

Jukka Savilampi

RAITIOVAUNUN KORIN PINTAKÄSITTELY

Opinnäytetyö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Insinööri (ylempi AMK), Master of Engineering
Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma
Toukokuu 2013



Koulutusala Insinööri (ylempi AMK), Master of Engineering	Koulutusohjelma Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma
Tekijä(t) Jukka Savilampi	
Työn nimi Raitiovaunun korin pintakäsittely	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot	Ohjaaja(t) TkL Eero Pikkarainen KTT Pekka Nokso-Koivisto
	Toimeksiantaja Transtech Oy
Aika Toukokuu 2013	Sivumäärä ja liitteet 84+3
<p>Kehittämistehtävänä on tutkia raitiovaunun korirakenteelle suojausjärjestelmä, joka antaa sille elinkaaren mittaisen korroosiosuojauksen. Tuotteen suojausjärjestelmää tutkitaan korroosion näkökulmasta, jolloin sitä voidaan lähestyä pintakäsittelyyn liittyvien asioiden kautta, kuten maalaus korroosionestomenetelmänä. Yrityksessä on käytössä kaksi märkämaalauslinjaa, joissa on myös suihkupuhdistusasemat. Tämän työn tavoitteena on selvittää, mikä on paras korroosiosuojaus Transtech Oy valmistamalle raitiovaunun korirakenteelle. Korirakenteet valmistetaan yrityksen Otanmäen tehtaalla. Tuotantolinjoilla pintakäsittely toteutetaan märkämaalauksina, joten tämä rajaa erilaisten pinnoitemenetelmien käyttämisen tuotteen valmistuksessa. Korroosiosuojaukseen liittyvää tutkimustyötä tehdään laboratorio- ja kenttäkokeina. Tätä kautta haetaan optimaalista vaihtoehtoa tuotemaalaukseen.</p> <p>Opinnäytetyöni on laadullinen tutkimus, jossa tutkimusmenetelmänä aineistoja tarkastellaan kokonaisuutena. Laadullinen analyysi koostuu yleensä kahdesta eri vaiheesta: aineiston tarkastelusta teoreettis-metodologisesta näkökulmasta ja tulosten tulkinnasta. Työn tavoitteena on tutkia erilaisia vaihtoehtoja raitiovaunun korin pintakäsittelyprosessia. Tutkimuksessa otetaan huomioon, mistä korroosio johtuu ja minkälaisia korroosio- muotoja, teräksestä valmistettuun koriin voi kohdistua.</p> <p>Maalausjärjestelmälle tehdään laboratoriokokeita, joista ilmenee, miten korroosiosuojaus toimii teräksen suojauksessa. Testaukset tehdään Teknos Oy:n ja Ashland Inc. -yhtiön laboratorioissa. Molemmilla yrityksillä on runsaasti kokemusta ja asiantuntijuutta tutkimus- ja tuotekehitystyöstä, korroosion vaurioitumismekanismeista, suojausmenetelmistä sekä materiaalien käyttäytymisestä erilaisissa teräsrakenteissa.</p> <p>Tutkimuksen tuloksista tulisi varmistua paras korroosiosuojausmenetelmä, joka on tämän hetkisillä tiedoilla, menetelmillä ja materiaaleilla mahdollista toteuttaa Transtech Oy:n tuotantotiloissa siten, että se täyttää tuotteelle asetetun ruostumattomuustakuun. Työn tarpeellisuus on tullut esille raitiovaunun tilauskaupan varmistuessa.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Raitiovaunu, korroosio, maalausjärjestelmä
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School Kajaani University of Applied Sciences	Degree Programme Master of Engineering
Author(s) Mr. Jukka Savilampi	
Title Tramcar bodyshell surface treatment	
Optional Professional Studies	Instructor(s) Eero Pikkarainen Pekka Nokso-Koivisto
	Commissioned by Transtech Oy
Date May 2013	Total Number of Pages and Appendices 84+3
<p>The purpose of this development project was to find a corrosion protection method for the bodyshell of a tramcar; a method which provides protection against corrosion throughout the entire service life of the bodyshell. The protection method was studied from the point of view of corrosion. This makes it possible to approach the anti-corrosion treatment through the issues related to the surface treatment, such as painting as an anti-corrosion method. The company has two wet painting lines which are equipped with high-pressure cleaning stations. The objective of this work was to find the best corrosion protection method for the tramcar bodyshells manufactured by Transtech Oy. The bodyshells are manufactured in the company's factory in Otanmäki. The surface treatments on the production lines are performed as wet paintings. This limits the selection of possible surface treatment methods in the production. The corrosion protection was studied by performing laboratory experiments and field studies. The objective was to find the optimal product painting method.</p> <p>This thesis study is based on qualitative research where the research materials were examined on the whole. The qualitative analysis usually consists of two different phases – the examination of the material from the theoretical-methodological point of view and of the interpretation of the results. The objective of this thesis work was to study different issues related to the surface treatment of a tramcar bodyshell. The study pays attention to the reasons which cause corrosion and the different types of corrosion which may occur on the bodyshell made of steel.</p> <p>The painting system was tested in laboratory experiments which show how corrosion protection works in protecting steel. The tests were performed in the laboratories of Teknos Oy and Ashland Inc. The both companies have a lot of experience and expertise in the field of research and product development, corrosion damage mechanisms, anti-corrosion methods and the behaviour of materials in different steel constructions.</p> <p>The results of this study are aimed to confirm the best corrosion protection treatment as far as the current information, methods and materials are concerned, which can be implemented in the production facilities of Transtech Oy to guarantee the anti-corrosion warranty of the bodyshell. The importance of this study became evident when an order of tramcars was confirmed.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Tram, corrosion, coating system
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

”Kaikkea sitä ihminen ryhtyy tekemään, mutta tulipahan tämäkin tehtyä”.

Kiitos jälleen työnantajalleni Transtech Oy:lle, joka mahdollisti tämänkin opiskeluni. Kiitos Timo Kovalaiselle tutkimustyöni ohjaamisesta. Kiitos kaikille seuraavien yrityksien Ashland Inc, Kiihtoclean Oy, S&N Oy ja Teknos Oy asiantuntijoille yhteistyöstä tutkimukseen liittyvissä asioissa. Lisäksi kiitos teille kaikille, jotka olette olleet mukana tutkimustyöni eri vaiheissa. Saimme aikaiseksi raitiovaunun koreille loistavan korroosiosuojauksen.

Kiitos Eero Pikkaraiselle ja Pekka Nokso-Koivistolle opettavasta ohjauksesta tutkimustyön aikana. Lopuksi erittäin suuret kiitokset vielä perheelleni kaikesta tuesta ja ymmärryksestä tämänkin opiskeluni aikana. Mitä kaikkea tällä nyt vapautuvalla ajalla, voinkaan saada aikaiseksi.

1.5.2013

Jukka

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 KORROOSION JA RUOSTEEN SYNTYMINEN	3
2.1 Sähkökemiallinen korroosio	3
2.2 Reaktio	5
3 KORROOSION HALLINTA	8
3.1 Korroosion estäminen	8
3.2 Katodinen suojaus maalilla	9
4 KORROOSIONESTON TEORIAA	10
4.1 Lian- ja rasvanpoistomenetelmät	10
4.2 Pesuympyrä	12
4.3 Tensidien toiminta vesipohjaisissa rasvanpoistoissa	13
4.4 Pesukylpyjen analysointi	16
4.5 Ruosteen poisto	17
4.6 Reaktiomaalit	18
4.7 Kosteuskovettuvat maalit	21
4.8 Sinkkisilikaattimaalit	21
5 TERÄKSEN KORROOSIO	25
5.1 Yleinen korroosio	28
5.2 Pistesyöpyminen	28
5.3 Rakokorroosio	29
5.4 Galvaaninen korroosio	29
5.5 Hiertymiskorroosio	30
5.6 Raerajakorroosio	31
5.7 Herkistyminen	32
5.8 Jännityskorroosio	33
5.9 Hajavirtakorroosio	34
6 KORROOSION TORJUNTA	36
6.1 Korroosiotoiminnan perusedellytykset	36
6.2 Korroosion mittaus- ja tutkimusmenetelmät	37

6.3 Korroosionestomaalaukseen liittyviä standardeja	38
6.4 Maalausjärjestelmät	39
6.5 Maalien testaus	40
6.6 Kalvonpaksuusmittaus	41
6.7 Vetokoe	42
6.8 Hilaristikkokoe	43
6.9 Kulutuksenkestävyyismäärittely putoavalla hiekalla	44
6.10 Koelevyt	45
7 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA RAJAUKSET	48
7.1 Laboratoriokokeet	48
7.2 Kenttäkokeet	49
7.3 Laadullinen analyysi	49
8 TESTAUKSET JA NIIDEN TULOKSET	50
8.1 Vetotesti	51
8.2 Laboratoriokokeet sinkkipölymaalilla	53
8.3 Maaliyhdistelmät EPPUR 140/3 ja EPZn(R)PUR160/2	55
8.4 Sähkökemiallinen korroosiotesti	60
8.5 Vanhenemistesti	62
8.6 Äänieristysmassan testaus	63
8.7 Adheesiotesti	65
8.8 Uudet adheesiotestit	66
8.9 Säätesti (DIN 50017)	68
8.10 Suolasumutesti (DIN 50021)	69
8.11 Kihdytetty säätesti	71
8.12 Uudet tutkimukset	72
9 KORROOSIONESTOMAALAUKSEN SUUNNITTELU	75
9.1 Maalauksen huomioiminen teräsrakenteen suunnittelussa	76
9.2 Maalausjärjestelmän valinnan vaikutus käyttöikään	76
9.3 Huoltomaalaus	77
10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	80
LÄHTEET	82
LIITTEET	

KÄSITTEET JA MÄÄRITELMÄT

Adheesio	Pinnoitteen tarttuvuus alustaan
Dekadi	Suureen vaihteluväli
Dissosiaatio	Molekyylin hajoaminen korkeassa lämpötilassa
Fenoliftaleini	Väriaine
Glukoosi	Rypälesokeri
Inhibiitti	Kemikaali, joka vähentää syöpymistä
Korroosio	Metallin fysikaalis-kemiallinen reaktio ympäristönsä kanssa
Korroosiojärjestelmä	Järjestelmä, joka koostuu metalleista ja ympäristön osista
Korroosioympäristö	Ympäristön aiheuttamat korroosiorasitukset
Kupliminen	Kuplan muodostuminen pinnoitteen pintaan
Maali	Pinnoite, joka alustaan levitettynä kuivuessaan muodostaa kalvon
Miselli	Pallomainen molekyylirakenne
Oksidi	Hapen yhdiste
Pigmentti	Maalin ominaisuuteen vaikuttava lisäaine
Polyuretaanimaali	Maali, jonka sideaineena on isosyanaattiharts
Ruoste	Näkyvä teräksen korroosiotuote
Suihkupuhdistus	Pinnanpuhdistusmenetelmä
Termodynaaminen	Systemi, joka on mekaanisessa ja kemiallisessa tasapainossa

1 JOHDANTO

Korroosionestomaalausta suunnitellessa on tutkittava, minkälainen maalausyhdistelmä käy eri alustamateriaaleille ja minkälaiseen ympäristöolosuhteeseen valmistettava tuote tulee sijoittumaan. Standardissa SFS-EN ISO 12944-6 on määritelty erilaisia menetelmiä, joilla maaliyhdistelmiä voidaan testata. Testauksien tuloksien perusteella on mahdollista analysoida, mikä kyseiseen tuotemaalaukseen on soveltuvin maalausjärjestelmä.

Yleisempiä testausmenetelmiä, joita tehtiin korroosionestomaaliyhdistelmille, olivat suolatumestaus (SFS-EN ISO 9227), hilaristikkokoe (SFS-EN ISO 2409), irtivetokoe (SFS-EN ISO 16276-1), kulutuksen kestävyysmäärittäminen putoavalla hiekalla (SFS 3754), X-viiltokoe (SFS-EN ISO 16276-2) ja paksuuden mittaaminen (SFS-ISO 2178). Näillä koestuksilla saadaan hyödyllistä tietoa teräksen korroosiosuojauksessa käytetyistä pinnoitteista.

Tutkimuksessa haetaan optimaalista korroosiosuojausta raitiovaunun teräsrakenteisille koreille. Korroosiosuojauksen tulisi kestää tuotteen elinkaaren ajan. Ongelmana oli, mikä suojamaalausyhdistelmä voi täyttää tämän ehdon. Lisäksi tuotemaalaukset tulee pystyä tekemään yrityksen pintakäsittelylaitoksessa. Tämä asetti myös tietyntyylisiä reunaehtoja korien pintakäsittelyille. Kaikki tuotemaalaukset tulee tehdä märkämaalauksina.

Tutkimus aloitettiin selvittämällä, miten teräkseen kohdistuva korroosio syntyy ja miten sitä vastaan voi suojautua. Tutkimuksen näkökulmasta katsottuna on myös tärkeää tietää, minkälaisia korroosionmuotoja raitiovaunun koriin voi kohdistua. Tämän jälkeen on helpompaa analysoida, miten teräsrakenteen voi suojata siihen kohdistuvalta korroosiolta.

Teräsrakenteiden korroosio voi johtaa rakenteen lujuuden heikkenemiseen. Työn tavoitteena on siis tutkia raitiotievaunun korirakenteelle sopivien suojamaaliyhdistelmien ja tarkastella sen ominaisuuksia erilaisten testausmenetelmien kautta. Tutkimuksessa käytetään maalausyhdistelmiä, jotka ovat C4-M ja C5-M-I ilmastorasitusluokissa.

Tutkimuksessa käytetään teollisuuden tarkoitettuja suojamaaleja, joita yrityksen pintakäsittelylaitoksessa on mahdollista käyttää märkämaalauksissa. Tutkimuksessa tarkastellaan erityisesti sinkkipölypohjamaalin korroosiosuojauksesta teräsrakenteessa. Tämä johtuu sinkin antamasta suojasta mahdollisessa maaliin tulleessa vaurioalueessa. Toinen kiinnostava kohde tutkimuksessa on äänieristemassa maalikalvoa ja rakennetta suojaavana materiaalina.

Laboratoriotutkimuksia tehtiin Teknos Oy:n ja Ashland Inc:n laboratorioissa. Tutkimuksilla haettiin pinnoitteiden antamaa suojaa korroosiolta, kulutukselta, rasiukselta ja maalin käyttäytymisestä vaurioitilanteessa. Rasiukset vaikuttavat yleensä suoraan pinnoitteeseen ja pinnoitteen läpi alustaan, sekä alustasta takaisin pinnoitteeseen.

Testauksia tehtiin nopeutettuna säänkestokokeina, jossa tehostettiin eri rasiustekijöitä (kosteus, lämpö, UV-säteily). Suolasumukokeessa koelevyjä pidettiin suuressa kosteudessa ja lisäksi niihin ruiskutettiin suolaliuosta. Laboratoriokokeisiin valmistetut koelevyt maalattiin pääsääntöisesti yrityksen pintakäsittelylaitoksessa. Koelevyt on valmistettu säänkestävistä S355 ja Corten S500 WH teräksiä. Lisäksi maaliyhdistelmillä tehtiin koemaalauksia kenttätesteinä.

Tutkimustyön toimeksiantajana on Transtech Oy joka on Euroopan johtava vaativiin olosuhteisiin suunnitellun kiskokaluston valmistaja ja merkittävä keskiraskaiden konepajatuotteiden sopimusvalmistaja. Yhtiön toimipaikkoja ovat Oulun konttori ja Otanmäen tehdas. Transtech on erikoistunut matkustajavaunujen ja raitiotievaunujen valmistamiseen.

Matalalattiainen raitiovaunu on moderni versio yhtiön perinteikkästä nivelraitiovaunusta. Transtechin matalalattiaisen raitiovaunun kehittämisen lähtökohtana on ollut kokonaistaloudellisuus. Se merkitsee kaluston korkeaa luotettavuutta, käytettävyyttä sekä alhaisia käyttö- ja huoltokustannuksia. Tuote soveltuu erityisesti vaativiin rata- ja sääolosuhteisiin. Rakenneteräksestä valmistettava ja tehokkaasti ruostesuojatun korirakenteen tulisi kestää koko elinkaaren ajan.

Yrityksen tilauskannassa on 40 raitiovaunun valmistus. Vaunun kokonaisuus koostuu kolmesta korista kuvio 3, jotka on yhdistetty nivelien kautta toisiinsa. Raitiovaunulle tulee pituutta 27,6 m, leveyttä 2,4 m ja korkeutta 3,83 m. Raitiovaunun alusrakenne joutuu hyvinkin koviin ilmasto-olosuhteisiin. Vesi, lumi, jää, suolat sekä hiekka ja kivet kuluttavat mekaanisesti teräsrakenteen korroosiosuojausta.

2 KORROOSION JA RUOSTEEN SYNTYMINEN

Maalaus korroosionestomenetelmänä esitetään tässä luvussa. Tutkimuksen teoreettiset lähtökohdat liittyvät korroosion tutkimiseen. Metallissa tapahtuva korroosio on fysikaaliskemiallinen reaktio ympäristönsä kanssa, josta aiheutuu muutoksia metallin ominaisuuksiin. Yleensä puutteelliset pinnoitukset johtavat metallin vaurioitumiseen. Tästä johtuen vaurioituneille alueille alkaa kehittyä ruostetta, joka heikentää rakenteen aineenvahvuutta. Jos näille vaurioituneille alueille ei tehdä mitään ruoste voi ”nakertaa” lopulta koko aineen vahvuuden.

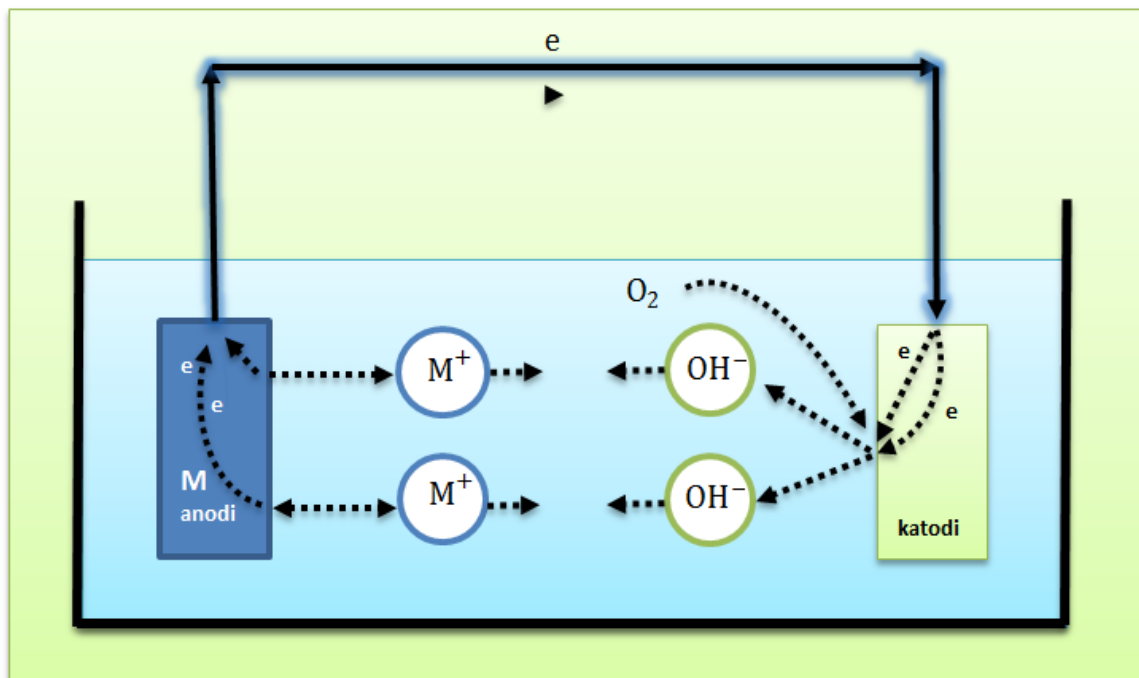
Korroosion alkamisessa on aina Yläsaaren (2008, 21) mukaan kysymys metallipinnan reaktiivisuudesta. On siis ymmärrettävää, että metallin pinnalla olevat tai sille muodostuvat erilaiset kerrostumat, likakertymät ja vieraat esineet aiheuttavat myös metallipinnassa erilaisuutta ajateltaessa sen suhtautumista korroosioympäristöön.

2.1 Sähkökemiallinen korroosio

Korroosioympäristössä metalleissa esiintyvässä sähkökemiallisessa korroosiossa on Yläsaaren (2008, 21) mukaan yhtenä välttämättömänä edellytyksenä elektrolyytti, sähköä johtavana liuoksena. Yleensä se on aina vesi, joka sisältää siihen liuenneita kaasuja, dissosiaation tuloksena erilaisia sähköisesti varattuja liuenneiden suolojen ioneja, tai myös kollodaalisia partikkeleita. Suurin osa korroosioilmiöstä tapahtuukin yleensä aina vesiliuosten läsnä ollessa. Luonnonvedet eri käyttömuodoissaan sekä ulko- ja erikoisilmastot (teollisuus, meri) ovatkin tavallisimpia korroosioympäristöjä. Ilmastollisessa korroosiossa vaikuttavana tekijänä korroosioympäristössä onkin metallin pinnalle tiivistyvä ohut vesikalvo.

Klassisessa korroosioparissa tulee korkeamman potentiaalin omaavasta metallikohdasta tai jalommasta metallista katodi ja matalamman potentiaalin omaavasta epäjalosta metallista anodi, joka on kohta, jossa metallin syöpyminen ilmenee metallin häviämisenä ja painon vähenemisenä.

Kuviossa 1 on esitetty korroosioparin synty, joka edellyttää anodin ja katodin syntymistä sekä sähköä johtavaa metallista yhteyttä niiden välillä, myös elektrolyyttiä, joka kuljettaa virtaa anodin ja katodin välillä. (Yläsaari, 2008, 22)



Kuvio 1. Klassillisen korroosioparin kaavio mukailen Yläsaarta (2008, 22).

Tästä syntyvä suljettu virtapiiri toimii, niin kauan kuin edellä mainitut edellytykset ovat olemassa. Yläsaaren (2008, 22) mukaan anodilla metalli liukenee positiivisina ioneina liuokseen. Vapautuneet elektronit siirtyvät metallista johdinta pitkin katodipinnalle, jolla jokin liuoksessa oleva ioni tai liuennut happi reagoi niiden kanssa.

Anodinen reaktio tarkoittaa sitä, että korroosiossa tapahtuu Yläsaaren (2008, 22) mukaan metallin hapettumista, siirtymistä atomäärisestä tilasta metallihilasta ioneina liuokseen. Katodinen reaktio on taas aina pelkistysreaktio, jonkin liuoksessa olevan esimerkiksi veteen liuennun happikaasun tai happaman liuoksen vetyionien pelkistymistä, jossa anodireaktiossa vapautuneet elektronit kulutetaan.

Teräspinnassa on aina vähintään Alénin (1994, 59) mukaan kolme neljästä perusedellytyksestä eli anodit, katodit sekä elektronijohde (metalli). Neljäntenä sähköä johtavana nesteinä (elektrolyytteinä) toimii vesi. Vesihöyryä sisältävässä ilmassa metallin pintaa peittää ohut vesikalvo. Korroosion kannalta tämä kalvo tulee merkittäväksi, kun vesi alkaa tiivistyä höyrystä

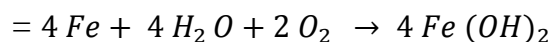
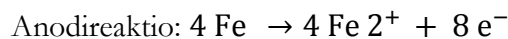
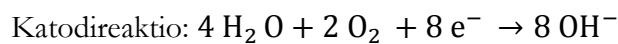
nesteeksi synnyttäen suljetun virtapiirin. Kriittinen kosteus teräksen korroosiolle ilmassa on yleensä 60–70 %.

2.2 Reaktio

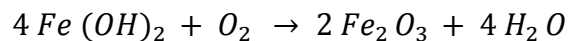
Suojaamaton teräspinta syöpyy useammissa ympäristöissä ja muodostaa ruostetta, joka on teräksen korroosiosta syntynyt reaktiotuote. Tärkein teräksen korroosionestomenetelmä on Alénin (1994, 58) mukaan maalaus. Se miten maalauksella voidaan suojata terästä korroosiolta, täytyy tuntea korroosiosta neljä perusasiaa:

- katodi on elektroni, jossa tapahtuu katodireaktio
- anodi on elektrodi, jossa tapahtuu anodireaktio
- elektronijohde on taas sähköä johtava metalli
- ionijohde eli elektrolyytti on sähköä johtava neste.

Seuraavassa on esitetty katodinen ja anodinen reaktio vedessä



Reaktiotuote, rautahydroksidi $\text{Fe}(\text{OH})_2$, reagoi edelleen hapen kanssa



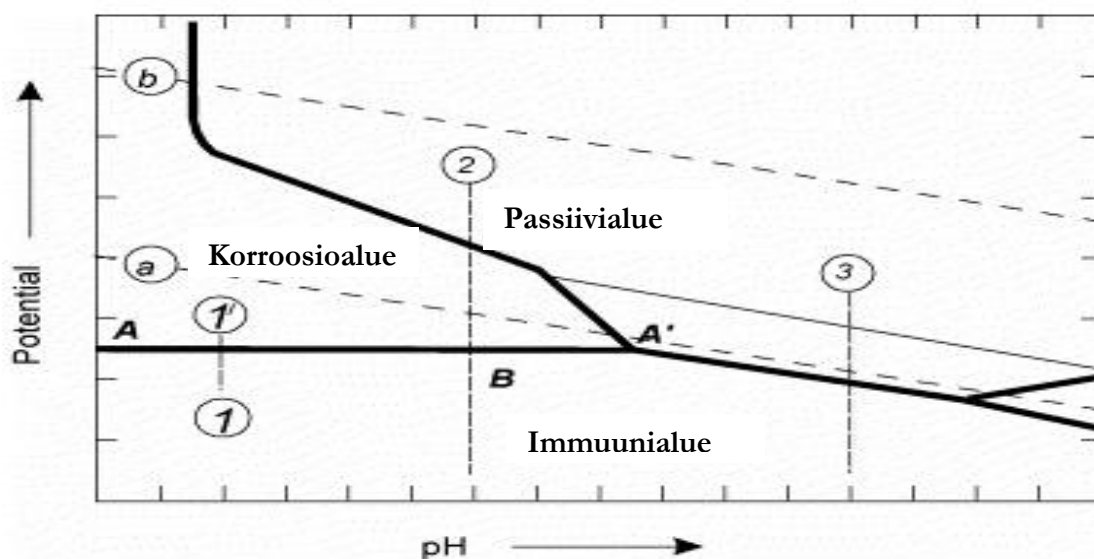
Anodilla tapahtuvassa reaktiossa puhdas rauta Fe^0 liukenee veteen Fe^{2+} :na luovuttaen vapaita elektroneja. Tämä prosessi on riippuvainen seuraavista seikoista: puhdasta rautaa on teräksen pinnalla, rauta pystyy luovuttamaan elektroneja, vettä on teräksen pinnalla ja raudan luovuttamilla elektroneilla on mahdollisuus reagoida. (Kallioinen, Sarvimäki, Takala & Ådahl 1982, 186) Anodi- ja katodireaktiot tapahtuvat aina samanaikaisesti ja yhtä suurella nopeudella (Antila, Karppinen, Leskelä, Mölsä & Pohjakallio 2010, 203).

Rautahydroksidi reagoi kosteissa ja happipitoisissa olosuhteissa edelleen muodostaen ruosteyhdisteitä. Ruosteen tarkka koostumus on Antilan ym. (2010, 203) mukaan erilainen eri olosuhteissa. Teräksen pinnalle muodostuvan punaruskean ruosteen koostumus vastaa lähinnä kaavaa $Fe_2O_3 \cdot x H_2 O$. Ruosteyhdiste ei yleensä muodostu anodi- eikä katodialueen pinnalle, vaan niiden välimaastoon. Tavallisissa käyttöolosuhteissa rauta sijoittuu aktiiviselle korroosioalueelle.

Metallin liukenemisen yhteydessä se voi reagoida ympäristönsä kanssa muodostaen kiinteän korroosiokerroksen, joka eristää metallipinnan elektrolyytistä. Tällöin tuloksena ovat Faradoksen (2006) mukaan korroosiovirran katkeaminen ja korroosion pysähtyminen (passivoituminen). Useiden korroosiota kestävien metallien, kuten alumiinien, kromin, titaanin, ruostumattomien terästen jne. kestävyys perustuu passivoitumisilmiöön. Rauta passivoituu, kun korroosioympäristön pH:ta nostetaan (Kallioinen ym. 1980, 187).

Pourpaix-diagrammin avulla voidaan päätellä, missä olosuhteissa rauta on aktiivinen, missä passiivinen ja missä immuuni. Aktiivisilla alueilla korroosio etenee. Immuunitilassa olevan raudan potentiaali on niin alhainen Antilan ym. (2010, 203) mukaan ettei ympäristö kykene enää rautaa syövyttämään. Passiivialueella muodostuu kiinteitä oksideja, jotka muodostavat rautaa suojaavan kalvon.

Metalliseoksien Pourbaix-diagrammeja ei voida laatia termodynaamisten laskelmien avulla, vaan niiden määrittämiseen käytetään ns. potentiokineettisiä mittauksia eli polarisaatiokäyriä. Potentiaali-pH-piirrosten avulla voidaan arvioida ympäristön (pH) ja elektropotentiaalinvai-
kutusta metallin korroosioikäytymiseen. Ympäristön ja elektrodipotentiaalinvai-
mutoksilla voidaan usein ratkaisevasti vaikuttaa metallin korroosiokestävyyteen (Siitonen 2008, 57–59). Seuraavassa kuviossa 2 on esitetty Pourbaix–diagrammi raudan korroosio-, immuunisuus- ja passiivisuusalueista.



