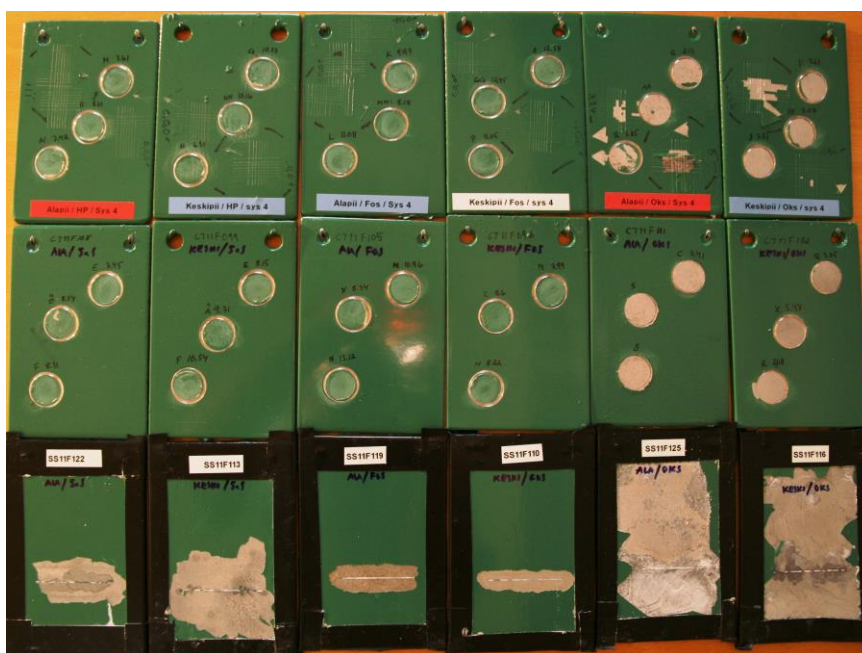
Kuva 1. Referenssiyhdistelmällä eli kaksikerros-EPPUR-maalaujärjestelmällä maalattuja koelevyjä: Ylärivissä referenssilevyt, keskirivissä kondensaatiotestilevyt ja alarivissä suolasumutestilevyt. Vasemmalla SaS-käsiteltyjä ala- ja keskipiin koelevyjä, keskellä Zn-fosfatoituja ala- ja keskipiin koelevyjä ja oikealla silaanikäsiteltyjä ala- ja keskipiin koelevyjä.



Kuva 2. PUR-maalaujärjestelmällä maalattuja koelevyjä: Ylärivissä referenssilevyt, keskirivissä kondensaatiotestilevyt ja alarivissä suolasumutestilevyt. Vasemmalla SaS-käsiteltyjä ala- ja keskipiin koelevyjä, keskellä Zn-fosfatoituja ala- ja keskipiin koelevyjä ja oikealla silaanikäsiteltyjä ala- ja keskipiin koelevyjä.



Kuva 3. Vesiohenteisella EPPUR-maalaujärjestelmällä maalattuja koelevyjä: Ylärivissä referenssilevyt, keskirivissä kondensaatiotestilevyt ja alarivissä suolasumutestilevyt. Vasemmalla SaS-käsiteltyjä ala- ja keskiin koelevyjä, keskellä Zn-fosfatoituja ala- ja keskiin koelevyjä ja oikealla silaanikäsiteltyjä ala- ja keskiin koelevyjä.



Kuva 4. Jauhemaalaujärjestelmällä maalattuja koelevyjä: Ylärivissä referenssilevyt, keskirivissä kondensaatiotestilevyt ja alarivissä suolasumutestilevyt. Vasemmalla SaS-käsiteltyjä ala- ja keskiin koelevyjä, keskellä Zn-fosfatoituja ala- ja keskiin koelevyjä ja oikealla silaanikäsiteltyjä ala- ja keskiin koelevyjä.