Kuvio 2. Pourbaix –diagrammi (Celis 2006).

Passiivisuusalue saavutetaan nostamalla raudan potentiaalia tai kasvattamalla ympäristön pH arvoa, jolloin raudan pintaan muodostuu suojaava passiivikerros. Raudan potentiaalia voidaan nostaa Antilan ym. (2010, 213) mukaan seostamalla rautaa passivoitumista edistäville aineille, kuten kromilla. Katodinen suojaus voidaan tehdä maalikalvolla silloin, kun se sisältää rautaa epäjalompia pigmenttejä. (Kallioinen ym. 1982, 186–187)

Yleensä kuivunut maalikalvo sisältää korroosionestomaaleissa sinkkikromaattipigmenttejä. Nämä estävät korroosion syntymistä ja lisäksi antavat katodisen suojan teräksen pintaan. On tärkeätä, määritellä tuotemaalauksiin kuivakalvojen paksuudet korroosiomaalauksista suunniteltaessa. Maalikalvon paksuus on tärkeä ominaisuus alustan suojauksessa. Tarttuvuus alustaan eli adheesio on yksi tärkeimmistä maalin ominaisuuksista. Tarttuvuuden ollessa huono maalikalvo heikkenee ajan kuluessa ja seurauksena on usein kalvon irtoaminen alustasta. Tällöin katodinen suojaus, joka tehtiin maalilla pettää ja sen seurauksesta syntyy ruostuminen.

Maalikalvon irtoamisesta aiheutuvat korjauskustannukset voivat nousta hyvinkin korkeiksi. Kustannukset syntyvät pääasiassa siitä, että korjausalueet tulee tehdä uudelleen tuotemaalauksiin määriteltujen ohjeiden mukaisesti. Ainoastaan tällä menettelyllä on mahdollista saada alkuperäisen suunnitelman mukaisesti toteutunut korroosiosuojaus.

3 KORROOSION HALLINTA

Tässä luvussa selvitetään pohjaa tutkimuksen teoreettiselle viitekehykselle. Tutkimustyössä tutkitaan, mihin korroosionesto perustuu ja miten sitä voi hidastaa. Tutkimustyö keskittyy korroosion estämiseen tai hidastamiseen märkämaalauksina. Lisäksi myös miten sinkkipölypohjamaali toimii maalausjärjestelmän yhtenä osatekijänä teräksen korroosiosuojauksessa.

3.1 Korroosion estäminen

Korroosiomenetelmät perustuvat Yläsaaren (2008, 24) mukaan joko termodynaamisten tai kineettisten tekijöiden hyväksikäyttöön. Poistamalla mikä tahansa korroosioparin toiminnalle välttämättömistä edellytyksistä, voidaan korroosio teoriassa estää. Vaihtoehtoja ovat poistaa elektrolyytti (esim. kuivaamalla ilma) tai muuttamalla sen ominaisuuksia (hapen poisto, inhibiittien käyttö), katkaisemalla yhteys anodin ja katodin väliltä. Tämä tehdään rajoittamalla tai estämällä liuoksen kosketusta metalliin esimerkiksi pintakäsittelytekniikalla tai korroosionestomaalauksella.

Metallin korroosionesto perustuu siihen, että

- estetään paikallisparien muodostuminen metallin pinnalle,
- estetään anodi- ja katodireaktio, tai hidastetaan niiden tapahtumista.

Korroosio voidaan estää tai sitä voidaan hidastaa levittämällä suojattavalle metallipinnalle

- korroosionestopigmenttejä sisältävä korroosionestomaali, joka pysäyttää anodi- ja/tai katodireaktion, tai
- maalikalvo, joka muodostaa riittävän suuren vastuksen ionivirran kululle
- katodisesti suojaava maalikalvo.

Anodireaktion pysäyttämiseksi $\rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$ on Alénin (1994, 60–61) mukaan estettävä metalli-ionien liukeneminen anodilla. Tähän päästään joko katodisella suojauksella tai muodostamalla anodialueille suojakerroksia. Korroosionopeutta voi hidastaa esimerkiksi metallipinnalle levitettävien korroosiotuotteiden avulla (passivointi). Kun maalataan rakenteita, jot-

ka joutuvat säärasitukseen, käytetään maaleissa korroosionestopigmenttejä, joiden tehtävänä on toimia passivaattoreina. Ne saostavat anodipinnoille suojakerroksia, jotka hidastavat metalli-ionien liukenemistä elektrolyyttiin. Korroosio pigmentteinä käytetään esimerkiksi *lyijymönjää* $Pb_3 O_4$, *sinkkifosfaattia* $Zn_3 (PO_4)_2$, *bariummegaboraattia* $Ba(BO_2)_2$ yms. pigmenttejä, jotka muodostavat anodialueille suojakerroksia yhdessä maalikalvoon tunkeutuvan veden kanssa.

Korroosio pigmenttien tehtävänä on siis hidastaa teräksen korroosiota. Sinkkipölymaalien korroosionesto perustuu pinnan katodiseen suojaukseen. Pigmentit voivat toimia maalissa passivaattoreina, jotka muodostavat maalattavalle alustalle suojakerroksen.

3.2 Katodinen suojaus maalilla

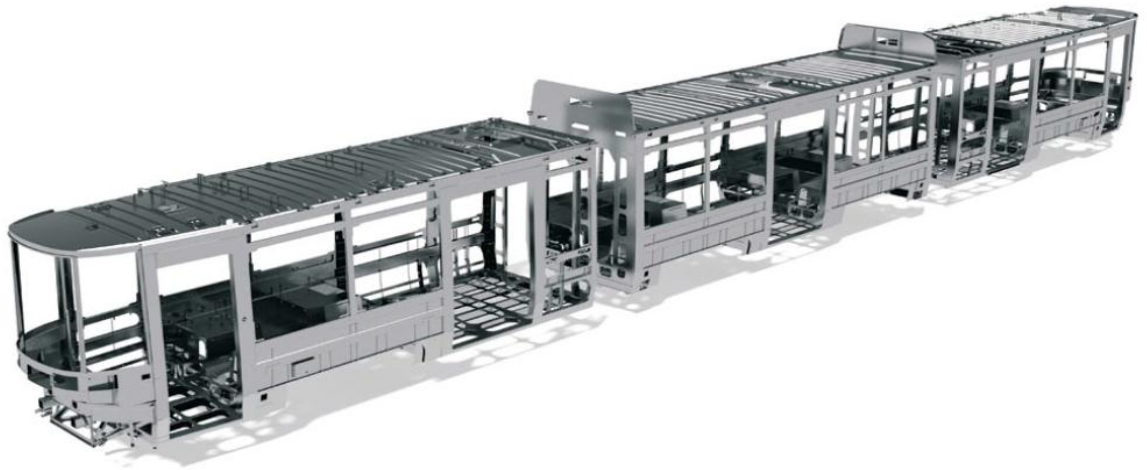
Katodisella suojauksella tarkoitetaan, että korroosio potentiaalia alennetaan sähkökemiallisesti. Maalikalvolla on katodinen suojauskyky, jos se sisältää yli 90 % sinkkipölyä. Tällöin sinkkipigmenttihiukkaset ovat sähköä johtavassa kosketuksessa alustan kanssa sekä keskenään. Korroosioympäristössä sinkki ”uhrautuu” ja teräs säilyy. (Alén 1994, 61)

Alveyn on todennut (2005), että sinkkimaali teräksen pintaan levitettynä antaa katodisen suojan alustalle. Kosteus toimii elektrolyyttinä, teräs katodina ja sinkki anodina muodostaa korroosiosuojan teräkselle. Teräksen ollessa katodi se ei altistu korroosiolle, koska anodina toimiva sinkki ”uhrautuu” ja suojaa terästä korroosiolta. *Tämä suojaus jatkuu, kunnes sinkkimaali on kulunut loppuun.* Sinkkimaalien käyttämisestä mietittäessä on muistettava, että kuivakalvon tulee sisältää vähintään 80 % sinkkiä. Toisaalta, jos sinkkipölyä lisätään maaliin liikaa, heikenee maalikalvon adheesio ja koheesio kestävyys.

Maali suojaa teräsalustaa katodisesti, kun maalissa käytetään riittävästi sinkkipölyä. Sinkkihiukkaset ovat maalikalvossa sähköä johtavassa kosketuksessa teräsalustan kanssa ja epäjalompana metallina ”uhrautuvat” estäen teräksen ruostumisen. (Teknos, 2012, 10)

4 KORROOSIONESTON TEORIAA

Tutkimusongelman määrittely osoittautuu haasteelliseksi, koska tämän tutkimuksen kohteesta sekä elinkaaren mittaisesta korroosiosuojauksesta ei ole suoranaista esimerkitapausta. Huomioitavia elementtejä on paljon. Tutkimuksen lopputuloksen perusteella voidaan päätellä, onko näin pitkä korroosionesto suojaus yleensäkin mahdollista toteuttaa. Tämän luvun tarkoituksena on löytää yrityksen pintakäsittelylaitoksessa maalattavan raitiovaunun kuvio 3 korroosiosuojauksen toteuttamiseen tarvittavat tekijät pintakäsittelyprosessia varten.



Kuvio 3. Raitiovaunun pintakäsiteltävät korit (Raitiovaunuesite 2012).

Raitiovaunun kokonaisuus muodostuu 3 erilaisesta korista. Korit ovat hitsattuja teräsraakenteita. Pintakäsittelyprosessiin kuuluvat useat eri työvaiheet, joilla varmistetaan tuotteelle pitkäaikainen korroosiosuojaus.

4.1 Lian- ja rasvanpoistomenetelmät

Metallipinnoilla on useimmiten kaikenlaisia orgaanisia epäpuhtauksia, kuten rasvoja ja öljyjä. Niitä voidaan poistaa kemiallisia menetelmiä käyttäen, joita nimitetään rasvanpoistoiksi. Rasvan ja lian poisto tehdään teräkseen ennen mekaanista puhdistusta. Yleisimpiä epäpuhtauksia ovat: leikkuu- ja jäähdytysnesteet sekä emulsiot. Edellä mainittujen lisäksi kuljetuksessa ja

varastoinnissa käytetyt suojaöljyt, -rasvat ja -vahat. Teräksen pinnalle on myös tarttunut metallipölyä, nokea sekä ilmasta tulleita tai syöpymällä syntyneet suolat. Rasvat ja öljyt poistetaan Tunturin ja Kauniston (1983, 35) mukaan alkali-, emulsio- tai liuotinpesulla pesun jälkeen pinnat huuhdellaan perusteellisesti vedellä (Alén 1994, 62).

Laadukkaaseen pintakäsittelyyn vaaditaan ehdotonta puhtautta. Rasvan ja muiden epäpuhtauksien poistolla on suuri merkitys pinnoitteen ulkonäköön ja kiinnipysyvyyteen. Parhaimpaan lopputulokseen päästään oikeilla pesumenetelmillä ja niihin soveltuvilla pesukemikaaleilla. (Farmos, 2007) Yleisimmin metallien pesuissa käytettäviä pesuaineita ovat:

- Alkalinen pesuaine
- Hapan pesuaine
- Emulsiopesuaine
- Liuotinpesuaineet

Pesuaineet koostuvat Kiillon (2011) mukaan erilaisista tehoaineista (esim. alkalisessa pesuaineessa natriumhydroksidi), lisäaineista ja pinta-aktiivisista tensideistä. Pesuaineen valinta määräytyy pestävästä alustasta, siinä olevien epäpuhtauksien määrästä, lian laadusta ja halutun pesutuloksen lopullisesta laadusta. Metallien pesuaineet, joita tällä hetkellä käytetään, ovat yleensä vesipohjaisia ympäristöystävällisiä tuotteita.

Alkalisen pesun tehtävänä rasvanpoistossa on irrottaa öljyä, rasvaa ja muita orgaanisia aineita sekä epäorgaanisia suoloja. Alkalisten pesuliuosten puhdistusvaikutus perustuu Tunturin ja Kauniston (1983, 36–37) mukaan rajapintailmiöihin, joiden ansiosta epäpuhtaudet irtoavat metallipinnasta ja hajaantuvat liuokseen pieninä hiukkasina ja pisaroina. Pesuliuokset sisältävät erilaisia alkalisuoloja sekä synteettisiä pinta-aktiivisiä aineita, jotka parantavat liuoksen kostutus-, emulgointi- ja liankantokykyä. Alkalinen puhdistusprosessi tehdään yleensä upottamalla tai suihkuttamalla.

Alkalisten pesuaineiden *hyviä ominaisuuksia* ovat Farmoksen (2007) mukaan:

- poistavat tehokkaasti kaikkia epäpuhtauksia
- pesuaine ei syövytä terästä
- pesuaine ei ole syttyvää
- edullinen ratkaisu

Huonoja ominaisuuksia:

- vaatii lämmityksen
- vaatii huolellisen huuhtelun
- syövyttää vahvana seoksena sinkkiä ja alumiinia
- syövyttävää, ei sovellu käsinpesuun
- käytetty aine on neutraloitava

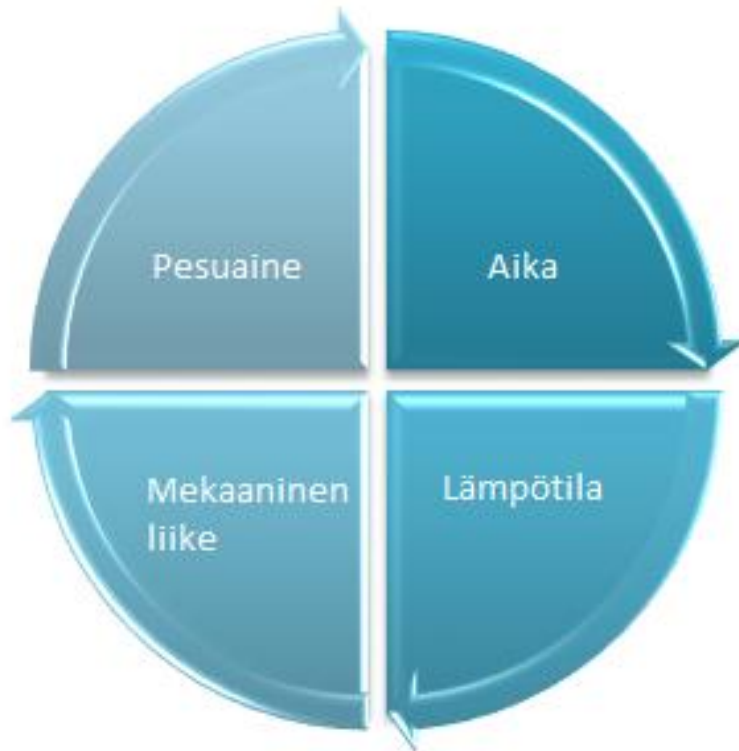
4.2 Pesuympyrä

Metallin pesuja käytetään, kun metallien pinnoilta halutaan poistaa rasvaa ja muita epäpuhtauksia ennen maalausta. Pesujen avulla ei Jokisen, Kuuselan ja Nikkarin (2001, 33) mukaan saavuteta korroosiosuojaa, kun pestävänä materiaalina on teräs. Tämä riippuu kuitenkin pitkälti käytettävästä pesuaineesta. Esimerkiksi yhdistetyillä pesu ja rautafosfointiaineilla voidaan saada teräkselle aikaiseksi korroosionestosuojaus.

Kemiallisen esikäsitteilyn tulokseen vaikuttavat pesuympyrässä esitetyt tekijät. Pesuympyrä Farmoksen (2009) mukaan kuvaa esikäsitteilytulokseen vaikuttavia tekijöitä. Jokaisen osa tekijöiden tulisi toteutua kunnollisen pesutuloksen saavuttamiseksi. Pesuaineet tulee valita pääsääntöisesti pestävän metallin mukaan.

Lisäksi muina tekijöinä on otettava huomioon siinä olevan lian määrä, lian laatu sekä halutun pesutuloksen lopullinen laatu. Nykyteknologian pintakäsittelymateriaalit tarvitsevat hyvän rasvanpoiston metallin pinnasta. Tämä on syytä huomioida, kun eri metallilaatujen pesuja suunnitellaan. Väärä pesuaineen valinta tai pesuympyrässä vaikuttavien tekijöiden toteutumatta jääminen, voi johtaa koko pintakäsittelyprosessin epäonnistumiseen.

Ruosteenpoistoa ja maalausta vaikeuttavat epäpuhtaudet poistetaan lian- ja rasvanpoistomenetelmin (ISO 12944-4). Lian- ja rasvanpoistomenetelmä valitaan pinnan epäpuhtauksien perusteella ja käytännön suoritusmahdollisuuksien mukaan. (Teknos 2012, 18)



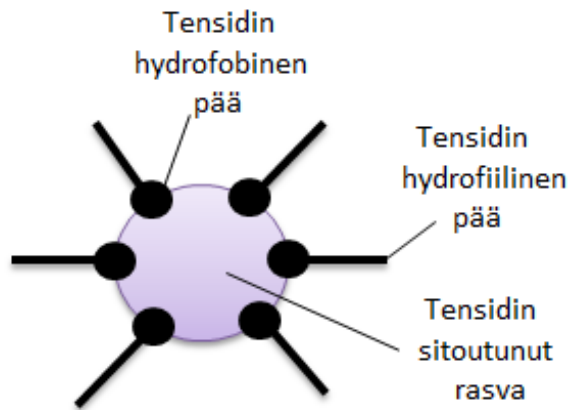
Kuvio 4. Pesuaineympyrä mukaillen Jokinen ym. (2001, 31).

Pesuaineympyrän kuvio 4 kaikki tekijät yhdessä siis vaikuttavat pesun lopputulokseen. *Pesuaineen* valinta tulee tehdä siten Kiillon (2012) mukaan siten, että se kykenee poistamaan pestävästä pinnasta kaikki epäpuhtaudet. *Lämpötila* määräytyy aina käytettävän pesuaineen lämpötila suosituksesta. Lämpötilan lisäys parantaa lopullista pesutulosta, mutta saadaanko sillä lisäarvoa pesutuloksessa. *Liike* parantaa aina pesutulosta. *Pesuajan* on oltava aina riittävän pitkä. Liian lyhyelle pesuajalle asetettu lopputulos ei aina toteudu. Liian pitkä pesuaika voi aiheuttaa pesuaineen saostumista pestävällä pinnalla.

4.3 Tensidien toiminta vesipohjaisissa rasvanpoistoissa

Vesipohjaisissa rasvaa poistavissa pesuaineissa käytettävä tensidi irrottaa ja sitoo poistetun rasvan, niin ettei se enää tartu uudelleen pestyyn pintaan. Tensidit ovat Jokisen ym. (2001, 35–36) mukaan molekyylejä joiden toinen pää on vettä hylkivä ja rasvanhakuinen (hydrofobinen pää). Toinen pää on taas vesihakuinen ja rasvaa hylkivä (hydrofiilinen pää). Rasvanhakuinen pää tarttuu metallin pinnalla olevaan rasvaan ja irrottaa sitä mukaansa pesuaineen se-

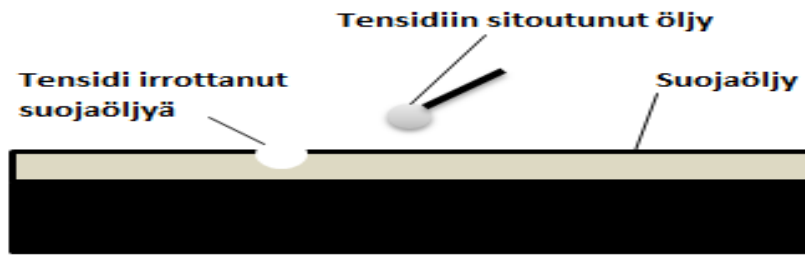
kaan. Pinnasta irronneet ja rasvaa sisältävät tensidimolekyylit kiinnittyvät toisiinsa vedessä, niin että rasvaa sisältävät hydrofobiset ovat kiinni toisissaan, jolloin muodostuu misellejä. Kuviossa 5 misellin vesihakuiset päät ovat suuntautuneet ulospäin, jolloin miselli pysyy vedessä ja estää rasvaa tarttumasta uudelleen metallin pintaan.



Kuvio 5. Tensidit muodostavat misellin mukaillen Jokista ym. (2001, 36).

Pesuaineissa käytettävät rasvanpoistotehostimet ovat siis tensidejä. Rasvanpoistotehostimia voidaan lisätä pesuaineeseen silloin, kun pesuaineen valmiiksi sisältämät tensidit eivät enää riitä tehokkaaseen rasvanpoistoon (Jokinen ym. 2001, 36).

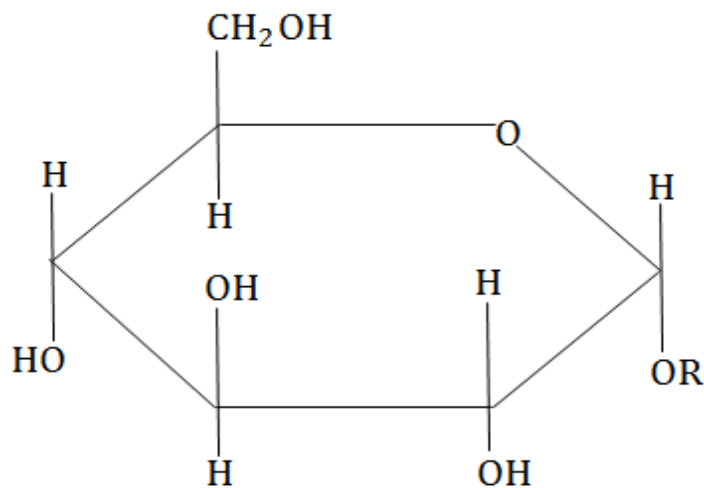
Tensidien tehtävä on Farmoksen (2007) mukaan vesipohjaisissa pesuja käytettäessä irrottaa rasva metallin pinnalta ja sitoa se pesuaineeseen siten, ettei se tartu uudelleen metallin pintaan. Tensidin hydrofiiliseen päähän tarttunut rasva ei siis enää pääse tarttumaan uudelleen metallin pintaan. Näin rasvat poistuvat metallin pinnalta pesujen ja huuhtelujen aikana. Tulokseksi saadaan esikäsitelty alusta esimerkiksi suihkupuhdistamista varten. Seuraavassa kuviossa 6 on esitetty tensidin toiminnan periaate.



Kuvio 6. Tensidien toiminta mukaillen Farmosta (2007).

Pesuainevalinnassa suuntaus on Tunturin ja Tunturin (1999, 36) mukaan matala-alkalisiin, vähän silikaatteja sisältäviin pesuaineisiin, joissa tensidit ovat biohajoavia. Ne eivät ole kovin voimakkaasti emulgoivia, joten pesuaineliuoksia voi suodattaa ja käyttää uudelleen.

Eräät uudet biologisesti hajoavat tensidit perustuvat Mortimerin (1997) mukaan sokerimolekyyleihin. Kuviossa 7 on esitetty alkyyliglukosidin rakenne. Glukoosissa on monta vapaata hydroksyyliiryhmää, jotka voivat esteröityä tai esterityä.



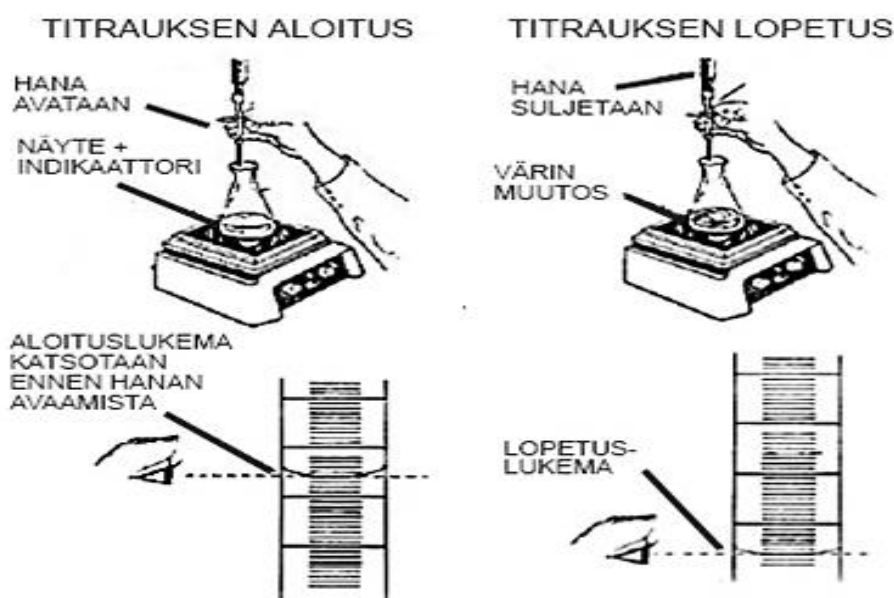
Kuvio 7. Alkyyliglukosidin rakennekaava (Mortimer 1997).

Eräs tällainen uusi tensidi on glykoosimolekyylin ja rasva-alkoholin eetteri alkyyliglukosidi. Rasva-alkoholi R-OH on alkoholi, jossa on pitkä hiilivetyketju R-, kuten rasvahapoissa.

4.4 Pesukylpyjen analysointi

Pesukylvyistä tehtävät analyysit ovat titraus ja pH:n mittaus. Mittaamalla pH:ta saadaan selville kylvyssä olevien vapaiden vetyionien määrä, mutta ei kuitenkaan kylvyn kokonaisväkevyyttä. pH:ta mitattaessa mittalaitteella on huolehdittava, että se on kalibroitu oikein. Analysoinnit ovat tarpeellisia onnistuneen pesutuloksen saavuttamiseksi.

Titraamalla kuvio 8 voidaan selvittää liuoksen vetypitoisuus (hapon määrä) tai hydroksidiioni-pitoisuus (emäksen määrä). Titrauksessa happo neutraloidaan emäksellä tai emäs hapolla. Näytettä, jonka pitoisuutta ei tunneta Jokisen ym. (2001, 48) mukaan punnitaan tai mitataan valmistajan ohjeen mukaisesti. Tämän jälkeen byrettiin lisätään titrausliuosta, jonka pitoisuus tiedetään. Näytteeseen lisätään indikaattoria, joka muuttaa liuoksen värin neutraloitumisvaiheessa. Kun byretistä lasketaan titrausliuosta hitaasti näytteeseen, niin näytteen värin muuttuessa se on neutraloitunut. Titrauksen tulos lasketaan valmistajan antaman kaavan mukaisesti, ja tuloksen perusteella saadaan selville, mitä pesuaineelle pitää tehdä.



Kuvio 8. Titrauksen analysointi (Farmos, 2007).

Titraus voidaan tehdä esimerkiksi seuraavasti: titrauslasiin otetaan pesukylvystä 10 ml näyte. Fenoliftaleiiniä laitetaan muutama tippa näyte-erään, jolloin neste värjäytyy punaiseksi. Seu-

raavaksi annostetaan 5 ml pipettiin HCL 0,1 N suolahappoa. Tätä lisätään pienin erin näyteerään lasia heiluttaen. Annostelua tehdään, niin kauan että näytteestä on hävinnyt punainen väri. Seuraavaksi lasketaan suolahapon kulutus ja se kerrotaan titrauskertoimella 1,61 josta saadaan käyttöliuoksen pitoisuus %. Esimerkiksi $1,5 \cdot 1,61 = 2,41$ %.

4.5 Ruosteen poisto

Ruosteenpoistomenetelmät jaetaan Tunturin ja Kauniston (1983, 38) mukaan mekaanisiin, termisiin ja kemiallisiin menetelmiin ja tarkoituksena on poistaa metallin pinnalta ruoste, valssihilse ja oksidit. Tämä toimenpide antaa maalattavalle alustalle tartunnan ja se poistaa epäpuhtaudet maalattavalta pinnalta. Yleisemmin ruosteenpoisto tehdään nykyään sinkoamalla tai suihkupuhdistamalla.

Suihkupuhdistus on yleisin ja tehokkain mekaaninen esikäsitelymenetelmä. Puhdistusrakeet puhalletaan paineilmalla puhdistettavaan alustaan. Yleensä raemateriaalina käytetään maalattaville pinnoille valurauta- tai valuteräsrakeita tämä kuitenkin riippuu mitä metallia suihkupuhdistetaan. Puhdistetun pinnan karheus on huomioitava maalikalvon paksuutta määriteltäessä Tunturin ja Kauniston (1983, 38–39) mukaan teräsrakeet voivat olla särmikkäitä tai pyöreitä.

Puhdistusmenetelmää valittaessa on syytä pyrkiä käyttämään hyväksi puhdistamiseen liittyviä standardeja. Näiden pohjalta voi laatia puhdistusmenetelmän, joka täyttää kansainvälisen laatu-tason. Seuraavia asioita tulisi ottaa huomioon puhdistusmenetelmän valinnassa:

- epäpuhtauksien laatu
- rakenneaine
- kappaleen koko ja muoto
- tuotannon määrä
- puhalluslaitteet
- ympäristövaatimukset
- työturvallisuus
- kustannukset

Puhdistuksessa tehty virhe tai laiminlyönti, voi johtaa koko pinnoitustyön epäonnistumiseen. (Tunturi & Kaunisto 1983, 43) Puhdistuksella varmistetaan epäpuhtauksien poisto alustasta ja pinnoitteelle hyvä tartunta. Puhdistuksen tarkastamiseen on käytettävissä useita apuvälineitä, joilla voidaan tarkistaa puhdistuksen laatu.

Pinnoitteet voivat olla alustassa olevaan materiaaliin nähden jalompia tai epäjalompia. Niiden sähkökemiallinen jalousaste määrää pinnoitetun rakenteen käyttäytymistä korroosiorasituksissa. (Tunturi & Kaunisto 1983, 7) Pinnoite valitaan tuotteen käyttöympäristön, käyttötarkoituksen sekä suunnitellun käyttöiän mukaan. Lisäksi pinnoitteilla voidaan lisätä teräksen käyttöikä, visuaalista ulkonäköä sekä teknisiä ominaisuuksia (Tunturi 1994).

Epäjalompi pinnoite, kuten esimerkiksi sinkki teräksen päällä, käyttäytyy Tunturin ja Kauniston (1983, 7) mukaan pinnoitteen rikkoutuessa teräkseen nähden uhrautuvasti. Sinkki syöpyy ja antaa paljastuneelle teräkselle katodista suojaa, niin kauan kuin pinnoitemateriaalia riittää korroosioelementin vaikutuspiirissä. Tämä vaikutusetäisyys voi olla ilmastollisen korroosion tapauksessa muutamia millimetrejä, kun toisaalta upotettuna suolaiseen ja siten hyvin sähköä johtavaan meriveteen jopa useita metrejä.

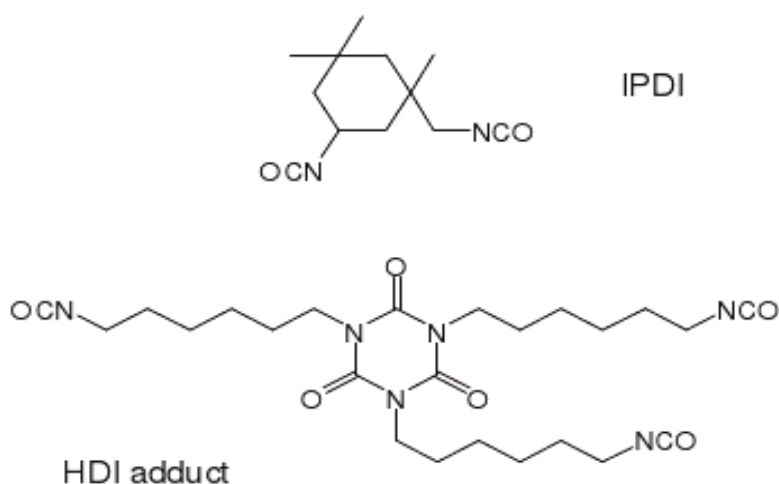
4.6 Reaktiomaalit

Maalit sisältävät erilaisia lisäaineita, joilla on oma tehtävänsä korroosiosuojauksessa. *Maalikalvon sideaine* vaikuttaa, miten maalikalvo tarttuu alustaan ja kestää ympäristön vaikutuksia. Myös maalikalvon joustavuus, kovuus, kulutuksenkestävyys, kalvonmuodostus ja kiilto riippuvat sideaineesta. (Alén 1994, 9) *Väripigmentit* antavat maalikalvolle värin ja peittokyvyn sekä suojaavat myös kalvon sideainetta ultravioletisäteilyltä (Alén 1994, 10). Maaleissa käytetään yleisemmin teollisesti jalostettuja epäorgaanisia pigmenttejä, joista tärkein on valkoinen titaanioksidi (Antila ym. 2010, 251).

Korroosionestopigmenttien tehtävänä on hidastaa ja estää maalikalvon alustana olevan teräksen korroosiota. Korroosionestopigmentit toimivat Alénin (1994, 10) mukaan passivaattoreina eli inhibiitteinä, jotka saostavat elektronipinnoille suojakerroksia Sinkkipölyä käytetään korroosionestopigmenttinä, sinkkipölymaaleissa, joissa sinkki suojaaa teräspinnan katodisesti.

Apupigmentit eli täyteaineet ovat Alénin (1994, 11) mukaan tavallisia mineraaleja, kuten baryytti, kalsiitti, talkki ja kaoliini. Ne tekevät maalikalvon tiiviiksi ja lujaksi. *Apuaineet* parantavat maalin kuivumisnopeutta, tasoittumista tai maalikalvon kiiltoa, valonkestävyyttä sekä homeenkestoa ja naarmuuntumiskestävyyttä. Maalit sisältävät myös *liuotteita ja ohenteita* joiden tehtävänä on antaa maalille sellainen viskositeetti, että se voidaan levittää esimerkiksi ruiskuttamalla.

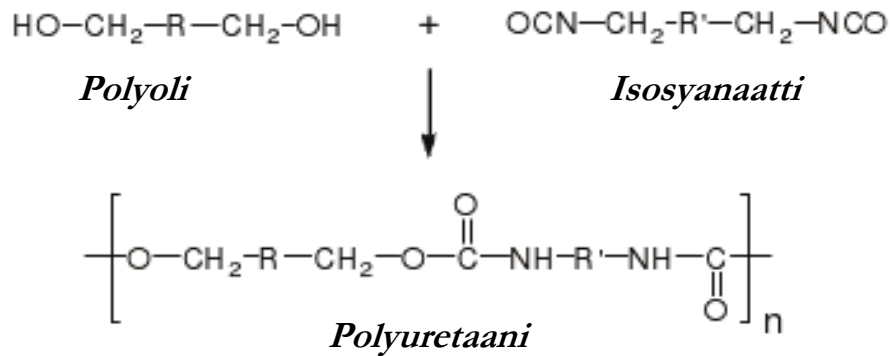
Reaktiomaaleja on yksi- ja kaksikomponenttisia sekä liuote- ja vesiohenteisia. Ilmakuivuvista maaleista kaksikomponenttimaalit ovat tärkeimpiä. Polyuretaanimaalien muoviosa sisältää hydroksidipitoista polyesteriä, akryyli-, polyeetteri- tai epoksihartsia. Kovete on aromaattinen tai alifaattinen isosyanaatti. Etyyli- ja alkalisilikaatit ovat reaktiivisia sideaineita, joita käytetään sinkkisilikaattimaalien sideaineina. Etyylisilikaattimaalit ovat liuoteohenteisia. Maalit muodostavat kuivuttuaan epäorgaanisen sinkkisilikaattikalvon. (Tunturi & Kaunisto 1983, 35) Kuviossa 9 on esimerkkejä pinnoitteissa yleisesti käytetyistä alifaattisista isosyanaateista. Kuviossa 10 on esitetty polymerointireaktio.



Kuvio 9. Yleisiä alifaattisia isosyanaatteja (Dalene, Skarping, Spanne & Willers 2007, 12).

Maalikomponenttien välillä tapahtuu kemiallinen reaktio, joka muodostaa maalikalvon. Reaktiomaalit koostuvat kahdesta eri osasta, joille on määritelty seossuhde sekoittamista varten. Seossuhteen annosteleminen on tehtävä maalinvalmistajan ohjeiden mukaisesti. Liian vähäinen tai liian suuri kovetteen annostelu, aiheuttaa aina maaliseoksen verkottumisvaiheessa ei

toivotun kemiallisen reaktion. Yleensä väärä seossuhde heikentää maalikalvon ominaisuuksia korroosiosuojauksessa.



Kuvio 10. Kaavio polymerointireaktio isosyanaattien polyolien kanssa (Dalene ym. 2007, 12).

Polyuretaanit ovat hartseja, jotka kovettuttuaan sisältävät uretaaniryhmän, joka muodostuu isosyanaattiryhmän (-NCO) reagoidessa jonkun alkoholin hydroksyyli-ryhmä (-OH) kanssa (Tampereen teknillinen yliopisto 2010, 109). Liuotteissa ei saa olla vettä, koska polyuretaanimaalien sideaine reagoi veden kanssa. Isosyanaatit saattavat aiheuttaa hengityselinten herkistymistä. Polyuretaanimaaleille on ominaista niiden hyvä mekaaninen kesto.

Reaktio tapahtuu Alénin (1994, 17) mukaan maalin osien kesken tai ympäristönsä kanssa. Reaktiossa pienimolekyylinen lakkahartsi verkkoutuu ja sen molekyylikoko kasvaa. Verkkoutunut maalikalvo ei enää liukene uudestaan maalin liuotteisiin, eikä pehmene lämmössä. Kemiakaalisesti kuivuvissa maaleissa on runsaasti kuiva-aineita. Nestemäiset lakkahartsit voivat olla liuotteettomia samoin, kuin jauhemaalit.

Reaktiomaalit kovettuvat huoneenlämpötilassa kemiallisesti. Ne muodostavat kalvon komponenttien kesken, sen jälkeen kun komponentit on sekoitettu keskenään (kaksikomponenttimaalit) tai kun maali reagoi ilman kosteuden kanssa (kosteuskovettuvat maalit). Sekoituksen jälkeen sideaineen komponentit alkavat reagoida keskenään. Seoksella on rajallinen käyttöikä. (Alén 1994, 18) Polyuretaanimaalit kovettuvat sideaineessa olevan isosyanaattiryhmän reagoidessa aktiivisen vedyn kanssa.

4.7 Kosteuskovettuvat maalit

Kosteuskovettuvissa maaleissa kalvo kuivuu tai muodostuu liuotteiden haihtuessa. Maali kovettuu reagoimalla kemiallisesti ilman kosteuden kanssa. Tyypillisenä sideaineena kaksikomponenttisessä maalissa on käytetty etyyli-silikaattia. *Edut tuotemaalauksessa:*

- korkea kuiva-ainepitoisuus
- alhaiset VOC-päästöt
- yhdistetty korroosio- ja säänkesto
- kestävä maalikalvo
- maalauksen kestoikä
- nopea kuivuminen ja kovettuminen ilman korotettua lämpötilaa

Huomioitava tuotemaalauksessa:

- mahdollisuus ruiskuttaa paksuja kalvonpaksuuksia
- ilmankosteus vaikuttaa verkottumiseen
- seoksen käyttöaika lyhyt
- seosvirheet näkyvät helpommin
- kovetteen kristallisoituminen
- lämpötilaerot vaikuttavat maalauksen lopputulokseen

Kuivumisaika riippuu muun muassa lämpötilasta, ilman liikkeestä, kosteudesta ja kalvonpaksuudesta. Kovettumisreaktio tapahtuu vielä lämpötilassa 0 °C tai alemmassa lämpötilassa edellyttäen, että ilmassa on edelleen riittävästi kosteutta. Mitä alhaisempi suhteellinen kosteus, sitä hitaampaa on kovettuminen. (SFS-EN ISO 12944-5 2007, 20)

4.8 Sinkkisilikaattimaalit

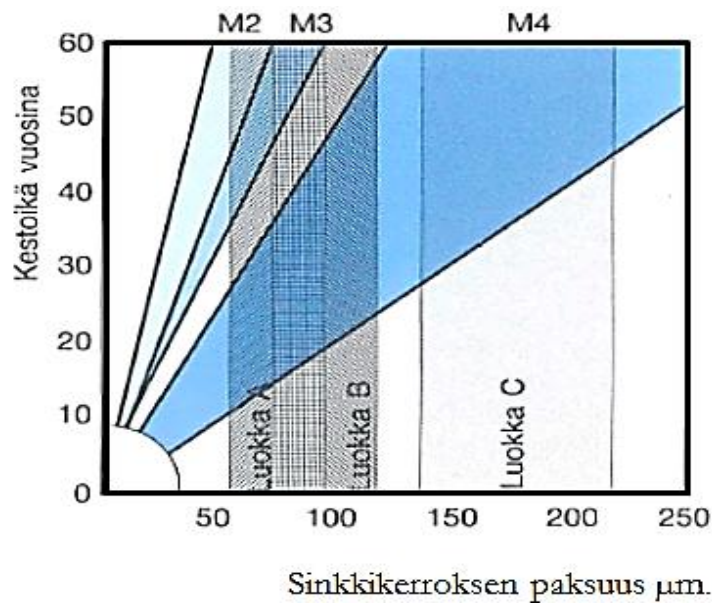
Sinkkipölyllä pigmentoidut silikaattimaalit muodostavat kuivuttuaan epäorgaanisen sinkkisilikaattikerroksen, joka suojaa teräspinnan katodisesti. Alkyyli-silikaattimaalit, joista etyyli-sili-

kaattimaali on yleisin, ovat liuoteohenteisia maaleja. Liuotteen haihduttua kalvosta silikaatti alkaa reagoida ilman kosteuden kanssa ja hydrolysoituu. Silikaatti sitoo sinkkihiukkaset toisiinsa ja alustaan. (Alén 1994, 21) Sinkkisilikaattimaalit kestävät hyvin korkeita lämpötiloja, mekaanista rasitusta ja neutraaleja liuotteita. Maali soveltuu pohjamaaliksi ympäristörasitusluokissa C4, C5-I ja C5-M. (Teknos 2012)

Sinkin terästä suojaavan vaikutuksen huomasi ranskalainen kemisti Melouin jo vuonna 1741. Tunturin ja Tunturin (1999, 59) mukaan sinkin hyvä korroosionkestävyys perustuu pinnoitettavaan alustaan muodostuvaan suojakalvoon. Sinkityksen jälkeen ilman happi yhtyy sinkkiin muodostaen oksidikerroksen. Oksidikerroksella itsessään on vain vähäinen korroosionestovaikutus, mutta ilmassa oleva kosteus ja hiilidioksidi muuttavat oksidikerroksen vähitellen emäksiseksi sinkkikarbonaatiksi. Sinkkipinnasta muodostuu tiivis ja korroosionkestävä.

Sinkkipölymaalien katodinen suojauskyky alenee melko pian korroosion alettua. Korroosiotuotteet peittävät ja täyttävät kuitenkin pian sinkkikerroksen ja sen huokokset, ja eristävät maalikalvon ympäristöstä. Maalikalvo muuttuu vastusinhiboivaksi kalvoksi ja pysyy sellaisenaan, kunnes sinkki paljastuu esim. mekaanisen vaurion takia, jolloin sinkki toimii katodisesti ja peittää naarmut. Tämä kaksoisvaikutus, katodinen suojaus sekä vastusinhibointi takaavat sinkkipölymaalille pitkän kestoian (Alén 2008, 686).

Sinkkipinnoitteen kestoikä kuvio 11 on riippuvainen kerrospaksuudesta. Suomessa suoritettujen pitkäaikaisten korroosiokokeiden mukaan sinkki syöpyy *maaseutuilmastossa* n. 0,5 $\mu\text{m}/\text{vuosi}$, *meri-ilmastossa* n. 1 $\mu\text{m}/\text{vuosi}$ ja *kaupunki-ilmastossa* 1-1,5 $\mu\text{m}/\text{vuosi}$. Sinkin syöpymisnopeuteen vaikuttavat merkittävimmin ilman SO_2 -pitoisuudet, jotka ovat jatkuvasti pienentyneet, joten sinkin kestävyys on parantunut saavuttaen em. arvot. (Tunturi & Tunturi 1999, 59)

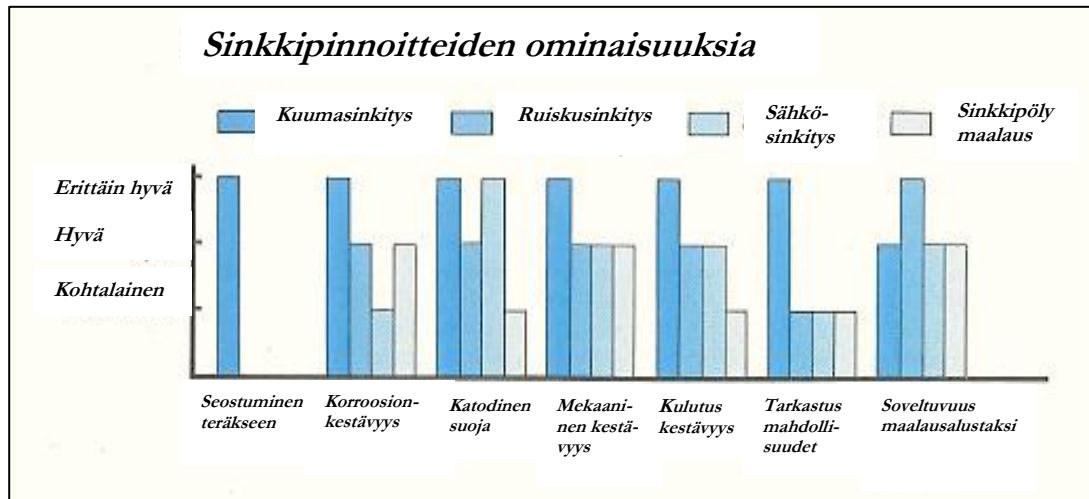


Kuvio 11. Sinkkipinnoitteen kestoikä vuosina (Tunturi & Tunturi 1999, 59).

Kuten ruiskusinkityksessäkin tulee kappaleet puhdistaa huolellisesti suihkupuhdistuksella vähintään asteeseen Sa 2 ½ (SFS-ISO 8501–1 1988). Kaavinnalla tai teräsharjauksella Runen (1989, 9) mukaan ei voi saada tyydyttävää tulosta.

Sinkkipölymaali koostuu hienojakoisesta Runen (1998, 9) mukaan sinkkijauheesta sideaineen ollessa orgaaninen tai epäorgaaninen. Sekä yksi- että kaksikomponenttisinkkimaaleja käytetään maalauksissa. Kuivan maalipinnan sinkkipitoisuuden tulee olla vähintään 92 paino- %. Maali voidaan levittää, joko siveltimellä tai ruiskuttamalla. Sinkkipölymaalilla maalaamista kutsutaan joskus ”kylmägalvanoinniksi”. Ilmeisesti halutaan antaa vaikutelma, että sinkkipölymaaleilla saadaan aikaan samantapaisia pinnoitteita kuin kuumasinkitykselläkin. Asia ei ole näin, kuten ilmenee kuvio 11. On muistettava, että maalaus sinkkipölymaalilla on maalausmenetelmä eikä metallipinnoitusmenetelmä.

Sinkkisilikaattimaaleja maalataan 60–70 µm:n kalvonpaksuuteen ja epoksisinkkipölymaaleja 40–60 µm:n kalvonpaksuuteen. Sinkkipölymaalikalvon huokoisuus voi aiheuttaa ylimaalausvaikeuksia, koska huokosissa oleva ilma saattaa aiheuttaa pintamaalin kuplimista. (Alén 2008, 686) Erilaisia pinnoitteiden ominaisuuksia voidaan verrata keskenään seuraavan kuvion 12 osoittamalla tavalla. Kuva käsittelee erilaisilla menetelmillä tehtyjä sinkkipinnoitteita.



Kuvio 12. Erilaisten sinkkipinnoitteiden vertailu (Tunturi & Tunturi 1999, 9).

Sinkkipölymaalaus on hyvä korroosio-, mekaanisenkestävyyden osalta. Lisäksi se soveltuu hyvin maalausalustaksi esimerkiksi reaktiomaaleille. On ymmärrettävää, että se ei voi antaa alustalle samanlaista suojaa, kuin kuumasinkitys. Pinnoitusmenetelmänä maalaus on helpompi tapa kuitenkin toteuttaa erimuotoisille suurehkoille teräsrakenteille.

Sinkki teräksen päällä on epäjalompi pinnoite, ja sen tehtävänä on uhrautua vaurioitumistilanteessa teräksen suojaamisessa korroosiota vastaan. Vaurion synnyttyä sinkki alkaa syöpyä ja se ryhtyy antamaan teräkselle katodista suojaa, niin kauan kuin sitä on korroosioelementin vaikutuspiirissä. Kaikista pinnoitusmenetelmistä yleisin on maalaaminen. Maalin tehtävänä on suojata alustaansa siihen kohdistuvilta ympäristörasituksilta, sekä antaa sille myös visuaalisesti miellyttävä ulkonäkö.

Sinkkipölymaalin levittäminen ei ole kuitenkaan yksinkertainen toimenpide. Sinkkipölymaalin ruiskutusvaiheessa syntyvästä ohiruiskutuksesta syntyy paljon irtopölyä. Jos maalia levitetään ruiskumaalauksen aikana tulevan kuivapölyn päälle, adheesio heikkenee ja korroosiosuojaus jää riittämättömäksi. Tämän takia maalaamiselle tulisikin suunnitella maalausjärjestys. Tämä on tärkeä toimenpide materiaalihukan vähentämisen sekä korroosiosuojauksen kannalta.

5 TERÄKSEN KORROOSIO

Ilmastollisessa korroosiossa ovat metallien korroosionopeuteen vaikuttavina tärkeimpinä tekijöinä Leino, Häkkä-Rönholm, Nieminen, Koukkari, Hieta & Vesikarin (1998, 27) mukaan pinnan märkänäoloaika, sekä ympäristössä olevat epäpuhtaudet. Epäpuhtauksista ovat erityisesti rikin ja pinnan märkänä oloaika sekä kloorin yhdisteet, ovat korroosiota voimakkaasti kiihdyttäviä tekijöitä. Ympäristön rasisitusluokkaa määrittäessä otetaan huomioon kohteen välittömässä läheisyydessä vaikuttavat ilmasto-olosuhteet.

Teräksen korroosio nopeus ei ole vakio ajan funktiona. Korroosio on yleensä huomattavasti nopeampaa ensimmäisen vuoden aikana ja vähenee sen jälkeen asteittain. Standardi ISO 9224 ”Metallien ja metalliseosten korroosio. Ilmaston syövyttävyyys” antaa suuntaa antavia arvoja metallien korroosionopeuksille, kymmenen ensimmäisen vuoden ajalta. (Leino ym., 1998, 30)

Rakenteen ympäristö- ja erikoisrasitukset vaikuttavat suuresti korroosiomaalauksen kestävyteen ja maalauksen suunnitteluun. Standardi ISO 12944-2 luokittelee ilmastorasitukset kuuteen luokkaan:

- C1 hyvin lievä
- C2 lievä
- C3 kohtalainen
- C4 ankara
- C5-I erittäin ankara (teollisuus)
- C5-M erittäin ankara (meri)

Luokittelu perustuu teräksen ja sinkin syöpymisnopeuteen ensimmäisenä vuonna. Seuraavassa taulukossa 1 on havainnollistettu teräksen ja sinkin korroosionopeutta eri ympäristörasitusluokissa. Esimerkiksi rasisitusluokassa C5-I sinkki syöpyy 4,2 – 8,4 µm ja suojaamaton hiiliteräs 80–200 µm vuodessa.

Taulukko 1. Teräksen ja sinkin korroosionopeus eri rasisitusluokissa ensimmäisen vuoden aikana standardin ISO 9223 mukaisesti Leino ym. (1998, 29).

Rasitus- luokka	Korroosionopeus				Esimerkkejä tyypillisistä ympäristöistä lauhkeassa ilmastossa	
	Hiiliteräs		Sinkki		Ulkona	Sisällä
	g/m ²	µm	g/m ²	µm		
C1 Hyvin lievä	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1		Lämmitettyjen rakennusten sisällä, puhtaassa ilmassa, esim. toimistot, kaupat, koulut, hotellit.
C2 Lievä	10 - 200	1,3 - 25	0,7 - 5	0,1 - 0,7	Ilmatilat, joissa epäpuhtauksien määrä on alhainen ja ilmasto kuiva. Enimmäkseen maaseutualueita.	Lämmittämättömät rakennukset, esim. varastot, urheiluhallit.
C3 Kohtalainen	200 - 400	25 - 50	5 - 15	0,7 - 2,1	Kaupunki- ja teollisuusilmastot, kohtalainen SO ₂ -kuormitus. Rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus.	Tuotantolaitokset, joissa korkea kosteuspitoisuus ja vähän epäpuhtauksia ilmassa, esim. elintarviketehtaat, pesulat, panimot, meijerit.
C4 Ankara	400 - 650	50 - 80	15 - 30	2,1 - 4,2	Teollisuusalueet ja rannikkoalueet, joilla kohtalainen suolapitoisuus.	Kemianteollisuuden tuotantolaitokset, uimalat, rannikolla sijaitsevat telakat
C5-I Hyvin ankara	650 - 1500	80 - 200	30 - 60	4,2 - 8,4	Teollisuusalueet, joilla kosteus on korkea ja ilmasto on syövyttävä.	
C5-M Hyvin ankara	650 - 1500	80 - 200	30 - 60	4,2 - 8,4	Rannikkoalueet ja muut alueet, joilla suolapitoisuus on korkea.	

Pinnoitteen valinta tapahtuu maalausjärjestelmän ja metallipinnoitteen välillä. Kappaleen luonnetta kuvaavat valintaryhmät ovat Tunturi ja Tunturin (1999, 17) mukaisesti: massiivinen kappale, ohutlevytuote, lanka- ja tankotuote, avoprofiilituote, putkituote tai -rakenne sekä työstetty konepajatuote.

Käyttötarkoitus ryhmitellään: suojapinnoitteisiin, sisältäen korroosiosuojan, kulutussuojan, tai muun suojan. *Käyttöolosuhteet jaotellaan* standardien mukaisiin ilmastorasitukseen M0-M4, upotusrasituksessa nesteeseen sekä muihin ympäristörasitukseen, sisältäen vesiroiskeet, upotuksen maahan tai betoniin, kosketuksen puuhun, vesihöyryyn, voiteluolosuhteisiin tai johonkin muuhun rasitukseen. Pinnoitteelta vaadittavat ominaisuudet ryhmitellään: mekaaniseen kestävyyteen, lämmön kestävyyteen, huolettavuuteen ja muihin ominaisuuksiin kuten esimerkiksi hygieniaisyyteen, eristyskykyyn ja johtavuuteen. (Tunturi & Tunturi 1999, 17)

Sähkökemiallisen korroosion esiintymismuodot jaotellaan Siitosen (2008, 100) mukaan seuraavasti:

1. Yleinen syöpyminen
- 2-3. Paikallinen syöpyminen
 - *pistesyöpyminen*
 - *rako- eli piilokorroosio*
4. Galvaaninen eli kontaktikorroosio
- 5-6. Pintaan kohdistuvan mekaanisen rasituksen kiihdyttämä syöpyminen
 - *eroosikorroosio*
 - *kavitaatiokorroosio*
 - *hiertymiskorroosio*
7. Raerajakorroosio
8. Valikoiva syöpyminen
- 9–10. Jännitystilän ja korroosion yhteisvaikutuksesta aiheutuva murtuminen
 - *jännityskorroosio*
 - *korroosioväsyminen*

5.1 Yleinen korroosio

Yleisessä syöpymisessä metallin koko pinta syöpyy tasaisella nopeudella anodisten ja katodisten alueiden vaihtaessa koko ajan sijaintiaan. Yleinen korroosio on Siitosen (2008, 102) mukaan suojaamattomien metallipintojen tyypillinen korroosionmuoto ilmasto-olosuhteissa sekä useissa tapauksissa myös kemikaaleille altistetuissa metallipinnoissa.

Yleistä korroosiota voidaan ehkäistä Nikulan (2008, 193) mukaan seuraavilla toimenpiteillä:

- Valitse oikea, syövyttävää ainetta kestävä rakenneaine.
- Käytä syövyttävää ainetta kestävää pinnoitusta, kuten esimerkiksi sinkitys, maalaus, muovipinnoite jne.
- Käytä tarvittaessa anodista tai katodista suojausta.

5.2 Pistesyöpyminen

Pistesyöpymisessä metallin syöpyminen keskittyy Siitosen (2008, 103) mukaan pienille alueille metallin pinnalle synnyttäen paikallisia kuoppamaisia syvänteitä. Yleensä se pysähtyy, kun kuopat ovat saavuttaneet tietyn syvyyden. Koska hapen liukoisuus syöpymässä olevaan väkevöityneeseen elektrolyyttiin on pieni, tapahtuu katodisena reaktiona oleva hapen pelkistyminen syöpymän viereisillä alueilla. Täten pistesyöpymä tavallaan suojaa ympäristöään katodisesti.

Pistesyöpymää voidaan ehkäistä Nikulan (2008, 182- 183) mukaan seuraavilla toimenpiteillä:

- Huolehdi, että rakenneaineen pinta on puhdas ja tasainen.
- Kriittisissä pistesyöpymistä aiheutuvissa ympäristöissä on hitsin pinnan puhdistus austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä suoritettava erittäin huolella. Tavallinen hiekkapuhallus karhentaa ruostumattoman teräksen sileän pinnan ja saattaa tuoda epäpuhtauksia pintaan; teräsharjaus on usein hiekkapuhallusta huonompi; parempi tulos saadaan hyvällä puhdistuslaikalla.
- Valitse tiivis luotettava suoja-pinnoite.

5.3 Rakokorroosio

Sellaisissa ahtaissa raoissa, joihin liuos pääsee tunkeutumaan, mutta Siitosen (2008, 108) mukaan joissa se ei pääse vaihtumaan samalla nopeudella, kuin muilla metallipinnan alueilla, tapahtuu rakokorroosiota. Tavallisimmin tällainen korroosiotilanne syntyy esimerkiksi seuraavien tekijöiden vaikutuksesta:

- 1) Rakenne on geometrisilta muodoiltaan tai valmistustekniikaltaan sellainen, että noin 0,025 – 0,1 mm:n rakoja muodostuu liuoksen kanssa kosketuksessa oleville alueille. Yleensä tällaisia rakoja muodostuu erilaisiin niitti-, pultti- ja hitsausliitoksiin
- 2) Metallin ja epämetallien kosketuspinnat, esimerkiksi tiivisteliitoksissa, jos käytetty tiivistemateriaali on vettä absorboivaa tai ei täysin peitä tiivistepintaa.
- 3) Metallin pinnalla on erilaisia kiinteitä partikkeleita, esimerkiksi hiekkaa, tai pinnalle muodostuneita kiinteitä lika- tai korroosiosaostumia.

Erityisesti ne metallit, joiden korroosionkestävyys on seurausta passivaatiosta (esimerkiksi ruostumattomat teräkset), ovat hyvin herkkiä rakokorroosiolle. Rakokorroosiota voidaan estää Nikulan (2008, 187) mukaan seuraavilla toimenpiteillä:

- Vältä rakoja vaikeissa korroosio-olosuhteissa.
- Käytä muotoilua, joka auttaa pinnan puhtaana pysymistä.
- Käytä hitsattuja päittäisliitoksia ruuvi- tai niittiliitoksien asemasta.
- Käytä jatkuvia hitsejä. Sulje raot limiliitoksissa jatkuvilla tiivishitseillä tai juottamalla.
- Arvioi yksityiskohtaisesti rakokorroosion vaara kunkin materiaalin kohdalla. Valitse rakokorroosiota paremmin kestävä rakenneaine.

5.4 Galvaaninen korroosio

Galvaanista korroosiota esiintyy silloin, kuin samassa elektrolyytissä on kaksi erilaista metallia sähköisessä kontaktissa toisiinsa. Aiemman elektrodipotentiaalin omaava eli epäjalompi metalli muodostuu anodiksi ja syöpyy. Siitosen (2008, 109–110) mukaan jalomman metallin syöpyminen pysähtyy lähes aina täysin. Galvaaninen korroosiopari, voi muodostua myös sil-

loin, kun metalli on kosketuksessa jalomman ei-metallisen sähköjohtavan materiaalin kanssa esimerkiksi kun teräs, kupari tai ruostumaton teräs on kosketuksessa grafiitin kanssa.

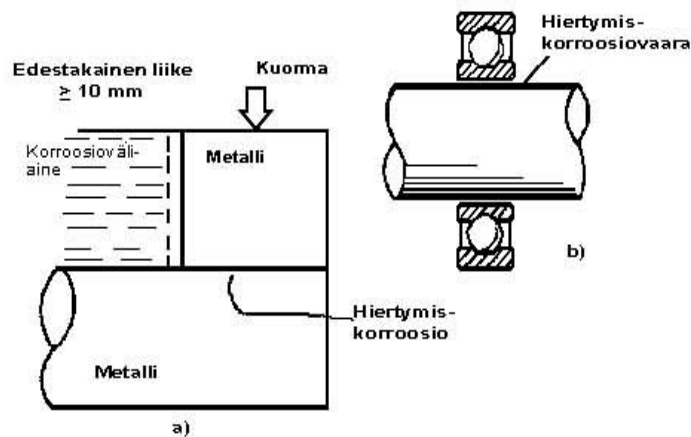
Galvaanista korroosioparia voidaan hyödyntää korroosionestossa ns. katodisessa suojauksessa kytkemällä suojattava metalli epäjalompaan metalliin tai pinnoittamalla metalli epäjalomalla metallilla esimerkiksi teräksen suojaus sinkkipinnoitteella ilmastollisessa rasituksessa.

Galvaanista korroosiota voidaan ehkäistä Nikulan (2008, 168) mukaan seuraavilla toimenpiteillä:

- Jos on käytettävä metalleja, joilla on galvaanisen korroosion vaara, valitaan korroosion kestävyden kannalta mahdollisimman samanlaiset metallit ja varmistetaan täydellinen sähköinen eristys niiden välillä.
- Pyritään aina välttämään tapausta, jossa anodipinta-ala on pieni ympäröivään katodipinta-alaan nähden. Pieni anodipinta syöpyy suuren katodipinnan vuoksi erittäin voimakkaasti. Tarvittaessa pienennetään katodipintaa tiiviillä maalauksella. Ruostumaton teräskin kannattaa tällaisessa paikassa maalata. Mutta varotaan sinkkipölymaaleja, koska ne voivat aiheuttaa vaikeuksia ruostumattoman teräksen hitsauksessa.
- Vältetään kierreliitoksia metallien välissä. Asetetaan hitsausliitokset etusijalle.

5.5 Hiertymiskorroosio

Hiertymiskorroosio tapahtuu Siitosen (2008, 114) mukaan kahden toisiaan vastaan puristetun pinnan välissä silloin, kun pinnat värähdellessään pääsevät liikkumaan hieman toistensa suhteen. Pintojen profiilihuippujen kosketuskohdissa kosketusjännitykset nousevat hyvin suuriksi. Kuviossa 13 on esitetty hiertymiskorroosion tilanne. Tyypillisesti hiertymiskorroosiota esiintyy pinnoilla, joita alun perin ei ole tarkoitettu liikkuviksi, mutta jotka ovat esimerkiksi kiristyksen löystyessä alkaneet värähdellä toistensa suhteen.



a) periaatteellinen esitys hiertymiskorroosiosta

b) hiertymiskorroosion tavanomainen esiintymispaikka käytännön rakenteissa

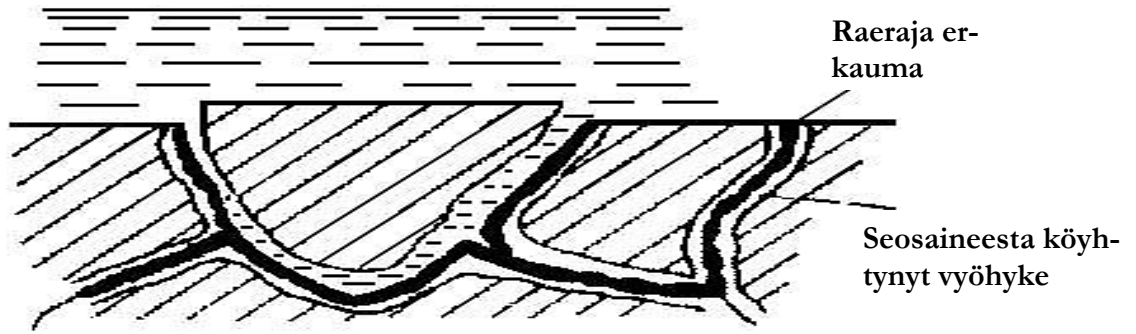
Kuvio 13. Hiertymiskorroosio (Siitonen, 2008, 109).

Hiertymiskorroosiota voidaan ehkäistä Nikulan (2008, 171) mukaan seuraavilla toimenpiteillä:

- Vältetään rakenteita, joissa voi syntyä pintojen välistä värähtelyliikettä.
- Valitaan riittävän tiukat sovitteet, jotta pinnat eivät pääse värähtelemään ja lisätään tarvittaessa pintojen välistä kitkaa esimerkiksi karhentamalla.
- Lisäämällä toisiaan koskettavien pintojen kovuutta kovemmilla rakenneaineilla tai lisäämään pintojen kovuutta kuulapuhalluksella tai muulla kylmämuokkauksella.

5.6 Raerajakorroosio

Metalliseosten jäähmettymisen, lämpökäsittelyn, hitsauksen tai korkean lämpötilan käyttämisen yhteydessä raerajoille voi muodostua korroosiokestävyyttä heikentäviä yhdisteitä. Tällöin syövyttävissä olosuhteissa metalliseos syöpyy voimakkaasti raerajoja pitkin. Raerajakorroosiota voivat aiheuttaa kuvio 14 raerajoille suotautuvat epäpuhtaudet ja tietyn seosaineen rikastuminen tai köyhtyminen matriisista raerajojen läheisyydessä raerajaerkaumien vuoksi. (Siitonen, 2008, 115)



Kuvio 14. Raerajakorroosio (Siitonen, 2008, 115).

Korirakenteeseen voi syntyä herkistymistä hitsauksien jälkeisen jäähtymisen seurauksena. Raerajakorroosiota on mahdollista tutkia Straussin kokeella.

5.7 Herkistyminen

Käytännön kannalta merkityksellisin raerajakorroosion muoto on ruostumattomilla teräksillä ns. herkistymisilmiön seurauksena tapahtuva raerajakorroosio. Lämpökäsittelyn tai esimerkiksi hitsauksen yhteydessä Siitosen (2008, 116) mukaan raerajoille muodostuu kromikarbida, johon sitoutuu runsaasti kromia raerajojen läheisyydestä. Karbidin viereen muodostuu tällöin kapea kromiköyhä vyöhyke. Ruostumattoman teräksen hitsauksen yhteydessä herkistymistä saattaa tapahtua perusaineen lämpövyöhykkeessä, jolloin lämpötila on herkistymistä aiheuttavalla 550–800 °C alueella.

Raerajakorroosiota ja herkistymistä voidaan ehkäistä Nikulan (2008, 184–185) mukaan seuraavilla toimenpiteillä:

- Vaikeissa ja vaativissa paikoissa on käytettävä niukkahiilistä austeniittista ruostumattomaa terästä, jonka hiilipitoisuus $C \leq 0,03 \%$, ja joka ei normaalissa käytössä herkisty.
- Huolehdittava, että hitsauskohta ja hitsausaine ovat puhtaita rasvasta ja muista epäpuhtauksista.
- Useamman korjaushitsin vuoksi herkistynyt ruostumattoman teräksen kohta kannattaa leikata pois ja hitsata uusi pala tilalle siten, että hitsit tulevat herkistymättömiin kohtiin.

5.8 Jännityskorroosio

Jännityskorroosiossa Siitosen (2008, 117–118) mukaan metalliin muodostuu murtumia korroosion ja pinnassa vaikuttavan vetojännityksen vaikutuksesta. Jännitysvetomurtumaan johtava korroosioympäristö on spesifinen kullakin materiaalilla. Vetojännitystila puolestaan voi olla seurausta ulkoisesta kuormituksesta ja/tai sisäisestä jännityksestä. *Ulkoinen kuormitus voi aiheuttaa:*

- staattisesta kuormituksesta
- termisistä mittamuutoksista
- ruuviliitoksen kiristysvoimasta
- staattisesta paineesta
- pyörimisliikkeen hitausvoimista
- värähtelyistä

Sisäisiä jännityksiä aiheuttavat:

- kylmämuokkaus
- lastuaminen
- leikkaus, lävistäminen
- lämpökäsittely
- hitsaus

Sisäiset jännitykset ovat erityisesti vaarallisia, koska niiden suuruutta on vaikeata ennustaa ja ne usein ovat hyvin suuria, lähes metallin myötölujuuden suuruisia. Erittäin vaaralliseksi tilanne muodostuu Siitosen (2008, 118–119) mukaan, kun sekä ulkoiset että sisäiset jännitykset vaikuttavat samanaikaisesti. Huolimatta siitä, että jännityskorroosio on käytännössä hyvinkin yleinen ja haitallinen vaurioita aiheuttava korroosiomuoto, sen mekanismia ei vielä ole täysin selvitetty.

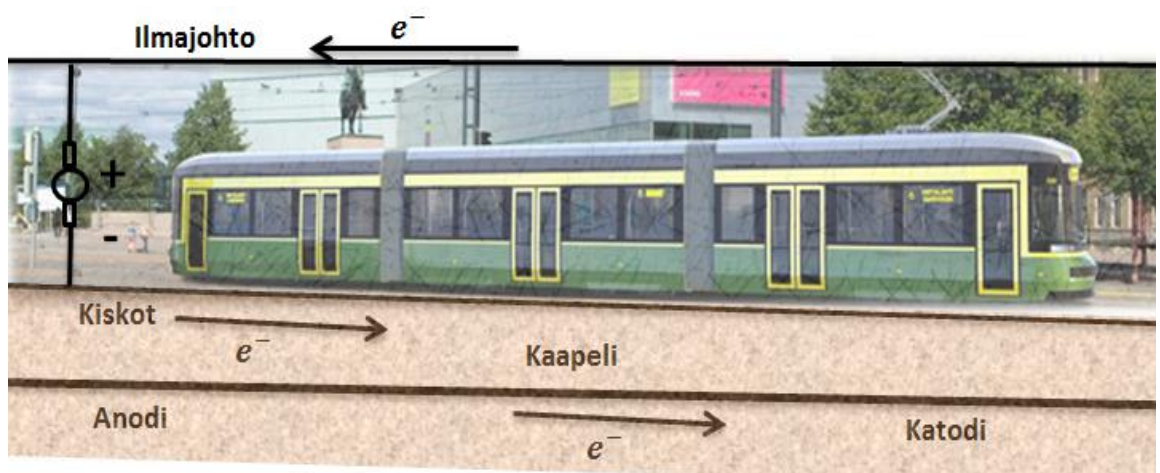
Jännityskorroosiota voidaan estää seuraavilla toimenpiteillä (Nikula, 2008, 175):

- Käytä riittävän suurta varmuuskerrointa lujuuden suhteen.
- Poista tai vähennä vetojännitykset lämpökäsittelyllä.
- Suunnittele hitsausjärjestys niin, että rasitekemikaalin puoleisen hitsipinnan vetojännitys tulee mahdollisimman pieneksi.
- Estä syövyttävän aineen pääseminen metallin pintaan luotettavalla suoja-pinnoitteella.

5.9 Hajavirtakorroosio

Hajavirtakorroosion voi Nikulan (2008, 170) mukaan aiheuttaa esimerkiksi sähkökoneen huono maadoitus, jolloin osa maadoitusjohdon kautta tarkoitettusta sähkövirrasta kulkeekin muuta, sähköä paremmin johtavaa kenttää pitkin. Johtavan kentän elektrolyytissä oleva metallin anodiksi joutunut pinta syöpyy ja katodiksi tullut vastakkainen sähköä välittävä metallin pinta voi vaurioitua siksi, että sen lähellä oleva elektrolyytti tulee emäksiseksi ja vahingoittaa emäkselle arkaa suoja-pinnoitetta tai metallia.

Hajavirtakorroosiolla ympäristöllä ymmärretään korroosiota kuvio 15, jonka aiheuttaa varsinaisen virtajohtimen ulkopuolelle päässyt sähkövirta virtajohtimen tai virtajohtimeksi joutuneen metallin anodikohdassa sekä välillisesti katodikohdissa.



Kuvio 15. Hajavirtakorroosio mukaeltu Nikulaa (2008, 170).

Hajavirtakorroosiota voidaan ehkäistä Nikulan (2008, 170) mukaan seuraavilla toimenpiteillä:

- Sähköjohdot ja sähkölaitteet on suunniteltava siten, että vuotovirralla alttiit paneelit tms. sähköä johtavat osat ovat luotettavasti maadoitettuja.
- Sähköjohdot, -komponentit ja -laitteet on eristettävä muista rakenteista luotettavasti.
- Hajavirrat poistetaan suojaavalla toisella johtimella (suojaputki).
- Metallirakenteet liitetään maadoituspisteisiin luotettavilla sähköjohtavilla liitoksilla.
- Kriittisten sähköjohtavien rakenteiden sähkönjohtavuus on varmistettava.

Raitiovaunun koriin kohdistuu useita korroosionmuotoja, joiden torjuminen on huomioitava korroosiosuojausta suunnitellessa. Hyvällä kokonaisvaltaisella suunnitelmalla nämä riskitekijät voidaan poistaa. Lopullinen korroosiosuojaus tehdään pinnoitusyhdistelmällä, jolla saavutetaan pitkäaikainen korroosiosuojaus korirakenteelle. On hyvä todeta, että korroosio ei johdu ainoastaan suojamaalauksen väärästä valinnasta tai riittämättömästä esikäsittelystä. Suojamaalauksella on kuitenkin suurin merkitys teräksen lopullisessa korroosiosuojauksessa.

6 KORROOSION TORJUNTA

Korroosion torjunta perustuu pitkälti käytännön kokemuksista opittuun osaamiseen. Mutta korroosion torjunnan tuloksellinen toteuttaminen edellyttää, myös korroosion teorioiden riittävän laajaa tuntemista ja ymmärtämistä. Korroosioneston riittävän laaja hallinta antaa myös mahdollisuuden ottaa vastaan ja ymmärtää uusinta korroosionestoa koskevaa tietoa, hyödyntää sitä nopeasti ja suorittaa tarvittaessa selventäviä korroosiokokeita. (Nikula 2008, 160)

6.1 Korroosio toiminnan perusedellytykset

Tehokkaan korroosio toiminnan perusedellytyksiä ovat korroosion teoreettisten perusteiden riittävä tunteminen ja ymmärtäminen. Näitä ovat Nikulan (2008, 161) mukaan metallien sähkökemiallinen korroosio, korroosio prosessien termodynamiikka ja kinetiikka, passivaatio ja korkean lämpötilan korroosio ilmiöt sekä korroosion ilmenemismuodot. Hyödyllistä on myös tuntea korroosion taloudelliset vaikutukset sekä korroosioneston tärkeys turvallisuuden ja ympäristönsuojelun varmistamisessa. Näiden riittävällä ymmärtämisellä selvitetään monet korroosiotapaukset ja osataan valita niille käytännön estokeinoista taloudellisesti edullisia ratkaisuja.

Maalaukset eivät ole aina ratkaiseva tekijä valittaessa maalausjärjestelmää. Valintaan vaikuttavat myös suuresti tuotteen huoltomaalausjärjestelmän kokonaiskustannukset. Monesti maalaus yritetään tehdä, niin pienillä kustannuksilla ja pitkällä huoltomaalaus väleillä, kuin vain se on mahdollista toteuttaa. Tästä johtuen saattaa sitten aiheutua toimittajalle suuriakin taloudellisia tappioita. Tämän takia korroosioon liittyvä tutkimustyö, olisi aina ennen uusia tuotemaalauksia hyvä suorittaa. Taloudellisesti tämän tapainen tutkimus maksaa itsensä takaisin mahdollisten korjauskustannuksien kautta.

6.2 Korroosion mittaus- ja tutkimusmenetelmät

Tehokkaan korroosion torjunnan tärkeä edellytys on Nikulan (2008, 164) mukaan on myös olemassa olevien korroosion mittaus- ja tutkimusmenetelmien tunteminen. Korroosion mittaus- ja tutkimusmenetelmillä voidaan suhteellisin pienin kustannuksin sekä nopeasti selvittää rakenneaineiden ja suoja-ainotteiden korroosionkestävyys ja korroosionilmenemismuodot halutuissa korroosioympäristöissä.

Tutkimus- ja testaustoimintaan löytyy paljon apua pintakäsittelyyn liittyvistä standardeista. Pintakäsitteltyjen tuotteiden laaduntarkastukset ovat pieni osa laadunvalvontaa jota pintakäsittelyprosessin aikana suoritetaan. Laadunvalvonta on siis koko prosessin aikaista valvontaa, joka käsittää esimerkiksi kemikaalien, raaka-aineiden, työvaiheiden, työtapojen, työvälineiden, ohjeistuksien valvontaa.

Laboratoriossa suoritettavat korroosio-koekkeet ovat yleensä edullisia, koska niissä kaikki korroosioon vaikuttavat tekijät voidaan hallita ja mitata. Nikulan (2008, 164) mukaan laboratorio-olosuhteissa ei kuitenkaan voida selvittää kaikkia todellisen prosessin epäpuhtauksien ja syntytilassa olevien yhdisteiden, virtausolosuhteiden ja seinämäympäristöjen korroosiovaikutuksia. Luotettavimmat korroosiotulokset saadaan, vain todellisissa käyttöympäristöissä.

Käytännön olosuhteita simuloivissa laboratorio kokeissa kuitenkin harvoin pystytään ottamaan huomioon kaikki materiaalin korroosiokestävyyteen vaikuttavat tekijät. Vaikeasti arvioitavia tekijöitä ovat esimerkiksi rakenteen geometrian vaikutus, valmistuksen aiheuttamat rakennemuutokset materiaalissa, korroosioympäristössä ajan mukana tapahtuvat muutokset, vaurion tai virhetoiminnan korroosioympäristöön aiheuttamat muutokset. (Siitonen, 2008, 843)

Vaurioanalyysit ovat merkittävä osa laboratorioissa suoritettavista korroosioon liittyvistä tutkimuksista. Vauriotutkimuksen perustyökalu on Siitosen (2008, 857) mukaan optinen mikroskoopi, jolla voidaan tarkastella mikrorakennetta ja korroosiotuotteita poikkileikkaushieistä. Kun optisen mikroskoopin erotuskyky ei riitä tai halutaan tarkastella epätasaisia korroosiotuotepintoja sekä murtopintoja, käytetään pyyhkäisyelektronimikroskooppia (scannig-

elektronimikroskooppi, SEM), jonka avulla voidaan havaita ja kuvata pieniä yksityiskohtia esimerkiksi muutaman mikrometrin paksuisia korroosiokerroksia.

Luotettavin tieto materiaalien korroosionkestävyydestä saadaan käytännössä toimivista laitteista ja prosesseista. Nykyinen niin prosessien, kuin uusien materiaalien ja korroosionmenetelmienkin nopea kehittyminen aiheuttaa tilanteen, jossa käytännön korroosiotietoa ei useinkaan ole saatavissa. Tällöin tarvitaan Siitosen (2008, 842) mukaan nopeasti tietoa materiaalien korroosiokestävyydestä esimerkiksi jossakin uudessa prosessissa. Laajamittaisia käytännön materiaalien testauksia ei voida toteuttaa ajan käytön tai resurssien vähyden vuoksi.

Menetelmistä on paljon apua maalien tuotekehityksessä, mutta Alénin (1994, 27) mukaan maalien käyttäjää varten on laboratoriotestien avulla vaikeaa ennustaa maalauksen kestävyyttä. Vasta käytännön kokeet todellisissa olosuhteissa antavat luotettavat tulokset. Laboratoriotestit sen sijaan soveltuvat laadunvalvontaan hyvin.

6.3 Korroosionestomaalaukseen liittyviä standardeja

Standardeilla pyritään edistämään kansantaloutta, lisäämään turvallisuutta ja hyvinvointia, suojaamaan kuluttajaa sekä helpottamaan kotimaista ja kansainvälistä kauppaa. Maalaustyön suunnitteluun ja työhön liittyvät standardit ovat syntyneet tuloksena pitkäaikaisesta järjestelmällisestä työstä. Standardien avulla maalien käyttäjät ympäri maailmaa tietävät täsmällisesti minkälaisesta ympäristöstä, rakenteesta, alustasta, maalista tai maalaustyöstä on kysymys. Kansainvälinen korroosionestostandardi SFS-EN ISO 12944 koostuu seuraavista osista:

Osa 1 Yleistä.

Osa 2 Ympäristöolosuhteiden luokittelu.

Osa 3 Rakenteen suunnitteluun liittyviä näkökohtia.

Osa 4 Pintatypit ja pinnan esikäsitteily.

Osa 5 Suojamaaliyhdistelmät.

Osa 6 Laboratoriomenetelmät suorituskyvyn testaamiseksi.

Osa 7 Maalaustyön toteutus ja valvonta.

Osa 8 Erittelyiden laatiminen uudisrakenteille ja huoltomaalaukseen.

Standardin ISO 12944-1 mukaisesti maalauksen kestävyys jaetaan seuraavalla tavalla kolmeen luokkaan (Teknos, 2012, 11–12):

- *2-5 vuotta* *L (low) – alhainen*
- *5-15 vuotta* *M (medium) – kohtalainen*
- *yli 15 vuotta* *H (high) – korkea*

Kestävyys on arvio, joka voi auttaa omistajaa laatimaan kunnossapito-ohjelman. Takuu-aika on tärkeä tekijä, josta on omat lailliset kohtansa sopimuksen hallinnollisessa osassa. *Takuu-aika on yleensä lyhyempi, kuin kestävyysluokka.*

Standardissa ISO 12944-3 annetaan ohjeita maalattavien rakenteiden suunnittelemiseksi. Standardissa ISO 12944-4 käsitellään erilaisia maalattavia alustamateriaaleja ja esikäsittelymenetelmiä. Esikäsittelymenetelmien ja esikäsittelyasteiden määrittelyssä viitataan olemassa oleviin ISO – standardeihin:

- ISO 8504 Esikäsittelymenetelmät
- ISO 8501 Ruostumisasteet ja esikäsittelyasteet
- ISO 8503 Pintaprofiilin arviointimenetelmät.

6.4 Maalausjärjestelmät

Korroosionestomaalausjärjestelmä koostuu maalausalustasta, pinnan esikäsittelystä sekä niiden maalien yhdistelmästä, joilla pinta on maalattu. Standardissa ISO 12944-5 esitetään tavallisimmat korroosionestomaalityypit ja maalausjärjestelmät. Maalityyppien merkinnät ovat:

Akryylimaalit	AY
Alkydimaalit	AK
Epoksimaalit	EP
Kloorikautsumaalit	CR
Polyuretaanimaalit	PUR
Polyuretaanitervat	PURC

Sinkkisilikaatti	ESI Zn (R)
Sinkkisepoksi	EP Zn (R)
Vinyylimaalit	PVC

ISO 12944–5:2007 standardin mukaan maalausjärjestelmät merkitään seuraavasti: Standardissa on kahdeksan taulukkoa (A1-A8), joissa esitetään maalausjärjestelmät eri rasiusluokkiin teräs- ja sinkkipinnoille sekä taulukossa ilmoitetaan maalausjärjestelmän:

- numero
- pohjamaalin sideainetyyppi, kerroslukumäärä ja nimelliskalvonpaksuus
- väli- ja pintamaalien sideainetyyppi
- maalausjärjestelmän kokonaiskerroslukumäärä ja nimelliskalvonpaksuus
- arvioitu kestoikä

6.5 Maalien testaus

Uusien maalausjärjestelmien kelpoisuuden arvioimiseksi on laadittu standardi ISO 12944-6. Maalausjärjestelmien soveltuvuutta arvioidaan laboratoriossa käyttäen veden kondensaatio-testiä (ISO 6270), neutraalia suolasumutestiä (ISO 9227) sekä vesi- ja kemikaalikestävyystestiä (ISO 2812 -1 ja -2). Maalien testausta käytännön olosuhteissa pidetään parhaana menetelmänä ja tunnettujen, perinteisten maalausjärjestelmien käyttö referenssinä kaikissa koestuksissa on suositeltavaa.

Konepajamaalaukselle asetetut vaatimukset täytetään parhaiten käyttämällä maaliyhdistelmiä, joilla tarkoitetaan Tunturin ja Kauniston (1983, 79) mukaan kaikkien tietyn kohteen suojaukseen kuuluvien maalien muodostamaa kokonismaalikalvoa. Maaliyhdistelmien valinnassa tulee huomioida useita asioita. Osa valintaan vaikuttavista tekijöistä liittyy rakenteen laatuun, käyttöön ja sijoitukseen. Lisäksi, että maaliyhdistelmän maalien pitää soveltua erityisesti:

- kohteen sijaintiin
- toistensa yhteyteen
- käytettävissä olevaan pinnan puhdistusmenetelmiin

- vallitseviin maalausolosuhteisiin
- maalauksen tulee olla myös taloudellisesti edullinen korroosionestomuoto.

Myös pintakäsittelymenetelmän valintaan vaikuttavat tekijät tulee huomioida maaliyhdistelmää valittaessa.

- mitkä maaliyhdistelmät kestävät ympäristörasitukset
- ovatko nämä saatavissa
- ovatko maaliyhdistelmän maalit keskenään yhteensopivia
- ovatko maaliyhdistelmän maalit yhteensopivia alustan kanssa
- Voidaanko maalaus tehdä siveltimellä, telalla, ruiskulla tai muulla mahdollisella tavalla.

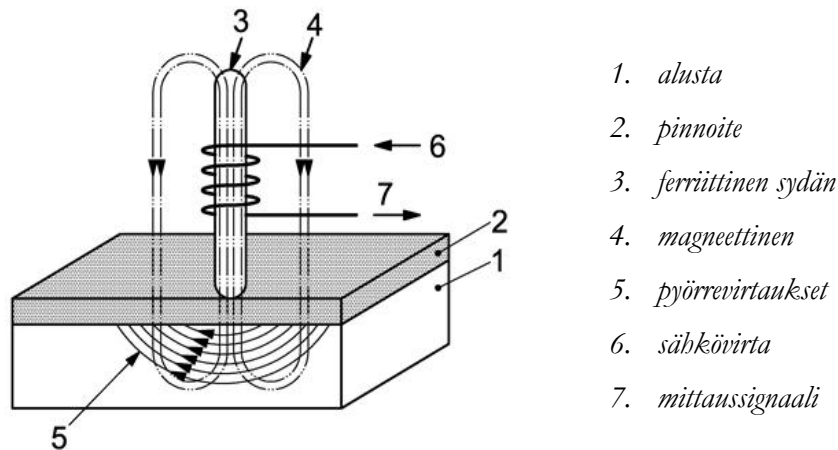
Korroosiosuojauksen lähtökohtana on suojata maalattavaa alustaa aina niissä olosuhteissa, jonne maalattava kohde sijoittuu. Maalausmenetelmät ja maalaustyö sekä laadunvalvonta esitetään standardissa ISO 12944-7. Maalaus kuuluu prosesseihin, joissa laatua on vaikea arvioida pelkästään lopputarkastuksen perusteella. Tästä syystä on tärkeätä, että työn aikana ohjataan ja valvotaan kaikkia niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat maalauksen lopputulokseen.

6.6 Kalvonpaksuusmittaus

Kuivakalvonpaksuus karkeilla pinnoilla tulee tarkistaa standardin ISO 19840 mukaisella menetelmällä ja menettelyllä, ja sileillä ja sinkityillä pinnoilla standardin ISO 2808 mukaisesti, elleivät osapuolet ole sopineet toisin. Nimelliskalvonpaksuus NDFT tarkoittaa erittelyssä mainittua maalin kuivakalvonpaksuutta. Mittausten keskiarvon tulee olla vähintään yhtä suuri, kuin kuivakalvon nimellispaksuus (NDFT). Yksittäisten mittausten tulee olla vähintään 80 % kuivakalvon nimellispaksuudesta (NDFT) tai enemmän. Yksittäiset kuivakalvonpaksuudet, jotka ovat vähintään 80 % NDFT, ovat hyväksyttävissä edellyttäen, että näiden mittausten määrä on alle 20 % tehtyjen yksittäismittausten kokonaismäärästä (Teknos 2008, 13).

Pyörrevirtamittarissa kuvio 16 on sähkömagneetti, jolla määritetään kalvonpaksuus magneetikentässä tapahtuvasta muutoksesta, jonka aiheuttavat pyörrevirtaukset sähköjohtavassa alustassa. Sähkömagneetti tuottaa suurtaajuuksisen (HF, esim. 0,1 MHz...30 MHz) magneettisen vaihtokentän (SFS-EN ISO 2808 2007, 52).

Kalvonpaksuusmittaukset suoritetaan kappaleen edustavalla pinnalta eli pinnan osalla, joka on oleellinen kappaleen ulkonäölle tai käytölle. Mittaajan työtavan vaikutuksia lukemiin voidaan vähentää käyttämällä vakioaineella toimivaa anturia. Anturi asetetaan aina kohtisuorasti kappaleen pintaa vasten. (Teknos, 2012, 41)



Kuvio 16. Pyörrevirtausmittari (SFS-EN ISO 2808, 2007, 52).

Pyörrevirtausmittarilla voidaan tarkistaa, että pinnoitteen paksuudet täyttävät määritetyt raja-arvot. Ennen mittausta on tärkeää suorittaa mittavälineen kalibrointi. Kalibroinnilla saadaan minimoitua mittausvirheiden määrää.

6.7 Vetokoe

Vetokokeessa tehdään liimaamalla maalipintaan nuppi, joka vedetään irti maalinpinnasta erillisellä laitteella liiman kuivuttua. Laitteesta luetaan nuppiin kohdistunut maksimipaine vedon aikana. Tulos ilmoitetaan yksikössä MPa tai Nmm². Maalin tartunta alustaan on yleensä riittävä, kun se kestää 2 MPa:n vedon. Menetelmää kutsutaan adheesiotestaukseksi. Nuppi voi-

daan liimata pintaan pika- tai epoksiliimalla. Yleensä pikaliima on parempi valinta, koska sen kuivumisaika on nopeampi.

Murtumaa tarkastellaan silmämääräisesti murtumatyyppin selvittämiseksi ja murtumatyyppi arvioidaan seuraavasti (SFS-EN ISO 4624, 2003, 18):

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

Murtumapinta-ala arvioidaan murtumatyypeittäin prosentteina lähimpään 10 %:iin. Murtolujuus σ yksikkönä megapascal, joka saadaan yhtälöstä:

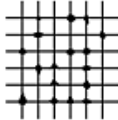
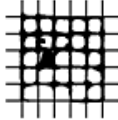
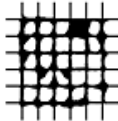
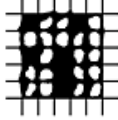
$\sigma = F / A$, jossa F on murtovoima yksikkönä Newton. A on vetokappaleen pinta-ala neliömillimetreinä.

6.8 Hilaristikkokoe

Hilaristikkokokeessa leikkurilla leikataan koelevyn pintaan yhdensuuntaisia leikkauksia kaksi kappaletta. Ensimmäisen leikkausjäljen päälle toistetaan leikkaus ristiin 90° kulmassa siten, että muodostuu ristikkokuvio. Leikkauksen jälkeen levyä harjataan kevyesti pehmeällä harjalla useita kertoja. Paksuille maalikalvoille ei suositella adheesiotestauksissa hilaristikkokoetta. Tämänkaltaisissa tapauksissa testaukset olisi hyvä suorittaa vetotesteinä. Hilaristikkokokeen tulos arvioidaan vertaamalla leikattua aluetta taulukko 2 esiintyviin piirroksiin.

Hilaristikkokoe on helppo ja nopeasti suoritettava tarkastustoimenpide maalatululle pinnalle. Rikottu maalipinta tulee aina korjata maalausohjeiden mukaisesti. Korjaamattomalle alueelle jää suojaamaton alue teräspintaan, joka on altis korroosion vaikutukselle.

Taulukko 2. Koetulosten luokittelu (SFS-EN ISO 2409 1995, 22).

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

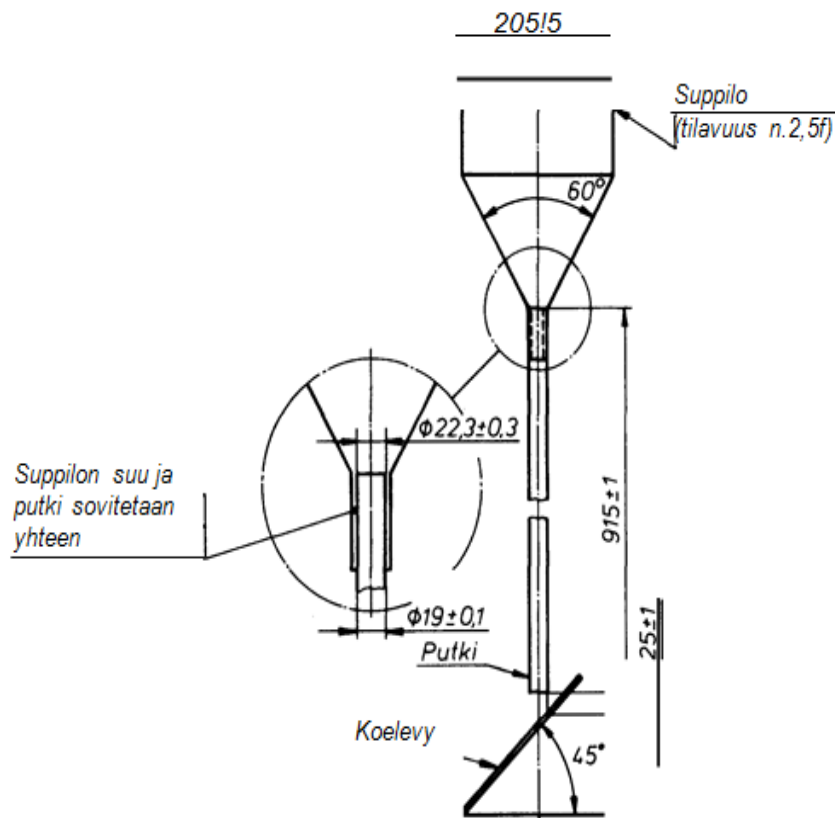
Taulukon perusteella voi päätellä täyttääkö maalipinnan kiinnipysyvyys alustassa. Jatko toimenpiteen voi päätellä suoraan vertailun perusteella. Huonon adheesion voi aiheuttaa monta eri asiaa. Yleisin syy on kuitenkin huono esikäsitteily ennen maalausta.

6.9 Kulutuksenkestävyysemääritys putoavalla hiekalla

Tässä testissä tutkittava koelevy asetetaan suppilon alapuolelle kuvio 17 mukaisesti. Valutettavana hiekkana käytetään yleensä piikarbidihiekkaa, joka on raekooltaan 0,841 mm. Hiekkaa valutetaan levyille, niin kauan että sille muodostuu ellipsin muotoinen akseli, jonka lyhyempi akseli on 4 mm. Valutettavan hiekkamäärän suositus on noin 4 kg. Kulutuksen kestävyys lasketaan seuraavalla kaavalla (SFS 3754, 1977, 2):

Kulutuksen kestävyys = $\frac{m}{d}$, jossa m = hiekan massa kg ja d = kalvonpaksuus I.Jm.

Yksiköksi saadaan kg/ I.Jm.



Kuvio 17. Koejärjestely (SFS 3754, 1977, 1).

Kulutuksenkestävyyden koejärjestely on havainnollistettu kuviossa 17. Valutettava hiekka rikkoo koelevyn pinnoitetta. Testin loputtua analysoidaan pinnoitteen kulutuksenkestävyys. Tämä tapahtuu laskemalla käytetyn hiekan määrä, joka jaetaan kalvonpaksuudella ($\text{kg}/\mu\text{m}$).

6.10 Koelevyt

Koelevyt tulee tehdä samantyyppisestä teräksestä, kuin mitä käytännössä käytetään, ellei sitä toisin ole sovittu. Levyn minimikooksi on määritelty 150 mm x 70 mm. Levyn paksuus riippuu testauksista, joita levyyn on suunniteltu tehtäväksi. Mutta sen vahvuus on oltava vähintään 2 mm, ellei toisin ole sovittu. Levyn pinta esikäsitellään suihkupuhdistamalla esikäsitteilyasteeseen Sa 2½ tai Sa 3 standardin ISO 8501-1 mukaisesti määriteltynä. Pinnan karheuden on vastattava ”kohtalainen (G)” standardin ISO 8503-1 mukaisesti määriteltynä. Se voidaan tarkistaa käyttämällä standardin ISO 8503-1 mukaista pintaprofiilin vertailukappaletta (SFS-EN ISO 12944-6 2008, 10.)

Leikattuihin koelevyihin maali levitetään mieluummin ruiskuttamalla. Maali on levitettävä maalin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Jokaisen kerroksen on oltava paksuudeltaan ja ulkoonäöltään yhtenäinen eikä siinä saa olla valumia, maalaamattomia alueita, neulanreikiä, ryp-
pyntymistä, kiiltoeroja, pakoilua, sisään joutuneita partikkeleita, kuivaruiskurusta tai kuplia. Kuivakalvonpaksuus standardin ISO 2802 mukaisesti mitattuna ei saa ylittää määriteltyä arvoa yli 20 %:lla. (SFS-EN ISO 12944-6, 2008, 10) Pintakäsittely olisi syytä tehdä samoissa olosuhteissa ja laitteilla, kuin tuotemaalaukset.

Maaliyhdistelmille, jotka on tarkoitettu ilmastorasitusluokkaan C 5 – I, voidaan tehdä standardin ISO 2812-1 mukainen koestus. Tai se voidaan korvata tai sitä voidaan täydentää standardin ISO 3231 testillä. Tällöin käytetään standardin ISO 6270 mukaisia testien kestoajoja, esim. 240 h (10 jaksoa) ”alhaiselle kestävyydelle, 480 h (20 jaksoa) ”kohtalaiselle” kestävyydelle ja 720 (30 jaksoa) ”korkealle” kestävyydelle. Tämä koskee yleensä maaliyhdistelmiä, joissa on sinkki rikas pohjamaali. (SFS-EN ISO 12944-6, 2008, 12) Testiajat koskevat suolasumukoestuksia, joita tehdään yleisemmin laboratoriokokeina suolasumukaapissa. Testauksesta saadaan hyvää tietoa, miten suojamaaliyhdistelmä toimii ilmastorasitusluokassa C 5 – I.

Koelevyt tehtiin S355 ja Optim 500 WH teräksistä. Koelevyjen maalausprosessi suoritettiin yrityksen pintakäsittelylaitoksessa. Koelevyt tarkastettiin ja kaikissa pinnoissa ruostumisaste oli A. Eli pinnoilla ei ollut havaittavissa korroosiota. Kappaleille tehtiin rasvan poisto alkalisena pesuna. Pesuaineena käytettiin rasvanpoistoainetta, jota oli tutkittu kuvio 18 jo aikaisemmin teräksien pesuissa käytettäväksi. Pesuaineen käyttöväkevyys annosteltiin 3 % nesteen määrästä. Pesuaineen valintaan vaikutti se, että se toimii 20–65 °C käyttölämpötilassa ja on biologisesti hajoava tuote.

Koelevyt karhennettiin suihkupuhdistamalla $Ra > 4,5 \mu\text{m}$. Pinnat suihkupuhdistettiin asteeseen Sa 2½ (SFS-ISO 8501-1) särmikkäällä GH50 teräsrakeella. Suihkupuhdistetut pinnat puhdistettiin pölystä ja puhallusmateriaalista. Esikäsitteilyn jälkeen pinnat tarkastettiin standardin SFS-EN ISO 8504-1 mukaisesti. Mittaus tehtiin Elcometer 224 profiilimittauslaitteella. Pinnat täyttivät asetetun puhdistusasteen.

Koelevyjä maalattiin mm. maalausjärjestelmä EPZn(R)PUR 160/2-Sa 2½ mukaisesti. Pohjamaalina käytettiin TEKNOZINC 90 SE epoksisinkkimaalilla.

Kuivakalvonpaksuustoleranssit:

- nimelliskalvonpaksuus 50 μm
- sallittu mittausten keskiarvo 50–80 μm
- yksittäiset mittaukset 40–100 μm .

Pintamaalaus tehtiin TEKNODUR COMBI 3560–78 polyuretaanimaalilla.

Kuivakalvonpaksuustoleranssit:

- nimelliskalvonpaksuus 110 μm (170) μm
- sallittu mittausten keskiarvo 110–190 μm (170–270) μm
- yksittäiset mittaukset 100–240 μm (140–340) μm

Maalaukset tehtiin suurpaineruiskua käyttäen. Mittaukset tehtiin Elcometer 456 top mittalaitteella. Lopuksi koelevyihin ruiskutettiin äänieristemassaa 800–1000 μm . Äänieristemassan tarkoituksena, on suojata maalipintaa mekaaniselta kulumiselta. Lopulliset kalvonpaksuusmittaukset mitattiin Elcometer 456 top mittalaitteella. Kalvonpaksuudet täyttivät niille asetetut toleranssiarvot.

7 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA RAJAUKSET

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää mitä korroosimuotoja teräsrakenteeseen kohdistuu ja miten ne voidaan estää. Tutkimuksessa tarkastellaan laboratorio- ja kenttäkokeiden tuloksia. Lisäksi tutkimuksessa on käytetty benchmarking tutkimusta, jossa valittuja tuotteita on vertailtu keskenään uusien ja vanhojen versioiden kesken. Avoimessa haastattelussa keskusteltiin äänieristysmassaan liittyviä asioita. Haastattelussa tuli esille myös innovatiivisia ajatuksia äänieristysmassan käyttömahdollisuuksista.

Tutkimuksen prosessia jäsenettäessä Aaltolan ja Vallin (2007, 16) mukaan kiinnitetään huomiota tapaan, jolla tieteellistä tietoa tavoitellaan ja perustellaan. Toimintatapojen perusteella tieteellistä tietoa voidaan pitää rationaalisenä ja hyvin perusteltuna. Tieteellinen tieto haetaan määrättyjen menetelmien avulla. Tutkimusongelma ei ole välttämättä täsmällisesti ilmaistavissa tutkimuksen alussa, vaan tutkimusongelma täsmentyy koko tutkimuksen ajan (Aaltola & Valli 2007, 71).

Tutkimusta voidaan luonnehtia myös *systemaattiseksi* toiminnaksi, jonka avulla halutaan saada uutta tietoa tutkittavasta ilmiöstä (Soininen 1995, 13). Soinisen (1995, 76) mukaan kokeelliset tutkimukset ovat harkiten tutkijan kontrolloimia. Tutkimusten tavoitteena onkin paremmin selittää, kuin ennustaa ilmiöitä. Tutkimustyyppin valintaan vaikuttavat tutkimuksen ohella muun muassa tutkimuksen tavoite eli se, minkälaista tietoa tutkimuksella haetaan. Laadullisesta tutkimuksesta Aaltola ja Valli (2007, 74) ovat todenneet sen olevan kyse vähitellen tapahtuvasta tutkittavan ilmiön käsitteellistämisestä, ei niinkään etukäteen hahmotetun teorian testauksesta.

7.1 Laboratoriokokeet

Laboratoriokokeet ovat hyvin kontrolloiduissa olosuhteissa suoritettuja kokeita riippumattoman muuttujan vaikutuksien tulosten saamisiksi. Laboratoriokokeiden etuina Soinisen (1995, 77) mukaan voidaan pitää täydellistä kontrollia ja syyssuhde seurauksien selvittämistä. Tunnusomaista koestuksille on myös se, että käsittely toistetaan useaan kertaan. Vastaavasti heikkoutena voidaan pitää sitä, että laboratoriokokeiden tulosten yleistettävyyden on yleensä melko heikko koeasetelman keinotekoisuuden takia.

7.2 Kenttäkokeet

Kenttäkoe on todellisissa tilanteissa suoritettu koe, jossa manipuloidaan yhtä tai useampaa muuttujaa. Kenttäkoe ei ole niin keinotekoinen eikä kontrolloitu, kuin laboratorikoe, sillä kenttäkokeella tutkija pyrkii jossain määrin säätämään ja standardoimaan olosuhteita sekä manipuloimaan riippumattomia muuttujia. Kenttäkokeen hyviä puolia ovat sopivuus kompleksisten tilanteiden ja käytännön ongelmien tutkimiseen. Se sopii myös hyvin teorian testaamiseen. (Soininen 1995, 77) Soinisen (1995, 77) mukaan kenttäkokeen tulokset ovat myös hyvin yleistäviä. Heikkoutena voi pitää sitä, että kenttäkokeessa on usein kontrolloimattomia muuttujia ja se on vaativampi tutkijalle, kuin laboratorikoe.

7.3 Laadullinen analyysi

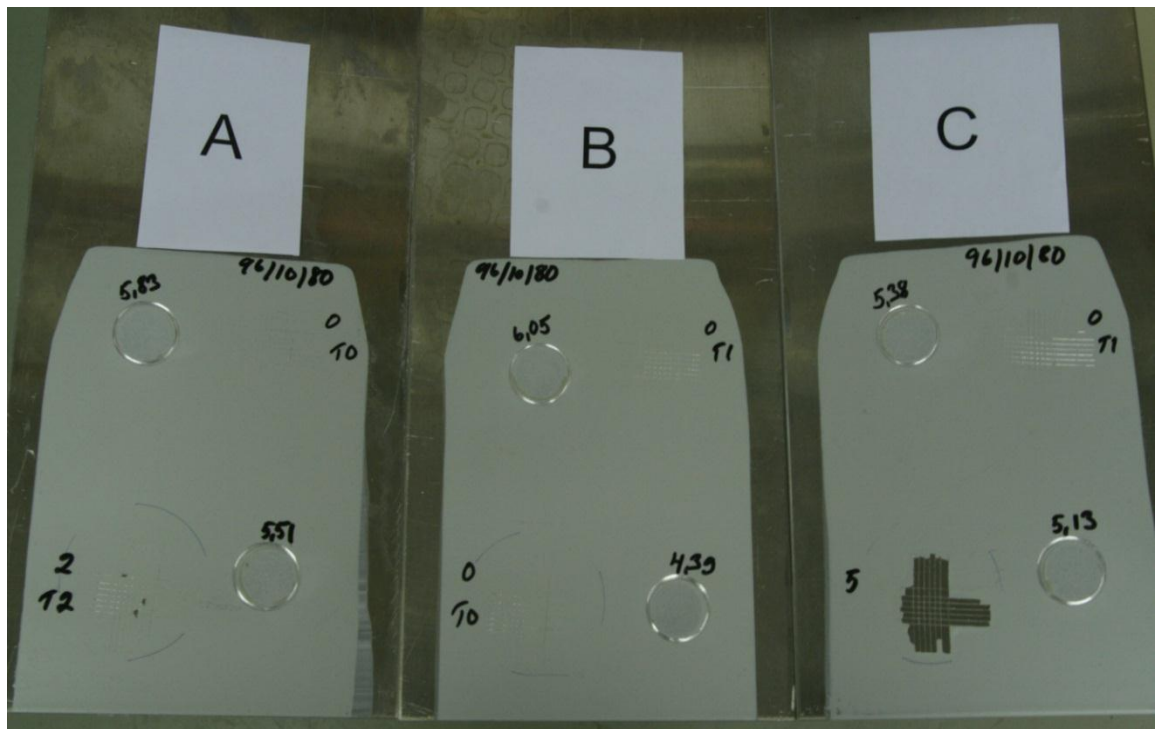
Laadullisessa analyysissä aineistoa tarkastellaan kokonaisuutena; sen ajatellaan valottavan jonkin singulaariseksi ymmärretyyn sisäisesti loogisen kokonaisuuden rakennetta (Alasuutari 1994, 28–29). Jossain vaiheessa eri kokeiden tai analyysien tulokset tulee kytä liittämään yhteen, jäsentämään sellaiseksi kokonaisuudeksi, jonka puitteissa yksittäiset koetulokset tulevat ymmärrettäviksi (Alasuutari 1994, 45).

Laadullisessa tutkimuksessa tarvitaan Eskolan ja Suorannan (1998, 82) mukaan kahdenlaisia teorioita. ensinnäkin tarvitaan jokin taustateoria, jota vasten aineistoa tarkastellaan. Toiseksi aineistojen tarjoamat lähes rajattomat tulkintamahdollisuudet edellyttävät, että tutkijalla on mielessään kysymyksiä, joihin vastauksia etsitään: Tällaiset kysymykset edellyttävät tulkinta-teoriaa, joka ohjaa tutkijan valintoja ja sitä mitä hän aineistosta yleensäkin etsii.

Laadulliseen aineistoon voi soveltaa myös määrällistä analyysia. Laadullisen tutkimuksen tarkoituksena ei ole vain selvittää ilmiötä, vaan antaa siitä tiheä kuvaus tai kiinnostava käsitteellisyys. (Eskola & Suoranta 1998, 165–166)

8 TESTAUKSET JA NIIDEN TULOKSET

Ensimmäiset yhdistetyt kenttä- ja laborioritestit tehtiin pesuaineiden vertailulla. Kolmen koelevyn pinnalle levitettiin leikkuunestettä, jonka annettiin olla levyjen päällä 2 vrk. Tämän jälkeen koelevyt pestiin A, B ja C pesuaineella. Pesujen jälkeen koelevyt pintakäsiteltiin ja Teknos Oy:n tuotekehityskemisti Virtanen, P, suoritti levyille 15.11.2010 adheesiotestit kuvio 18. Ylemmät hilaristikot on tehty kuivatartuntana ja alemmat testit märkätartuntoina. Näiden testien lisäksi tehtiin vetotesti. Kuivatartunta kaikissa koelevyissä oli erinomainen. Märkätartunta B pesuaineella paras ja C huonoin. Vetotesteissä ei tullut merkittävää hajontaa kiinnipysymisen suhteen. Tuloksen perusteella tuotepesussa käytettävä pesuaine vaihdettiin.



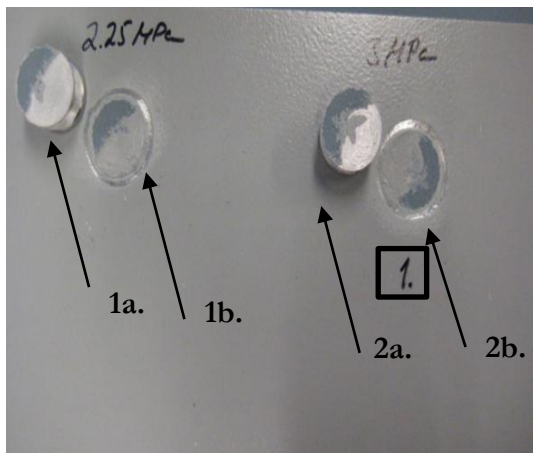
Kuvio 18. Pesuainekoestukset

Yllättävää oli, että koelevyssä C märkätartunta oli tosi huono. Kiinnipysyvyyttä alustaan ei ollut lainkaan. Vertaa taulukosta 2 koetulosten luokittelu.

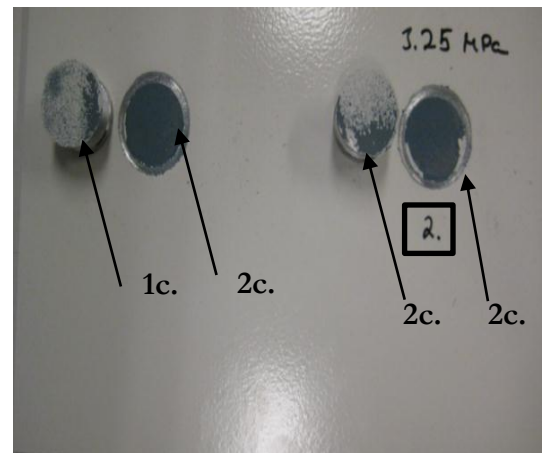
8.1 Vetotesti

Kenttätesteinä tehtiin kahteen koelevyyn vetotestit. Nämä koelevyt esi- ja pintakäsiteltiin maalausjärjestelmä EPZn(R)PUR 150/2-Sa2½ mukaisesti. 6 vuorokauden jälkeen pintamaalauksesta maalipinta hiottiin P240 hiomapaperilla. Tämän jälkeen karhenetuilta alueilta poistettiin pöly sekä liimattiin kaksi nappulaa pikaliimalla molempien koelevyjen maalipintaan. Liiman annettiin kuivua 4 tuntia, jonka jälkeen suoritettiin vetokoe.

Koelevyissä yksi kuvio 19 vetotulokset olivat 2,25 MPa ja 3 MPa. Koelevyissä kaksi kuvio 20 molemmat vetotulokset olivat 3,25 MPa. Molemmat vetokokeet tehtiin Elcometer 106 adheesiotesterillä. Koetulokset arvioitiin silmämääräisesti, jolloin voitiin selvittää oliko kyseessä adheesiosta vai koheesiosta johtuva irtoaminen. Jos testattava pinnoite irtoaa alustasta kokonaan, on kyseessä adheesio. Koheesio tarkoittaa taas aineen sisäistä vetovoimaa. Pinnoitteen jäädessä alustaan sekä vetonuppiin, on kyseessä koheesio. Koelevyissä kohdat 1a, 2a, 1c ja 2c on vetonupit ja 1b, 1d, 2d ja 2c vetoalueet.

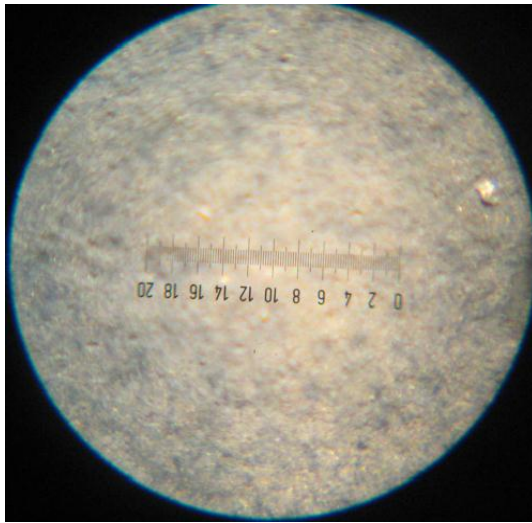


Kuvio 19. Koelevy 1 vetonuppikoe.

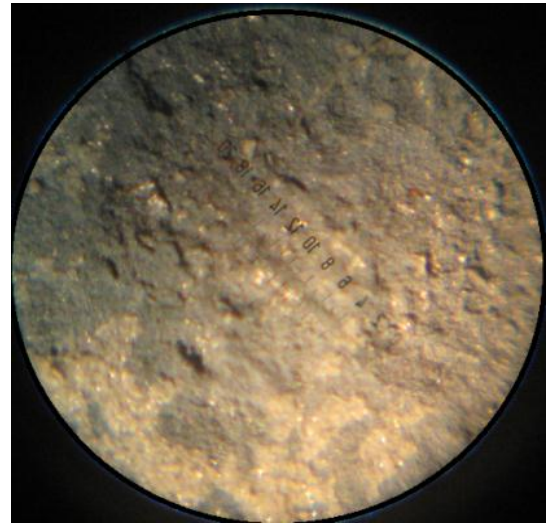


Kuvio 20. Koelevy 2 vetonuppikoe.

Molemmista vetokoealueilta otettiin koelevyistä mikroskooppikuvat, joista näkyy murtumiskohdat suurennettuna. Mikroskoopin avulla voidaan tutkia murtumakohtaa paremmin. Sen avulla voi tulkita esimerkiksi onko kaksikomponenttimaalien muovi / kovete suhde ollut maalauksen aikana oikea. Tässä tutkimuskohteessa seossuhteissa ei ole visuaalisesti havaittavaa seosvirhettä. Seuraavissa kuvioissa 21 ja 22 on mikroskooppisuurennukset vetokoealueelta.



Kuvio 21 Mikroskooppikuva koelevy 1.



Kuvio 22. Mikroskooppikuva koelevy 2.

Mikroskooppikuvasta kuvio 21 voi nähdä ohuen harson sinkkipölymaalia, joten tulos ei ollut puhdas adheesiomurtuma. Mikroskooppikuvassa kuvio 22 on sinkkimaalissa tapahtunut selvästi koheesiomurtuma.

Taulukko 3. Vetokokeiden tulokset.

Koelevy	Vetonappi	Kalvonpaksuus μm	Murtolujuus Mpa	Murtumatyyppi
1	1 b	ka 154,1	2,25	60 % -Y
1	2b	ka 154,1	3	70 % -Y
2	1d	ka 118,8	3,25	100 % B/C
2	2d	ka 118,8	3,25	99 % B/C

Vetokokeiden ja mikroskooppikuvien perusteella maalausjärjestelmän tartunta alustaan ja maalien tartunta toisiinsa on hyvä. Tuloksissa on mielenkiintoista havaita, että paksumman kalvonpaksuuden omaavassa koelevyssä kuvio 19, murtuma tapahtui osittain liimasta. Vetolujuus oli kuitenkin pienempi, kuin koelevyssä kuvio 20. Koelevyssä kuvio 20 kalvonpaksuus oli pienempi ja vetolujuus suurempi. Tässä testissä tapahtui sinkkipölymaalin koheesiomurtuma.

8.2 Laboratoriokokeet sinkkipölymaalilla

Teknos Oy:n laboratoriossa tehtiin suolasumukoestus kahdelle koelevylle. Koestuksen tarkoituksena oli selvittää miten sinkkipölymaali suojaa alustaa korroosiolta. Koelevyt käsiteltiin maalausjärjestelmällä EPZn(R)70Sa2½. Suihkupuhdistuksen jälkeen koelevyyn SS12F270 asennettiin näyttimutteri paikoilleen keskelle koelevyä suihkupuhdistuksen jälkeen. Koelevyyn SS12F271 näyttimutteri asennettiin sinkkipölymaalauksen jälkeen. Laboratoriokoestukset aloitettiin 8.6.2012 ja ne päättyivät 25.7.2012.



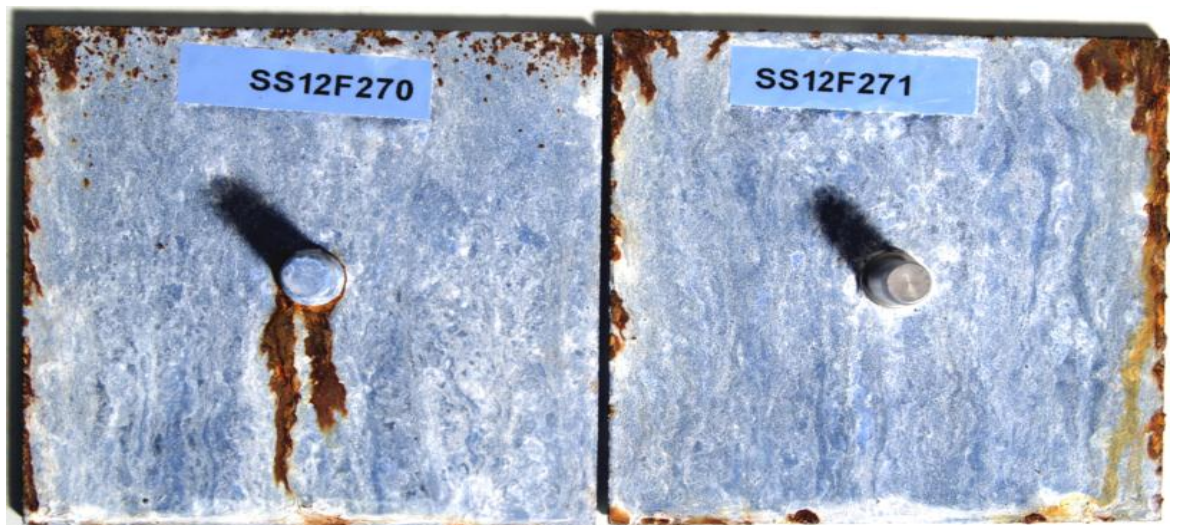
Kuvio 23. Suolasumukoestus 120 h jälkeen vastaa rasisusluokkaa C2-M.

Suolasumukoestus 120 h jälkeen koelevyissä kuviossa 22 on havaittavissa valkoruosteen kehittyminen sinkkipölymaalien päälle. Tämä on normaali ilmiö sinkkipitoiselle maalille. Kuten koelevyistä voi havaita minkäänlaista ruostetta, ei ole vielä esiintynyt tässä vaiheessa koetta. Seuraava koetulos tarkastetaan 240 h pitoajan kohdalla.



Kuvio 24. Suolasumukoestus 240 h jälkeen vastaa rasisusluokkaa C3-M.

Koelevyt ovat olleet koestuksessa 240 h kuvio 23. Lukuun ottamatta levyn reunalla alkavaa ruostumista, koelevyt ovat virheettömiä. Tämä alkava ruostuminen johtuu todennäköisemmin siitä, että koelevyjen reunaan ei ole tehty pyöristyksiä. Valkoruosteen määrä on kasvanut sinkin pinnalla. Koestus lopetetaan 760 h suolasumukoestuksen kohdalla.



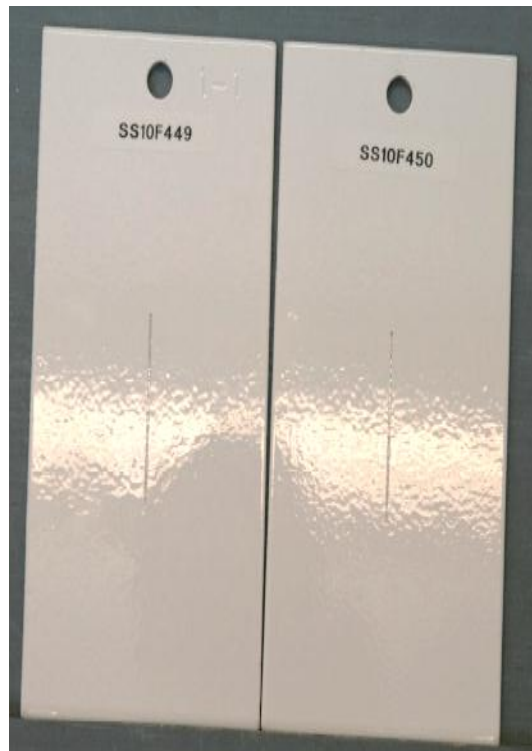
Kuvio 24. Suolasumukoestus 760 h jälkeen vastaa rasisusluokkaa C4-H.

Testin päätyttyä 760 h suolasumukoestuksen jälkeen kuvio 24 ero on selvä koelevyjen välillä. Koelevyissä SS12F270 niittimutterin alapuolella katodisen suojauspuuttumisesta johtuen, ruostuminen on jo edennyt pitkälle. Vaikka koelevyissä SS12F271 sinkkipölymaalin levityksen jälkeen asennettu niittimutteri on rikkonut maalikalvoa, sinkki on tehnyt tehtävänsä ja suojannut vaurioitunutta aluetta korroosiolta. Levyn reunojen korroosio johtuu siitä, että niitä ei ole pyöristetty. Näin maalikalvon paksuus on ohuempi näillä alueilla, ja katodinen suojaus on

riittämätön varsinkin nurkka-alueilla. Testin tuloksella voi päätellä, että yksistään sinkkipölymaalilla voidaan saavuttaa rasisusluokka C4-H. Laboratoriokokeen suoritti Teknos Oy:stä tuotekehityskemisti Ojala, T.

8.3 Maaliyhdistelmät EPPUR 140/3 ja EPZn(R)PUR160/2

Tässä tutkimuksessa koelevyille tehtiin kahdella erilaisella maalausyhdistelmällä pintakäsittelyt. Koelevyt oli valmistettu S355 ja Optim 500 WH teräksistä. Molempia levyjä oli 2 kpl. Maaliyhdistelminä koelevyissä käytettiin: EPPUR 140/3-FeSa 2½. Levyt: SS10F449 ja SS10F450 kuvio 25. EPZn(R)PUR 160/2-FeSa 2½. Levyt: SS10F447 ja SS10F448 kuvio 26.



Kuvio 25. Koelevyt SS10F448, SS10F450



Kuvio 26. SS10F447 ja SS10F448.

Testissä tutkittiin maalien antamaa korroosiosuojausta sekä alusmateriaalin käyttäytymistä vaurioitumisalueella. Testi tehtiin neutraalina suolasumutestinä ISO 9227 mukaisesti ja kesto-aika kokeella oli (1440 h). Suolasumukokeista on yleisimmin käytetty neutraalisuolasumukoe. Sumutettu liuos oli Natriumkloridia jonka pitoisuus on 50 ± 5 g/l. ISO 12944-6 korroosio-

luokkaan C5 Marine/Industrial High vaadittava koestusaika. Testien tuloksista saadaan hyvää vertailua sinkkipölymaalain toimivuudesta korroosiosuojauksena

Laboratoriotutkimus tehtiin myös kahteen jo aikaisemmin testattuun koelevyyn. Koelevyihin suihkupuhallettiin noin 5 cm leveä vaurio alustaan asti. Lisäksi levyissä oli noin 2 cm leveä vaurioitunut alue josta pintamaali oli kevyesti pyyhkäistysuuhkupuhdistettu. Vaurioalue ei ulottunut pohjamaaliin saakka.

Testillä mallinnettiin puhkihioutuneen maalausyhdistelmän pettämistä raitiovaunun korin alustassa. Lisäksi koelevyihin tehtiin 0,5 mm. leveä viilto alustaan asti. Viiltolinja voi olla vaakasuora, pystysuora tai vino. Viiltolinjan on oltava, standardin ISO 7253 mukaisesti pituudeltaan vähintään 50 mm. Lisäksi sen etäisyyden kaikista reunoista on oltava vähintään 20 mm ja sen on tunkeuduttava koko pituudeltaan metalliin saakka. Koelevyt laitettiin suolasumu-kaappiin 2880 h. tunniksi. Taulukossa 4 on suolasumukoestuksen tulokset.

Taulukko 4. Suolasumutestin 1440 h. tulokset molemmille maaliyhdistelmille.

	EPPUR140/3 SS10F449/ SS10F450	EPZn(R)PUR160/2 SS10F447/ SS10F448
Kupliminen, ISO 4628-2	1(s4)*/ 1(s4)	0(s0)
Ruostuminen, ISO 4628-3	Ri0	Ri0
Ruostuminen naarmusta, ISO 12944-6	2 mm	0 mm
Tartunta, hilaristikko, ISO 2409	2	1
Huomioita	*sormenjäljissä kuplia	

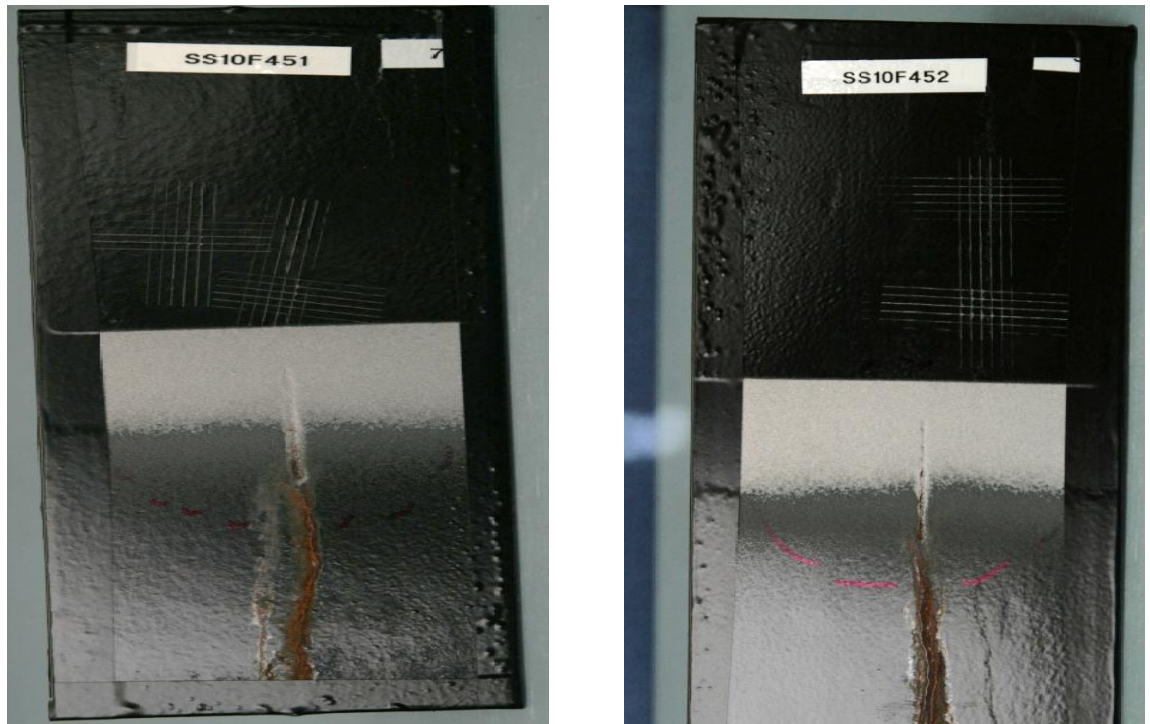
Kuten koelevyistä voi havaita, sinkki on suojannut hyvin alustaa viiltolinjan kohdalta. Myös maaliyhdistelmä EPZ(R)PUR160/2 on toiminut kokonaisuudessaan hyvin ja esimerkiksi kuplimista ei ole tapahtunut testin aikana. Sinkkipölymaalissa tartunta alustaan on myös parempi, kuin epoksipohjamaalilla. Kuviosta 27 näkyy hyvin miten sinkkipölymaali on suojannut koelevyä korroosiolta. Kun taas epoksipohjamaalilla käsitellyssä koelevyissä korroosiosuojaus petti ja ruostuminen on jo alkanut viiltokohdassa.



Kuvio 27. Koelevyt 1440 h. suolasumutestin jälkeen.

Kuten tuloksesta voi havaita maalausjärjestelmä EPZn(R)PUR 160/2-FeSa 2½ koelevyissä (SS10F447 ja SS10F448) suojaa erinomaisesti molemmat terästyytit korroosiolta. Sinkki suojaa hyvin terästä ja jos maalausjärjestelmä ei vioitu, niin se antaa hyvän katodisen suojauksen alustalleen. Maalausjärjestelmä EPPUR 140/3-FeSa 2½ koelevyissä (SS10F449 ja SS10F450) ei kestä niin hyvin korroosiota, kuin vertailussa käytetty EPZn(R)PUR 160/2-FeSa 2½ yhdistelmä.

Koelevyihin SS10F451 ja SS10F452 jatkettiin suolasumutestiä 2880 h saakka kuvio 28. Koelevyt olivat olleet, tässä vaiheessa jo koestuksessa 1440 h. Koelevyihin tehtiin suihkupuhalluksella noin 5 cm leveä mallinnettu vaurio alustaan saakka ja kappaleet laitettiin uudelleen suolasumukoestukseen. Siten valtaosa kappaleiden pinnasta sai päälleen suolasumua yhteensä 2880 h ajan. Levymäisissä kappaleissa oli taustapuolen alareunassa noin 2 cm leveä alue, jossa pintamaalia oli kevyesti pyyhkäisysuihkupuhdistettu. Vaurio ei ulottunut näissä kohdissa pohjamaaliin saakka. Levyihin tehtiin vielä 0,5 mm leveä naarmu alustaan asti.



Kuvio 28. Suihkupuhdistuksella vaurioitettut koelevyt. Koelevyt ovat olleet tässä vaiheessa jo 1440 h. suolasumutestissä.

Koelevyt (SS10F451 ja SS10F452) olivat yhteensä 2880 tuntia kuvio 29 suolasumutestauksessa. Koelevyt olivat olleet ennen tätä vaihetta jo koetuksessa 1440 tuntia. Levyihin tehtiin suihkupuhdistamalla maalipintaan kulumista ja hioutumista mallintava virhe. Kokeella haetaan levyissä käytettyjen teräksien S355 ja Optim 500 WH eroa korroosiosuojauksessa. Molemmat koelevyt ovat ilmastokorroosiota kestäviä rakenneteräksiä. Tutkimuksen perusteella voidaan analysoida, mikä on säänkestävämateriaalin hyöty korroosiosuojauksessa.

Säänkestävämateriaalien korroosiosuojaus perustuu pinnalle muodostuvasta oksidikerroksesta. Tämä muodostuu kosteuden ja hapen reaktiosta. Teräksen pintaan alkaa muodostua tiivis oksidikerros joka estää teräksen ruostumisen syvemmälle. Jos oksidikerrokseen tulee esimerkiksi naarmu alkaa vioittuneeseen kohtaan muodostumaan uusi oksidikerros.



Kuvio 29. Koelevyt (SS10F451 ja SS10F452) 2880 h suolasumutestin jälkeen.

Molemmissa koelevyissä ruoste peitti vaurioitettun alueen kokonaan, eikä ruostumisessa voi havaita eroa terästyypin välillä kuvio 29. Tulosten perusteella maalausjärjestelmä EPZn(R)-PUR160/2 suojaa erinomaisesti molemmat terästyypit, joten säänkestävän teräksen käyttö ei tuo tässä testissä lisäarvoa. Vaurioitettujen koelevyjen testien perusteella päädytään samaan lopputulokseen, säänkestävän teräksen käyttäytyminen ei suolasumutestissä eroa normaalin rakenneteräksen ominaisuuksista.

Alueilla joissa yhdistelmän kuivakalvo on erittelyn mukainen, ei ole mitään ongelmia. Riski kuplimiselle kasvaa selkeästi, jos mitattu kuivakalvo jää alle 120 μm . Koelevyissä kuplimista oli tapahtunut juuri tällaisilla alueilla. Terästyypin välillä ei ole havaittavissa eroavaisuutta. ISO 12944:n kriteerein kappaleet läpäisevät testin, mutta alikalvoisten alueiden kuplinta osoittaa maalausjärjestelmän toimimattomuuden alhaisemmassa pinnoitepaksuudessa. Huomioon on otettava, että tämä on ollut pitkä koestus testilevyille. Lisäksi korroosiosuojausta on vaurioitettu koelevyistä. Laboratoriokokeen suoritti 16.12.2010 Teknos Oy:stä tuotekehityskemisti Virtanen, P.

8.4 Sähkökemiallinen korroosiotesti

Aalto-yliopistossa tehtiin sähkökemiallinen korroosiotutkimus. Laboratoriokokeissa käytetyt koelevyt olivat S355 ja normaali hiiliteräs. Koelevyt oli pintakäsitelty maalausjärjestelmän PUR120/1-FeSa2^{1/2} mukaisesti. Tässä tutkimuksessa selvitetään sähkökemiallisilla korroosiomittausmenetelmillä maalatun säänkestävän ja hiiliteräksen eroa korroosion-kestossa.

Koeliuksena käytettiin REP-liuosta, jonka koostumus on esitetty kuviossa 33. REP- liuos (Road Environmental Pollution) on liuos, jota käytetään korroosiotutkimuksessa kuvaamaan NaCl:lla suolattujen teiden korroosiotarastusta kaupunkiympäristössä.

Taulukko 5. REP-liuoksen kemiallinen koostumus

Seos	g/l
NaCl	30
CaCl ₂	20
NaNO ₃	0,3
Na ₂ SO ₄	0,3
Na ₂ SO ₃	0,5
NaNO ₂	0,25

Ennen koetta koekappaleisiin tehtiin standardin ISO 7253 mukaisesti viilto. Viillot tehtiin Teknos Oy:n laboratoriossa. Koelevyjen pinta puhdistettiin etanolilla ja koekappaleet kiinnitettiin akryylikennoon. Kennon sisähalkaisija oli 60 mm ja kennoon lisättiin 250 ml REP-liuosta. Kenno peitettiin suojamuovilla, joka poistettiin mittausten välillä

Mittauksissa käytettiin ACM GillAC-potentiostaattia. Mittalaitteella tehtiin korroosio-potentiaali-, LPR-vastuspolarisaatio- ja AC-impedanssimittaukset. Vastuspolarisaatiomittaus aloitettiin potentiaalista $E_{corr} - 10 \text{ mV}$ ja jatkettiin potentiaaliin $E_{corr} + 10 \text{ mV}$ pyyhkäisy-nopeudella 1 mV/min . Impedanssimittaus tehtiin taajuusalueella $10 \text{ mHz} - 30 \text{ kHz}$ alkaen korkeasta taajuudesta. Käytetty amplitudi oli 10 mV . Kokeen kesto oli 96 vrk ja kokeen aikana mitattiin näytteen korroosio-potentiaali, korroosionopeus vastuspolarisaatiomenetelmällä sekä näytteen vastus impedanssimenetelmällä noin kahden viikon välein.



Kuvio 30. Uputusrasituskoee 96 vrk jälkeen.

Kuten kuviosta 30 voi visuaalisesti todeta, että teräksien korroosion eteneminen on vähäistä upotusrasituskokeen jälkeen. Näytteiden korroosiopotentiaalin, itseysvirrantiheyden ja impedanssin keskiarvot kokeen alussa ja 96 vrk jälkeen on esitetty kuviossa 36. Taulukon arvoista korroosiopotentiaali ja itseysvirrantiheys kuvaavat korroosiota naarmussa ja impedanssi koko liuoksen kanssa olevan pinnan ominaisuutta; kuitenkin niin, että impedanssikin kuvaa enemmän naarmun tilaa kuin ehjää maalipintaa.

Taulukossa (6) on sähkökemiallisten mittausten tulokset (keskiarvot kahdella rinnakkaisnäytteellä) kokeen alussa ja 96 vrk jälkeen.

Taulukko 6. Sähkökemiallisten mittausten tulokset (* Mittaustulosta ei voi hyväksyä).

Teräs	Korroosiopotentiaali		itseysvirrantiheys		Impedanssi	
	mV / vs. SCE		mA / cm ²		/ Ωcm ²	
	alussa	lopusa	alussa	lopusa		
hiiliteräs	-650	-660	2,3x10 ⁻⁵	1,0x10 ⁻³	800000*	6600
S355	-710	-610	3.4x10 ⁻⁵	5,0x10 ⁻³	230000	5800

Hiiliteräksen korroosiopotentiaali oli kokeen alussa hieman (noin 60 mV) korkeampi kuin säänkestävällä teräksellä joka tarkoittaa, että säänkestävä teräs on aktiivisempi. Tämä johtuu siitä, että teräksen pinnalla tapahtuu ilmeisestikin passivoitumisreaktioita välittömästi REP-

liuokseen upotuksen jälkeen. Kokeen jälkeen hiiliteräksen potentiaali oli lähes sama. Säänkestävän teräksen korroosionkesto on hieman parempi.

Vastuspolarisaatiomittausten tuloksen perusteella hiiliteräksen laskennallinen korroosiovirrantiheys, joka on suoraan verrannollinen koekappaleen korroosionopeuteen, oli kokeen jälkeen säänkestävällä teräksellä S355 noin viisi kertaa suurempi kuin hiiliteräksellä. Kokeen alussa molempien terästen korroosionopeus oli noin kaksi dekadia alhaisempi. Pinnan vastus (impedanssi) laskee kokeen aikana voimakkaasti. Molempien näytteiden impedanssit olivat kokeen jälkeen lähellä toisiaan.

Antero Pehkosen (2010) mukaan sekä visuaalisen tarkastelun, että sähkökemiallisten kokeiden tulosten perusteella maalattu hiiliteräs ja maalattu säänkestävä teräs S355 käyttäytyvät lähes samalla lailla. On ilmeistä, että koekappaleiden maalauksessa käytetty pinnoiteratkaisu suojaa erittäin hyvin alla olevaa terästä syöpymiseltä. Itse pinnoitteessa ei havaita muutoksia. Samoin pinnoitteen läpi tehdyssä viillossa korroosio ei etene tutkitussa ajassa maalin alle. Ilmeisesti juuri hyvän pinnoitteen takia ei kokeissa saatu eroja tavallisen hiiliteräksen ja säänkestävän teräksen välille.

Mittauksissa ei myöskään havaittu eroa naarmun korroosionopeudessa tutkituilla teräksillä. Hyvin suojaavien maalien korroosioestokyvyn tutkiminen kohtuullisessa ajassa on haastava tehtävä. Mikäli eroja maalattujen terästen korroosio-ominaisuuksista halutaan tarkempaa tietoa, on kokeiden kesto kasvatettava. Mitä ilmeisimmin jossain vaiheessa syöpyminen maalin alla alkaa, joka nähdään ensin sähkökemiallisilla mittauksilla ja myöhemmin myös visuaalisella tarkastelulla. Maalattujen teräsnäytteiden käyttöikä ei näillä kokeilla voida arvioida. Laboratoriokokeen suoritti 30.9.2010 Aalto-yliopistossa erikoistutkija TkT Pehkonen, A.

8.5 Vanhenemistesti

Vanhenemistestissä haluttiin arvioida uraetaanieristeen ja maalin yhteensopivuutta. Koelevyt maalattiin maalausjärjestelmä EPZn(R)60/1. Toiselle puolelle levyjä ruiskutettiin uraetaanieriste. Koelevyihin tehtiin uraetaanieristeen tartunnan arviointi veitsellä ja sinkkipohjamaali testattiin hilaristikkotartuntana. Sinkkipohjamaalin tartunta alustaan ja uraetaanieristeen tar-

tunta sinkkipohjamaaliin todettiin hyväksi. Tartuntatestauksen jälkeen molempia koelevyjä vanhennettiin kuuma/ kylmäsyklillä seuraavasti: Sykli:

- 1) Lämpökaappi +90 °C, 3h, jonka jälkeen 15 min +23 °C
- 2) Pakastin -18 °C, min 3h, jonka jälkeen 15 min +23 °C

Väliajat kappaleet säilytettiin pakastimessa. Sykli toistettiin 20 kertaa, jonka arvioidaan vastaavan noin 10 vuoden rasitusta todellisissa käyttöolosuhteissa. Tulokset 20 syklin jälkeen uraetaanieristeen tartunta pohjamaaliin ja pohjamaalin tartunta alustaan arvioitiin vielä uudelleen. Alkuperäiseen tartuntaan verrattuna ei ole havaittavissa muutoksia, joten pohjamaali ja uraetaanieriste toimivat hyvin yhdessä lisäksi pohjamaali oli hyvin kiinni alustassaan. Eristeessä on havaittavissa lievää kellastumista lämpösykliä seurauksena. Laboratoriokokeen suoritti 16.11.2011 Teknos Oy:stä tuotekehityskemisti Virtanen, P.

Maaliyhdistelmän kestävyys kytkeytyy yhdistelmän kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin, esim. sideainetyyppi, kuivakalvonpaksuus. Näitä ominaisuuksia voidaan arvioida keinovanhennustesteillä. Ensisijaisesti kiinnostuksen kohteina ovat kosteuskestävyys ja suolasumukestävyys, joilla saadaan viitteitä märkätarttuvuudesta ja sulkuominaisuuksista (SFS-EN ISO 12944-6 2007, 10.)

Keinovanhennustestien tuloksia SFS-EN ISO 12944-6 (2007, 10) mukaan on kuitenkin käytettävä varoen. On selkeästi ymmärrettävä, että keinovanhennuksella ei välttämättä ole samaa vaikutusta toimivuuteen kuin luonnon mukaisella altistuksella. Useat tekijät vaikuttavat heikentymisprosessin etenemiseen, eikä niitä kaikkia ole mahdollista kiihdyttää oikealla tavalla. Tämän takia on laboratoriossa tehtyjen keinovanhennustestien perusteella vaikeata laatia luotettavaa paremmuusjärjestystä sellaisille maaliyhdistelmille, jotka ovat koostumukseltaan hyvin erilaisia. Tämä voi toisinaan johtaa tehokkaiden maaliyhdistelmien hylkäämiseen, koska ne eivät läpäise näitä testejä.

8.6 Äänieristysmassan testaus

Ashland inc Hollannin laboratoriossa tehtiin laboratoriokokeita alustamassalle. Tutkimuksen tarkoituksena, oli selvittää miten alustamassa suojaa maalipintaa kulumiselta ja teräsrakennet-

ta korroosiolta. Lisäksi testauksella selvitettiin alustamassan kulutuskestävyyttä. Tuotteena oli uuden sukupolven bitumivapaa Tectyl tuote.

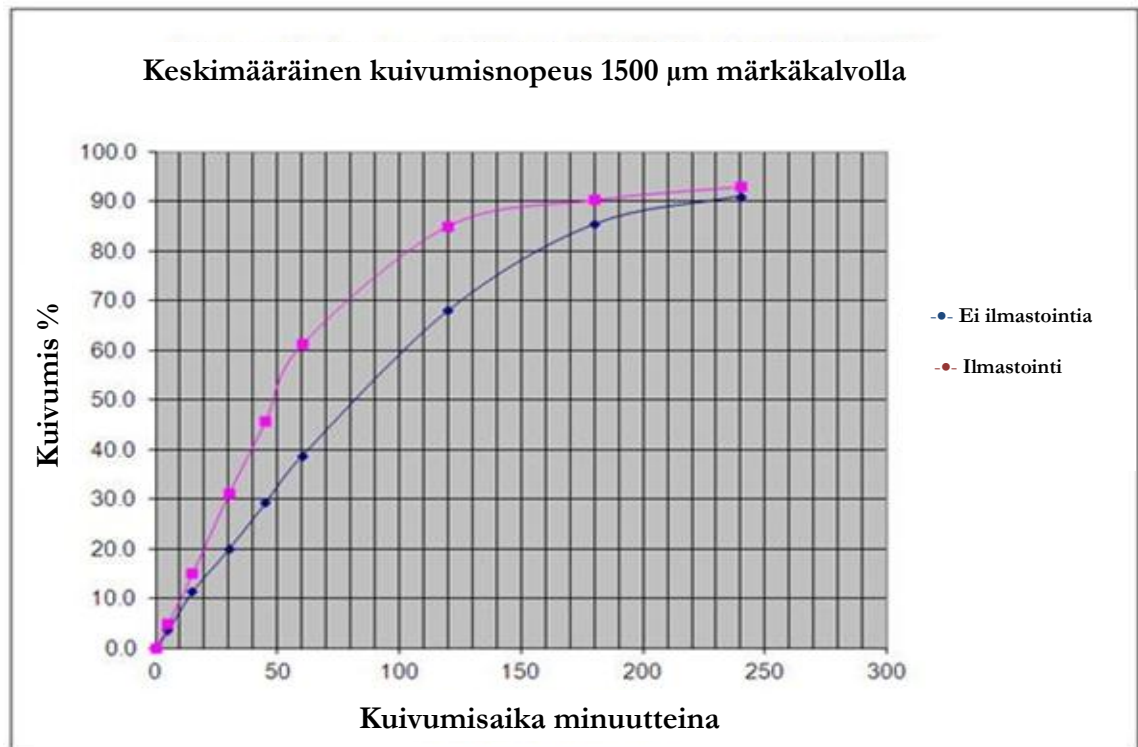
Kuivumisominaisuudet analysoitiin kahdella menetelmällä taulukko 7. Kuivumisaika mitattiin 80 % märkäkalvon kuivumista sekä koelevyyn kohdistetulla roiskevesitestillä. Testi menetelmissä koelevyjen alustamassan märkäkalvonpaksuus oli 750 µm ja 1500 µm. Koneellisen ilmanvaihdon teho oli testikaapissa, noin 400–500 m³ tunnissa. Laboratorio olosuhteet olivat testin aikana +23 °C ja rH 50 %.

Taulukko 7. Ruiskutuksen jälkeinen kuivumisaika.

Kuivumisominaisuudet	Kuivumisaika
Kuivumisaika 750 µm märkäkalvo 80% kuivuminen	40-45 minuuttia
Kuivumisaika 1500 µm märkäkalvo 80% kuivuminen	Noin 100 minuuttia
Roiskevesitesti 1500 µm	Pyyhkäisynä keskiarvo 45 minuuttia

Kuten tuloksista voi todeta kuivumiseen vaikuttaa levitetty nimelliskalvonpaksuus. Roiskevesitestissä koelevyjen pintaan on ruiskutettu vesisumua. Pinta on ollut pyyhkäisykuiva 45 minuutissa, jolloin vesi ei pysty enää tekemään muutoksia käytettyyn materiaaliin. Mittauksessa käytetyn 80 % kuivumisajan vertailun jälkeen kuivuminen hidastuu. Lopullisen kuivakalvon saavuttaminen, voi viedä aikaa jopa kolmenkertaisen ajan.

Seuraavassa kuviossa 31 on esitetty kuivumisaika ilman ilmanvaihtoa ja ilmanvaihdon kanssa. Molemmilla testilevyillä oli määrän massan määrä 1500 µm. Kuten kuviosta voi havaita ilmanvaihto vaikuttaa massan alkukuivumisessa, mutta sitten se hidastuu 90 % haihtumispiirteen saavuttaessaan.

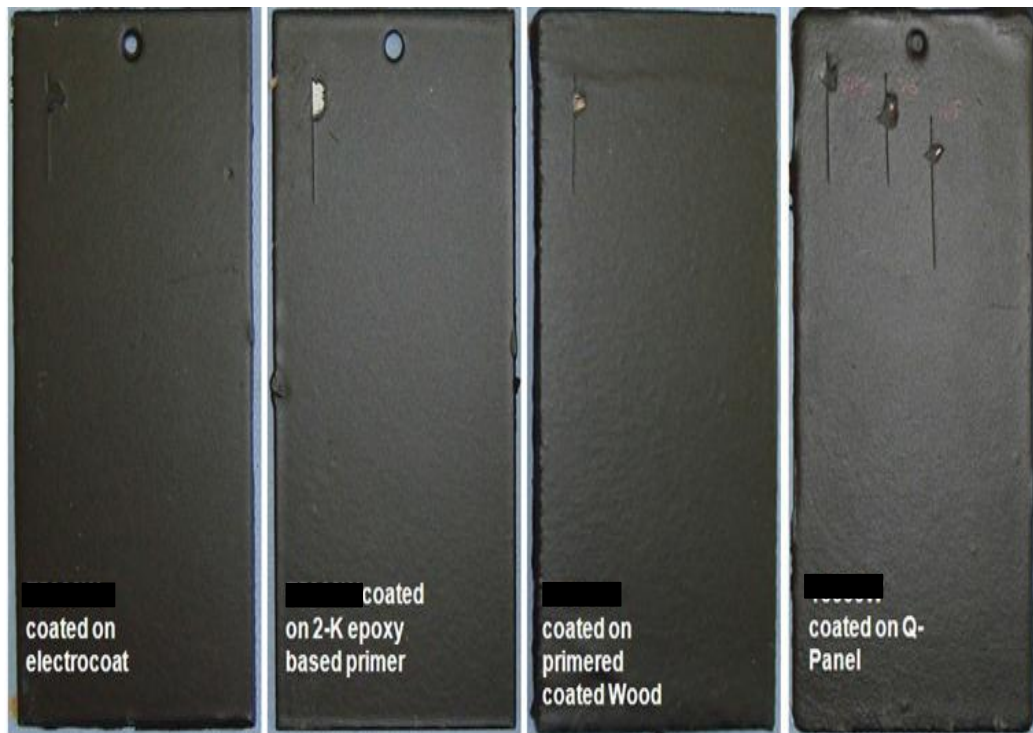


Kuvio 31. Kuivumisajat ilman ilmastointia ja ilmastoinnin kanssa.

Koneellisella ilmanvaihdolla on mahdollista nopeuttaa äänieristysmassan kuivamista ruiskutuksen jälkeen. Tällä ei saavuteta kuitenkaan merkittävää etua kuivumisajassa, koska 90 % kuivumispisteessä kuivumisprosessi hidastuu. Se mitä lämpötilan korottamisen vaikutuksella, olisi, voinut saavuttanut koneellisen ilmanvaihdon kanssa ei selvinnyt näistä koetuloksista.

8.7 Adheesiotesti

Adheesiotestissä analysoitiin raaputtamalla äänieristemassan kiinnipysyvyyttä alustansa. Pinnoitteisiin tehtiin naarmu veitsellä ja tältä alueelta yritettiin poistaa päällystettä rapsuttamalla alustaa. Ennen analyysin suorittamista pinnoitteet olivat kuivaneet koelevyissä 7 pv lämpötilassa 23 °C ja rH oli kuivumisen aikana 50 %. Yleensä äänieristysmassan adheesio kasvaa kuivumisajan pitentyessä. On hyvä muistaa, että testien aloitusvaiheessa koelevyt olivat kuivuneet ilmassa. Näin niiden kuivumista ei yhtään nopeutettu kuivumisilman korottamisella.



Kuvio 32. Adheesiotarttuvuus viiltotestinä.

Kuten kuviosta 32 voi havaita koelevyissä adheesio toimi parhaiten 2-K epoksimaalilla sekä pohjamaalatussa puussa. Tämä voi johtua siitä, että massan tarttuvuus on hyvä kyseisten pohjamaalien kanssa.

8.8 Uudet adheesiotestit

Kolme koelevyä pintakäsiteltiin 2 K akryylimaalilla. Maalin kuivuttua niille levitettiin massa jonka annettiin kuivua 7 vuorokautta lämpötilassa 23 °C ja rH ollessa 50 %. Ensimmäiseen koelevyyn tehtiin adheesiotestinä veitsi- ja hilaristikkokoe (ISO 2409). Testin jälkeen toinen koelevy oli 3 tuntia 105 °C lämpötilassa. Kolmas koelevy oli sääkaapissa 240 tuntia DIN 50017 mukaisesti. Näiden toimenpiteiden jälkeen koelevyt olivat tunnin ympäristössä vaikuttavissa olosuhteissa.

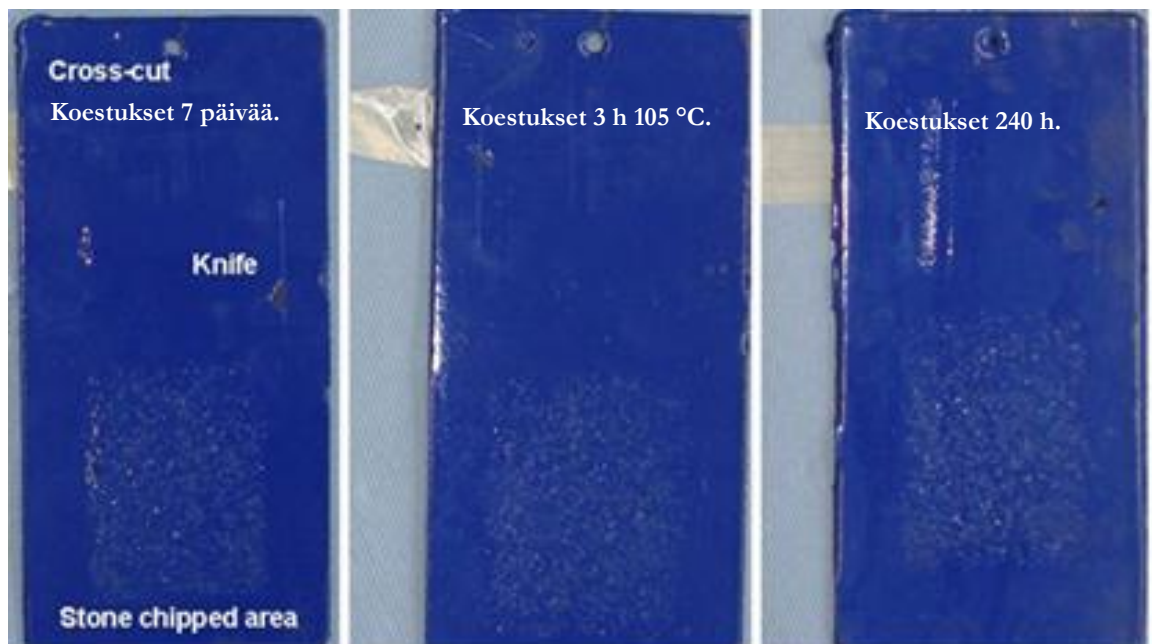
Tämän jälkeen levyille tehtiin tartuntatestit koelevyn 1 mukaisesti myös 2 ja 3 levyyn. Hiekatesti tehtiin kaikkiin levyihin Erichen Model 508 laitteella teräshiekalla kaksi kertaa. Tämän jälkeen koelevyt olivat 7 pv vanhenemistestissä, 3 tuntia 105 °C ja 240 tuntia säätetissä

(DIN 50017). Lopputulokset olivat testien perusteella hyvät. Taulukossa 8 on esitetty testin tulokset. Massa on suojannut alustaa kaikkien koestuksien tuloksien perusteella hyvin.

Taulukko 8. Adheesiotestien tulokset

Adheesiotesti	Tulokset
Adheesiotesti 7 päivän jälkeen	Hilaristikko ja veitsi Hyväksytty
Hiekkatesti 7 päivän jälkeen	2 x 500 g Hyväksytty
Adheesiotesti pitoaika 3 h 105 °C jälkeen	Hilaristikko ja veitsi Hyväksytty
Hiekkatesti pitoaika 3 h 105 °C jälkeen	2 x 500 g Hyväksytty
Adheesiotesti 240 h säätestien jälkeen DIN 50017	Hilaristikko ja veitsi Hyväksytty
Hiekkatesti 240 h säätestien jälkeen DIN 50017	2 x 500 g Hyväksytty

Koelevyt kuviossa 33 testauksien jälkeen. Massa on pysynyt hyvin alustassaan kiinni kaikissa testausmenetelmissä. Massan pinta näyttää hyvältä ja korroosiota ei ole näkyvässä yhdessäkään koelevyssä.



Kuvio 33. Koelevyt ikääntymistestien jälkeen.

Vaikka kulutuksen testauksia tehdään laboratorio-olosuhteissa teknisillä laitteilla, niin tuloksista saadaan hyvää ja luotettavaa tietoa. Testauksien tuloksien perusteella voi analysoida miten kulumista tapahtuu oikeissa ilmastorasituksissa. Tuloksien perusteella voi säädellä vielä esimerkiksi kuivakalvonpaksuuksia.

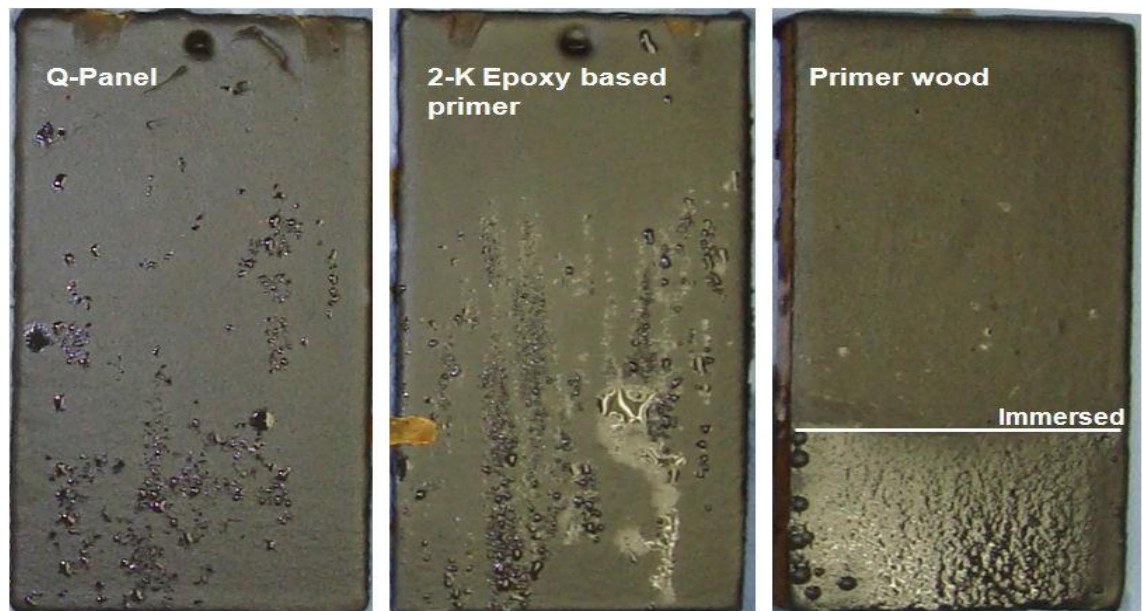
8.9 Säätesti (DIN 50017)

DIN 50017 mukaisesti koelevyihin tehtiin analysointi, miten kosteus vaikuttaa massa. Pinnoitetta sumutettiin alhaisella paineella 480 tuntia. Tässä altistamisessa koelevyt ovat erittäin kosteassa ympäristössä määritetyn tuntimäärän ajan. Taulukossa 9 on esitetty testin tulokset. Koelevyjen sääaltistamisen jälkeen tutkittiin vielä adheesio, kupliminen, ruostuminen sekä hiekkatestin tulokset. Kaikki testien tulokset olivat hyväksyttäviä.

Taulukko 9. Säätestien tulokset

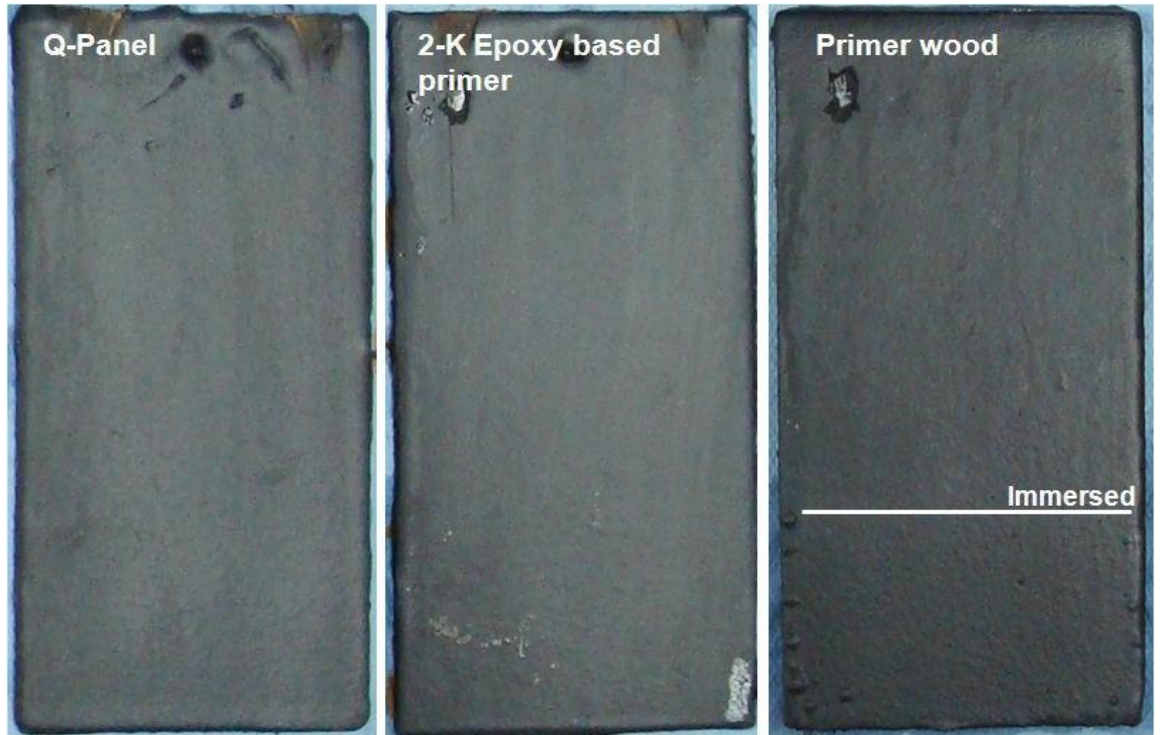
Testit	Tulokset
Adheesiotesti	Hyväksytty veitsi
Kupliminen	Hyväksytty ei kuplimista.
Ruostuminen	Hyväksytty ei ruostetta
Hiekkatesti	2 x 1 kg Hyväksytty

Kuten koelevyistä kuvio 34 voi havaita, kosteus näkyy massan pinnalla. Erityisesti puulevyssä upotusrasitettupinta näyttää hyvin pehmeältä. Samalla alueella on havaittavissa myös kuplimista.



Kuvio 34. Koelevyihin on tehty DIN 50017 mukainen 240 h säätesti.

Seuraavassa kuviossa 35 on samat koelevyt 240 h suolasumukoestuksen jälkeen. Mielenkiintoista on havaita, että puulevyn upotettupinta on normalisoitunut ja reuna-alueilla on havaittavissa enää hieman kuplimista. Koelevyihin on tehty myös adheesiotesti veitsellä.



Kuvio 35. Koelevyt ovat olleet DIN 50017 mukaisesti 480 h säätetissä.

Tutkimuksen pohjalta ei saanut tietoa, miten kauan koelevyt olivat normalisoituneet testien jälkeen. Havaittavissa on kuitenkin, että kosteus haihtuu pois massan pinnasta. Kaikissa koelevyissä pinnoite kesti hyvin säätetäksen. Sään aiheuttamia rasituksia ovat esimerkiksi vesi ja kosteus, auringon valo, ilman happi, ilman epäpuhtaudet, lämpö ja jäätyminen.

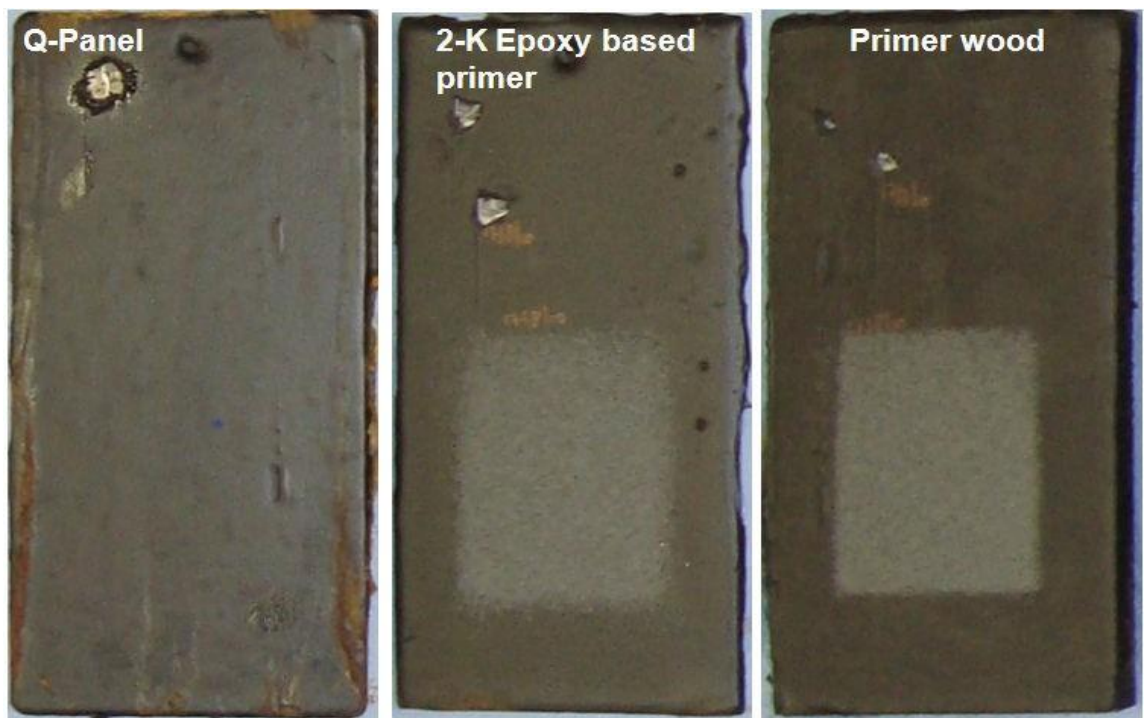
8.10 Suolasumutesti (DIN 50021)

Koelevyjä altistettiin 480 h suolasumussa DIN 50021 mukaisesti. Suolasumun jälkeen koelevyihin tehtiin adheesiotesti, analysoitiin kuplan ja ruosteen muodostuminen. Lisäksi levyihin tehtiin vielä hiekkatesti joka toistettiin 20 kertaa. Testillä haettiin ilmastosta johtuvia rasituksia sekä massan kulutuksen kestävyyttä.

Taulukko 10. DIN 50021 suolasumukoe 480 h.

Testit	Tulokset
Adheesiotesti	Hyväksytty veitsi
Kupliminen	Hyväksytty ei kuplimista.
Ruostuminen	Hyväksytty ei ruostetta
Hiekkatesti VDA 508	20 x 1 kg Hyväksytty

Seuraavassa kuviossa 36 koelevyt ovat olleet 480 h suolasumukoestuksessa. Havaittavissa on, että massan väri on muuttunut koestuksen aikana. Lisäksi Q levyssä on vähäistä kuplimista. Alustamassa kestää hyvin suolasumukoestuksen ja hiekkatestin. Kiinnipysyvyyteen koestuksella ei ollut vaikutusta.



Kuvio 36. Koelevyihin on tehty adheesio- ja hiekkatestit 480 h suolasumukoestuksen jälkeen.

Äänieristysmassa kesti hyvin suolasumukoestukset myös alueilla, joissa oli mallinnettu kulumista. Tästä voi todeta, että vaikka massan pinnan paksuus ohenee kulutuksen vaikutuksesta se kestää ympäristörasitukset hyvin.

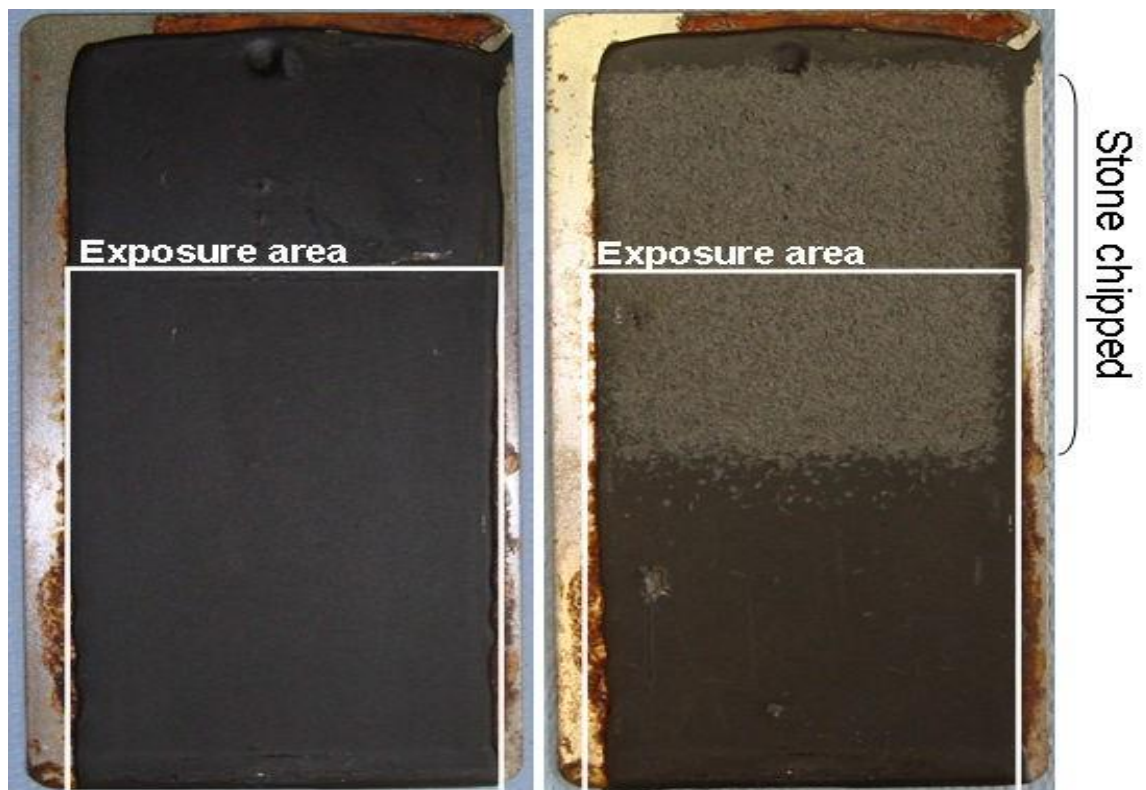
8.11 Kiihdytetty säätesti

Säänkestoa voi analysoida kiihdytetyn QUV testin avulla. Syklit tehtiin seuraavasti. Ensin 4 h UVB 213 +65 °C ja sen jälkeen 8 h kovassa kosteudessa rH 100 % lämpötilan ollessa +35 °C. Syklit toistettiin 360 h saakka. Tämän jälkeen koelevyille suoritettiin veitsi- ja hiekkatesti 24 h sisällä säätestin loppumisesta. Ruostuminen ja kupliminen arvioitiin DIN ISO 4628- 2, 3 mukaisesti. Taulukossa 11 on kiihdytetyn säätestin tulokset.

Taulukko 11. Kiihdytetyn QUV säätestin tulokset

Testit	Tulokset
Adheesiotesti	Hyväksytty veitsi
Kupliminen	Hyväksytty ei kuplimista.
Ruostuminen	Hyväksytty ei ruostetta
Hiekkatesti VDA 508	20 x 1 kg Hyväksytty

Kuviossa 37 oleville koelevyille on tehty kiihdytetty säätesti. Kuten koelevyistä voi havaita ympäristörasituksien vaikutukset eivät heikennä pinnoitteen kulutuskestävyyttä.



Kuvio 37. Koelevyt ovat olleet 360 h kiihdytetyssä säätestissä. Vasemmanpuoleiseen levyyn on suoritettu adheesiotesti ja oikeanpuoleiseen levyyn hiekkatesti.

Kuten kaikista koetuloksista voi todeta, että massa suojaa hyvin alustaa vaurioitumiselta ja korroosiolta. Mekaanisen kulutuksen kestävyys kaikilla koemenettelyillä olivat hyvät. Tämä on suurin rasitus joka alustamassaan tulee kohdistumaan. Laboratoriokokeista vastasi 12.12.2012 Trier, R.V, M.Sc. Tekninen tuotepäällikkö Valvoline Eurooppa, Lähi-itä & Afrikka.

Avoin keskustelu Buysman, E, kanssa kyseisestä tuotteesta. Hän kertoi, että käytetty alustamassa kenttä- ja laboratoriokokeissa on heidän pitkäaikaisen tutkimus- ja tuotekehitystyön tulos. Tuotetta on tutkittu ja kehitetty jo 10 vuoden ajan. Tämä on ehdottomasti ollut paras vaihtoehto heidän tuotteista raitiovaunussa käytettävään korroosiosuojaukseen. Kuten tutkimutuloksista voi analysoida, tämä on hyvin rasituksia kestävä tuote. Lisäksi sen levitettävyyden ominaisuudet toimivat hyvin.

Kysymykseen, miten tuote toimii valitun maalausjärjestelmän kanssa, hän ei osannut arvioida sitä vielä ennen laboratoriotestauksia. Hänellä oli kova usko tästä heidän tuotteesta, että sen alustana ei tarvitse olla välttämättä kaikkia maalikerroksia. Tuotteella voi ehkä korvata koko maalausjärjestelmän, ja sen voisi levittää jopa teräksen päälle suoraan. Sovimme, että asiaan liittyen teemme vielä uudet tutkimukset heidän laboratoriossa.

Buysman kertoi myös, että heillä on tuotekehityksestä valmistunut uusi vastaava tuote. Sovimme, että tekisimme tälläkin tuotteella laboratoriokokeet vertailun vuoksi. Tässä tutkimuksessa käytetyn alustamassan voi tarvittaessa ylimalata pintamaalilla, tai sitä saa tilattua useilla eri valmiilla sävyvaihtoehdoilla. Tämä on ollut viimeisintä tuotekehitystyötä, kyseisen tuotteen kanssa. Avoin keskustelu käytiin 1.2.2013 Buysman, E Valvolinen Euroopan aluemyyntipäällikön kanssa.

8.12 Uudet tutkimukset

Buysman, E, kanssa käydyn avoimen keskustelun jälkeen, teimme vielä uudet koelevyt Optim 550 W teräksestä. Koelevyt lähetettiin 18.2.2013 Hollantiin Ashland Inc laboratorioon koestuksiin. Koelevyt pintakäsiteltiin alla olevan listauksen mukaisesti (katso mittauspöytäkirja liite 1 ja 2).

NL 1. No surface preparation Tectyl

NL 2. Surface preparation Sa 2½ + Zinc Rich Epoxy Primer + Tectyl

NL 3. Surface preparation Sa 2½ + Zinc Rich Epoxy Primer + Teknodur Combi 3560 2-component polyurethane + Tectyl

NL 4. Surface preparation Sa 2½ + Tectyl

NL 5. Surface preparation Sa 2½ + Teknodur Combi 3560 2-component Polyurethane + Tectyl

NL 6. Surface preparation Sa 2½ + Epoxy Primer 7-02 + Tectyl

NL 7. Surface preparation Sa 2½ + new Tectyl

Laboratory test:

- Renault 1081 Norm
- Erichsen Model 508, operating at 2 bar
- Adhesion a knife
- Salt Spray resistance (DIN 50021) 1440 hours
- Weathering resistance 360 hours

Koelevyjä lähetettiin tutkimuksiin yhteensä seitsemän kappaletta. Kaikista koelevyistä tehtiin mittauspöytäkirjat. Uusien laboratoriotuloksien perusteella voidaan tutkia lisää eri pinnoite yhdistelmien korroosiosuojausominaisuuksia. Uusien koelevyjen koestukset eivät valmistuneet tähän tutkimustyöhön. Kuitenkin näistä uusista tuloksista analysoidaan vielä jälkepäin tämän tutkimustyön tuloksiin.

Laboratoriotutkimuksien jälkeen tehtiin yksi suurempi kenttäkoe, jossa testikori pintakäsiteltiin sinkkipölymaalilla ja polyuretaanimaalilla. Pintakäsittelyn jälkeen korin alustaan ruiskutettiin lopuksi vielä äänieristysmassa. Pinnoitteiden levitykset toteutuivat hyvin. Laboratoriotutkimuksien perusteella voi todeta, että sinkkipölymaali toimii hyvin korroosiosuojauksessa. Tutkittu äänieristysmassa suojaa taas hyvin maalipintaa siihen kohdistuvilta mekaanisilta rasituksilta, sekä antaa lisäarvoa korroosiosuojauksena.

Rasitukset vaikuttavat suoraan maalipintaan ja maalipinnan läpi alustaan, sekä alusta takaisin maalipintaan. Joidenkin vaurioiden syntyminen edellyttää useiden rasitusten yhtäaikaista vaikutusta. Alustan materiaalista riippuu rajoittuvatko mahdolliset vauriot vain ulkonäön muu-

tosiin tai vioittuuko lopulta koko rakenne käyttökelvottomaksi. Esimerkiksi teräsrakenteiden korrosio johtaa pitkälle edettyään rakenteen lujuuden heikkenemiseen (Kallioinen ym. 1982, 116–117.)

Maali kiinnittyy alustaan sideaineen molekyylien ja alusmateriaalin molekyylien välisten fyysikaalisten voimien vaikutuksesta. Näitä molekyylien välisiä adheesiovoimia sanotaan Van Der Waalsin voimiksi. (Kallioinen ym.1982, 161.) Kiinnittyminen saavutetaan hyvin, kun sideaineen ja alustan molekyylien etäisyys on pieni ja alustan ominaispinta-ala on suuri. Tämä voidaan saavuttaa esimerkiksi suihkupuhdistuksella.

Koko pintakäsittelyprosessin onnistuminen on kiinni kaikista tekijöistä, joita siihen liittyy. Huolellinen pesu, suihkupuhdistus ja valitut pinnoitteet levityksineen takaavat kiinnipysymisen alustassa kovissakin rasituksissa. Koko prosessilla saavutetaan luotettava pintakäsittely, joka suojaa käsiteltyä pintaa korroosiorasituksilta. Laboratorio- ja kenttäkoetutkimuksilla saadaan luotettavaa tietoa erilaisten materiaalien käyttäytymisistä ja yhteensopivuuksista toistensa kanssa. Kuten kaikki testit osoittavat, että käytetyillä materiaaleilla on saavutettu hyvin luotettavia tuloksia korroosion estämisessä.

9 KORROOSIONESTOMAALAUKSEN SUUNNITTELU

Onnistuneeseen korroosionestomaalaukseen päästään, kun se on teknisesti hyvin toteutettu. Taloudellisesti edullinen korroosionestomaalaus edellyttää aina huolellista suunnittelua. Korroosionestomaalauksen suunnittelussa on haettava tietoa maalattavan rakenteen raaka-aineesta valmiiksi, toimivaksi rakenteeksi asti. Tästä syystä korroosionestomaalaus on otettava huomioon, jo kun ryhdytään suunnittelemaan uutta rakennetta. Korroosionestomaalaussuunnitelmaan kerätään tiedot kaikista niistä tekijöistä, jotka vaikuttavat maalauksen kestoikään, kuten

- rakenteen toiminta ja elinkaari
- rakenteen ympäristörasitukset
- rakenteen suunnittelu ja muotoilu
- pinnan puhdistukset, esikäsittelyt ja maalaukset
- maalausvälineet
- maalit
- maalauspaikka, -aika ja olosuhteet
- ammattitaito
- maalaustyön valvonta
- huoltomaalaukset

Maalaussuunnitelman perusteella tilaaja voi laatia maalauserittelyn. Maalauserittelyn perusteella laaditaan työseloste, jossa selostetaan millä tavalla saavutetaan toivottu korroosionestomaalauksen kestoikä. Maalauserittelyn ja työselosteen laatimiseen saa apua korroosionestomaalausstandardeista. Standardien avulla voidaan yksiselitteisesti määrittellä ympäristön rasitukset, teräspinnan tila ennen maalausta, esikäsittelyn laatuaste, maalaustyö, maalaustyön valvonta jne. Standardi ISO 12944-8 opastaa maalaustyön suunnittelussa ja maalauserittelyn laatimisessa.

9.1 Maalauksen huomioiminen teräsrakenteen suunnittelussa

Standardissa ISO 12944 annetaan ohjeita teräsrakenteen suunnittelijalle korroosionestomaalauksen asettamien vaatimusten huomioinnoksi rakenteen suunnittelussa. Korroosionesto alkaa siitä, että valitaan sopivat rakenneaineet ja määrätään ne toimenpiteet, joiden avulla aiotaan estää korroosiota. Rakenteen muoto ja sijainti vaikuttavat ratkaisevasti korroosionestomaalauksen suorittamiseen, tarkastukseen, kunnossapitoon sekä maalauksen kestävyteen ja sen kestoikään.

Rakenteen muotoilussa pyritään käyttämään korroosionkestävyyttä parantavia muotoja. Maalattavat pinnat tehdään mahdollisimman sileiksi välttämällä maalaukseen vaikuttavia teräviä kulmia. Rakenneosat sijoitetaan siten, että rakenne voidaan pitää puhtaana, kuivana ja että pintaan satanut, roiskunut tai tiivistynyt vesi pääsee valumaan siitä pois. Hitsausliitokset suunnitellaan siten, ettei liitettävien kappaleiden väliin jää rakoja, joita ei pystytä maalaamaan. Katkohitsiä tulee välttää. Yhtenäinen hitsipalko rakenteessa ei jätä hankalasti maalattavia rakoja kuten katkohitsi.

Teräsrakenteen pinnan jokaisen kohdan tulee sijaita siten, että se voidaan esikäsitellä, maalata, tarkastaa ja huoltaa). Maalattavan pinnan edessä tulee olla riittävä tila esikäsitely- ja maalausvälineille. Pinnat, joita ei voida käsitellä kokoonpanon jälkeen ja jotka joutuvat korroosiorasitukseen, tulee vahvistaa maalata etukäteen tai valmistaa syöpymistä kestävästä aineesta.

9.2 Maalausjärjestelmän valinnan vaikutus käyttöikään

Maalausjärjestelmien käyttöiän määrittäminen on melko selkeä toimenpide, kuitenkin Soinisen (2006, 264) mukaan tulosten tarkkuus ja päätelmät perustuvat suuresti huoltomaalausvälineistä ja maalausjärjestelmistä olemassa oleviin käytännön tietoihin. On olemassa monia tapoja määrittää maalausjärjestelmien käyttöiät. Maalausjärjestelmän päätavoite on *estää rakenteen tuboutuminen suunniteltuna käyttöaikana korroosion vaikutuksesta ja säilyttää sille haluttu ulkonäkö.*

Maalausjärjestelmän käyttöikä riippuu siis sille asetetuista tavoitteista ja tavoitteiden saavuttamiseksi suoritetuista toimenpiteistä. Monissa tapauksissa asetetut tavoitteet sisältävät korroosiosuojauksen sekä ulkonäkövaatimukset.

9.3 Huoltomaalaus

Korroosio kustannuksien kannalta olisi hyväksyttävää antaa kohteen turmeltua ruostumisasteeseen Ri4, mutta taloudellisesta näkökulmasta ei. Jos rakenne huoltomaalataan ennen, kuin sen ruostumisaste on kovin suuri, saadaan säästöjä aikaan alhaisimmilla työkustannuksilla. Ympäristökustannuksien nostettua uusintamaalaukuskustannuksia noin 50 % ja joissakin tapauksissa vielä reilusti enemmän tulisi alun perin valita kriteerit täyttävä maalausjärjestelmä. (Soininen 2006, 264)

Huoltomaalauksen vaikutusta maalauskustannuksiin arvioidaan taulukossa 12. Maalausjärjestelminä on alkydi-, epoksi-, ja polyuretaanijärjestelmät. Laskennassa on käytetty teoreettisesti maalattavana pinta-alana 200 m², jonka alustana on teräsrakenne. Korroosionestomaalauksen kestoiksi on määritelty tässä laskennassa 40 vuotta, jolloin kaikissa maalausjärjestelmissä huoltomaalaukuskustannukset ovat vertailukelpoisia keskenään.

Huoltomaalaus paikkamaalauksena on suunniteltu tehtäväksi kaikissa järjestelmissä ensimmäisen kerran, viimeistään 5 vuoden kuluttua. Tämä johtuu siitä, että huoltomaalausväli on yleensä vaikea arvioida. Viiden vuoden jälkeen teräsrakenteesta voi havaita, jo miten sen suojavaalaus on toiminut. Kaikki maalausjärjestelmät järjestelmät yltyvät vähintään rasiusluokka C4.

Maalausjärjestelmien loppukustannukset on laskettu lähtötiedoilla käytännön riittoisuus, maalin neliökustannukset ja maalauskustannukset teoreettisilla kustannushinnoilla. Pesuissa on käytetty oletuskustannuksena 2,5 €/m², suihkupuhdistuksessa 9 €/m² ja maalaustyössä 2,5€/m². Kustannuslaskennan voi tehdä esimerkiksi seuraavalla tavalla:

- Käytännön riittoisuus (m²/litra) = kuivainepitoisuus (%) x 10 x (1- ohiruiskutus) / kuiva-aineen paksuus (µm).
- Maalin kustannus (€ m²) = maalin hinta (€/litra) / riittoisuus (m²/litra).
- Maalauskustannus = maalin hinta (€/litra) x kuivakalvonpaksuus (µm) / kuivainepitoisuus (%) x 10. (Tikkurila)

Tästä saadaan laskentakaava: pesu+ suihkupuhdistus + työ + maalikustannus.

Taulukko 12 huoltomaalauslaskelma.

Kohteen pinta-ala 200 m ²	200		
Maalausjärjestelmä	AK 200/4 FeSa 2½	EP 240 /3 FeSa 2½	EPZn(R)PUR 200/2 FeSa 2½
Uudelleenmaalaus €/m ²	24,27 €	20,34 €	21,63 €
Paikkamaalaus €/m ²	7,77 €	6,34 €	10,13 €
Maalit €/m ²	2,77 €	1,64 €	1,53 €
Pesu	2,50 €	2,50 €	2,50 €
Suihkupuhdistus €/m ²	9,00 €	9,00 €	9,00 €
Maalaustyö €/m ²	2,50 €	2,50 €	2,50 €
Yhteensä €/m²	24,27 €	20,34 €	21,63 €

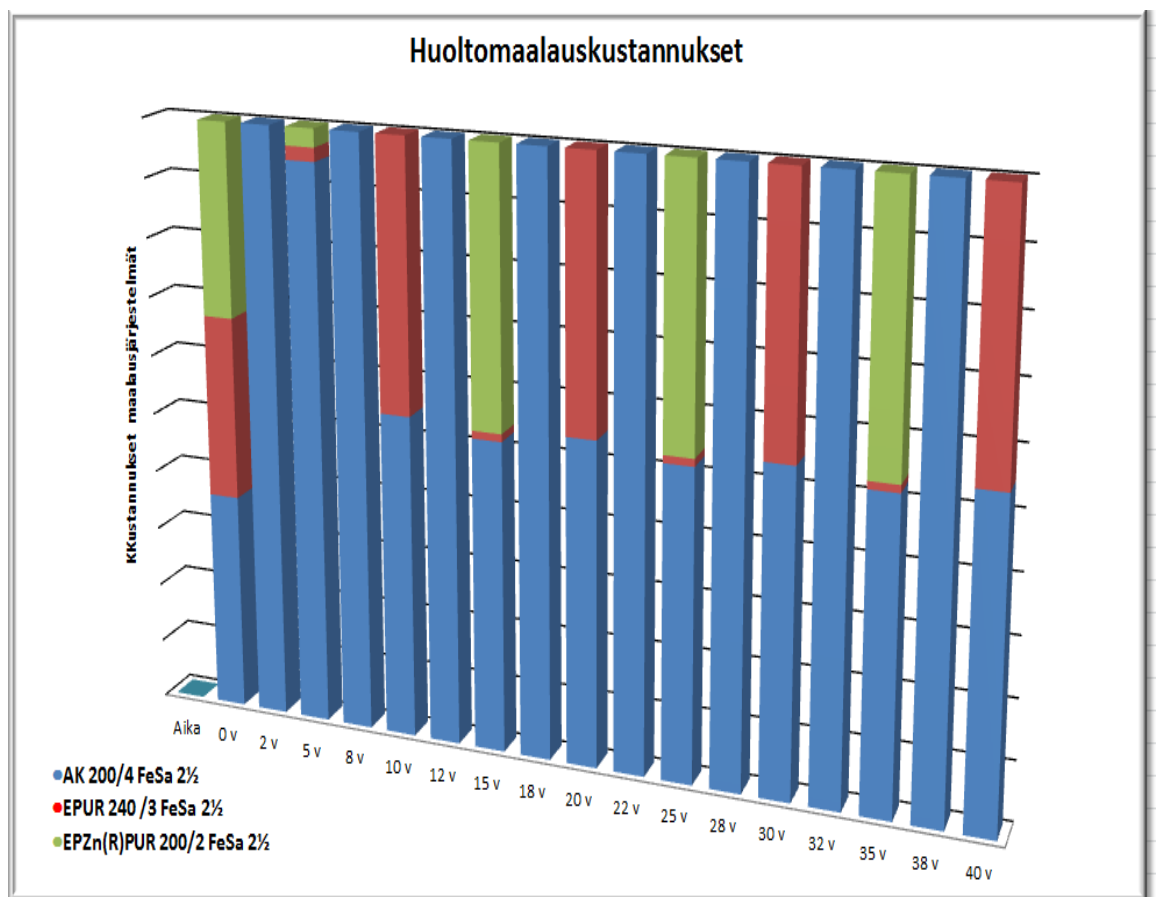
Yhteensä 200 m²/€ **4 854,00 €** **4 068,00 €** **4 326,00 €**

Huoltomaalausväli

Paikka-/uusintamaalaus	Aika	5	10	yli 20
Maalattava pinta-ala m ²				
Uusintamaalaus 200 m ²	0 v	4 854,00 €	4 068,00 €	4 326,00 €
Paikka maalaus 20 m ²	2 v	171,32 €		
Paikka- tai uusintamaal. 20 m ²	5 v	6 195,07 €	153,15 €	202,60 €
Paikkamaal. 20 m ²	8 v	229,59 €		
Uusinta- tai paikkamaal. 200 m ²	10 v	7 906,65 €	6 626,34 €	
Paikkamaalaus	12 v	279,07 €		
Uusinta- tai paikkamaal.	15 v	10 091,12 €	249,47 €	8 993,44 €
Paikkamaal.	18 v	373,99 €		
Uusinta- tai paikkamaal.	20 v	12 879,11 €	10 793,62 €	
Paikkamaal.	22 v	454,58 €		
Uusinta- tai paikkamaal. 200 m ²	25 v	16 437,37 €	406,36 €	14 649,37 €
Paikkamaal	28 v	609,18 €		
Uusinta- tai paikkamaal.	30 v	20 978,71 €	17 581,66 €	
Paikkamaal	32 v	740,47 €		
Uusinta- tai paikkamaal.	35 v	26 774,74 €	661,92 €	23 862,28 €
Paikkamaal	38 v	992,30 €		
Uusinta- tai paikkamaal.	40 v	34 172,11 €	28 638,67 €	

Loppukustannukset € **81 459,76 €** **39 878,60 €** **52 033,69 €**

Seuraavassa kuviossa 38 on havainnollistettu, miten huoltomaalaukset jakautuvat 40 vuoden aikana eri maalausjärjestelmillä. Epoksimaalauksella huoltomaalaukset ovat alhaisimmat ja alkydimaalauksella kalleimmat. Sinkki / polyuretaaniyhdistelmällä ne ovat hieman korkeammat, kuin epoksijärjestelmällä. Mutta huoltomaalausvälit ovat pitemmät, kuin muilla maalausjärjestelmillä. Lisäksi on otettava huomioon, kun huoltomaalauksia tehdään, maalatulla tuotteella ei voi tehdä mitään ennen maalien kuivumisia. Tästä aiheutuu myös omat kustannukset. Sinkki / polyuretaanijärjestelmä on maalausprosessia ajatellen nopein järjestelmä huoltomaalauksen läpiviemiselle.



Kuvio 38. Huoltomaalaukset ja niiden jakautuma.

Tutkimusprosessi ei lopu koskaan lopu siihen, että tutkimusongelma saadaan selvitettyä, koska vastaukset ovat aina vain osavastauksia ja osatotuksia. Yhden tutkimuksen loppu tai sen aikana saatu idea voi olla toisen tutkimuksen alku. (Alasuutari 1994, 249)

10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tutkimustyössä tutkittiin parasta mahdollista maalausjärjestelmää raitiovaunun korirakenteelle. Tutkimuksia suoritettiin kenttä- ja laboratoriokokeina. Tutkimuksessa selvitettiin, minkälaisia korroosionmuotoja teräsrakenteeseen kohdistuu. Lisäksi maalausjärjestelmää varten selvitettiin, minkälaisissa ympäristörasituksissa korit tulevat olemaan. Teollisuus- ja meri-ilma-asto vaikuttavat suuresti raitiovaunujen linjareiteillä Helsingissä. Myös maantiesuolat ja hiekka sekä jää ja lumi tuovat korien alustarakenteille lisärasituksia.

Tutkimuksen alussa kiinnosti ajatuksellisesti sinkkipölymaalin tuoma mahdollisuus tuotemaalauksessa. Tämä johtuu sinkin antamasta suojauksesta pinnoitteen vaurioituneessa kohdassa. Tämän lisäksi alustaan kohdistuvia mekaanisia rasituksia tuli saada vähennettyä. Tästä alkoi tutkimus-sarja äänieristeen käyttömahdollisuudesta alapuolisten rakenteiden ja maalikalvon suojaajana.

Tutkimuksia varten tehtiin kenttä- ja laboratoriokokeita. Kokeita tehtiin yrityksen Otanmäen tehtaalla tuotemaalauksina sekä koelevyjen pintakäsittelyinä. Ashland Inc ja Teknos Oy:n – laboratorioissa tehtiin korroosiosuojausjärjestelmään kohdistuvia koeistuksia. Koetuloksia analysoitiin ja niiden pohjalta tehtiin kori ”makettiin” koeruisikutukset. Koeruisikutukset tehtiin maalausjärjestelmällä, jossa käytettiin mm. sinkkipölymaalia ja äänieristysmassaa. Koe-pinnoitukset onnistuivat hyvin.

Tutkimusongelmaan löytyi ratkaisu eri tutkimusmenetelmien kautta. Raitiovaunujen korroosiosuojauksiin löydettiin ratkaisu. Lisäksi valitun korroosiosuojauksen tekemiseen ei ole rajoitteita yrityksen pintakäsittelylaitokseen liittyen. Valitulla maalausjärjestelmällä saavutetaan elinkaariajattelumalli. Tutkimustuloksien tietojen pohjalta, tämä on tällä hetkellä paras mahdollinen korroosiosuojausjärjestelmä, joka voidaan tehdä märkämaalauksena raitiovaunun korien teräsrakenteille.

Kuitenkin jää nähtäväksi tulevaisuudessa, oliko raitiovaunujen korien pintakäsittelyissä tämä järjestelmä oikea valinta tuotemaalauksissa. Testituloksien perusteella maalausprosessia varten tehtiin lisäksi työohje. Työohje on määritelty työvaiheineen tuotemaalauksia varten.

Tutkimuksien tulokset läpäisivät standardien mukaiset määritykset. Sopisi odottaa, että jotain olisi epäonnistunut näissä korroosiosuojaututkimuksissa. Uudet koelevyt, jotka lähetettiin

Ashland Inc laboratoriotesteihin. Koelevyihin tullaan tekemään koestukset eri näkökulmasta. Näille koelevyille tehdään rasiuskoeestuksia, niin kauan että korroosiosuojaus pettää. Tällä tavalla saadaan uutta tietoa, miten kauan korien teräsrakenteen suojaus kestää. Lisäksi tutkimuksessa selvitetään, tarvitseeko alustan maalausjärjestelmässä käyttää sinkkipölymaalain päällä esimerkiksi polyuretaanimaalia. Voiko äänieristysmassa korvata esimerkiksi jonkin pinnoitteen korroosiosuojauksessa?

Yhteenvetona voi kuitenkin päätellä, että tämä valittu korroosionsuojajärjestelmä on tällä hetkellä toimiva ja se antaa hyvän suojan teräkselle korroosiota vastaan. Korroosionsuojajärjestelmä toimi laboratoriotestauksissa, niin hyvin että säänkestäväteräs ei anna suurta lisäarvoa korirakenteessa. Kuitenkin, jos korroosionsuojajärjestelmä vaurioituu käytön aiheuttamasta rasituksesta, säänkestäväteräs pääsee silloin oikeuksiinsa teräsrakenteen korroosiosuojauksessa.

Huoltomaalaukset ovat avainasemassa elinkaariajattelussa. Huoltomaalaukset tulisi suorittaa välittömästi vaurioitumiskohdan tullessa esiin. Tämä säästää tulevien korjauskustannuksien kasvamista. Huoltomaalauksissa tulee noudattaa maalauksiin liittyvää työohjetta, tällä tavalla vaurioituneen kohdan korjaus saadaan tehtyä onnistuneesti. Lisäksi vaurioituneen alueen korroosiosuojaus kestää taas sille asetetun huoltovälimalauksen.

Koska kaikki testit ja koemaalaukset osoittautuivat toimiviksi ratkaisuiksi, niin kahden raitiovaunun korit pintakäsiteltiin valitun maalausjärjestelmän mukaisesti. Näiden korien osalta seurataan, miten korroosiosuojaus toimii Helsingissä liikennöivissä raitiovaunuissa. Tätä kautta saadaan uutta teknistä tietoa. Lisäksi, kun viimeiset testitulokset saapuvat Ashland Inc tutkijoilta, yritys saa lisätietoa uusista korroosiosuojauksen mahdollisuuksista.

LÄHTEET

Aaltola, J. & Valli, R. 2007. Ikkunoita tutkimusmetodeihin II. 2. painos. Juva. WS Bookwell Oy.

Alasuutari, P. 1994. Laadullinen tutkimus. Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy.

Alén, H. 1994. Maalit ja niiden käyttö. Helsinki. Painatuskeskus Oy.

Alén, H. 2008. 4. painos. Korroosiokäsikirja. Anjalankoski. Solver palvelut Oy.

Alveys, C. 2005. Corrosion Advisory Technical Services. Hot Dip Galvanizing Today Volume 2 Issue 4.

Antila, A-M., Karppinen, M., Leskelä, M., Mölsä, H. & Pohjakallio, M. 2010. Tekniikan kemia. Helsinki. Edita Prima Oy.

Buysman, E. 2013. Avoin keskustelu. Ashland Inc.

Celis, J.P. Corrosion of materials: Interplay between chemical, electrochemical, and mechanical reactivity of surfaces. Viitattu 7.3.2013.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164806001062>

Dalene, M., Skarping, G., Spanne, M. & Willers, S. 2007. Present knowledge regarding exposure and possible health effects of “hot work“ in coated metal parts offshore. Viitattu 27.1.2013

Eskola, J. & Suoranta, J. 1998. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Jyväskylä. Gummerus Oy.

Farmos. 2007 Metalliteollisuuden ratkaisut.

Farmos. 2009. Puhdasta laatua teollisuudessa.

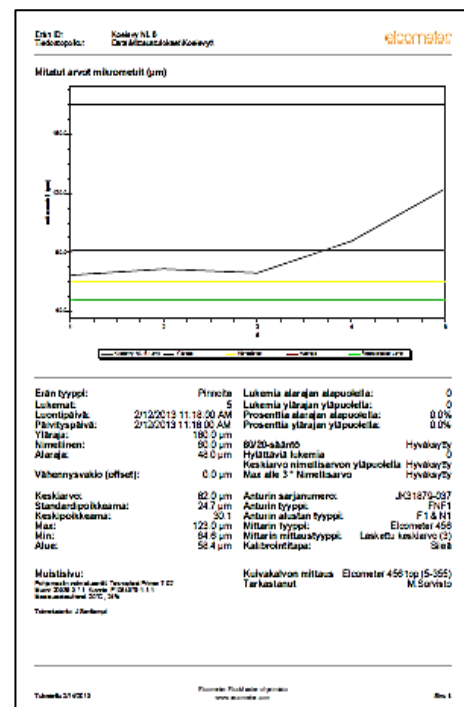
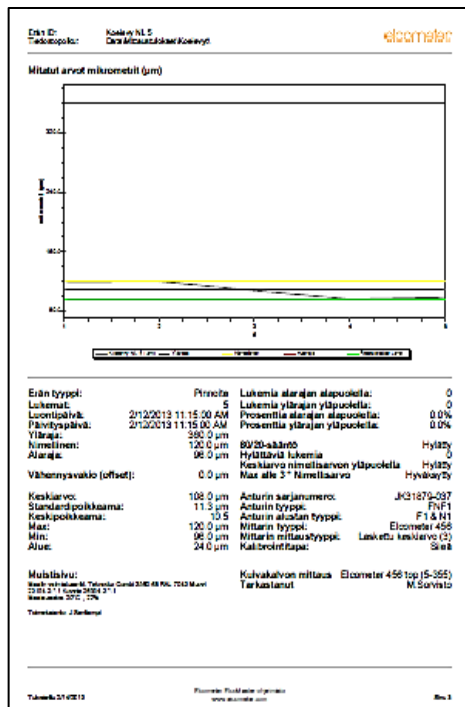
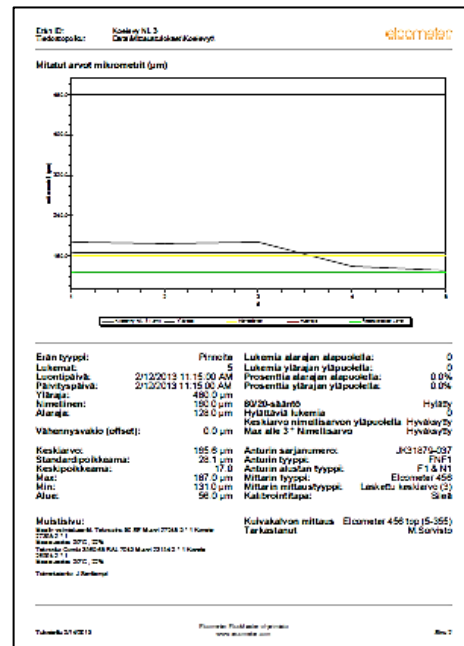
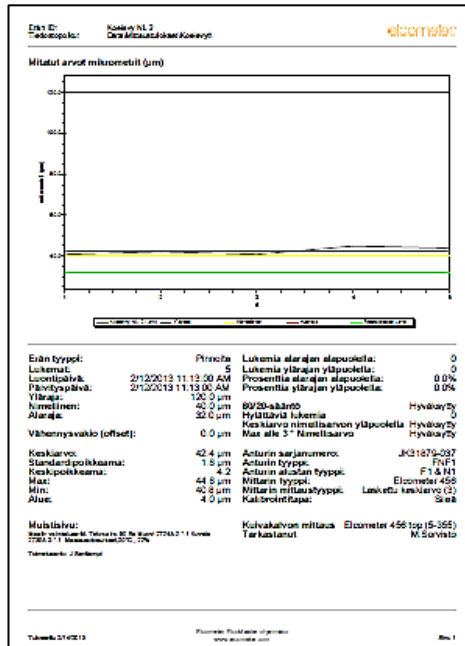
Halin, T. 1979. Korroosiotaulukot. Pori. Jernkontoret Stockholm Sweden, Porin Sataprint Oy.

- Hämäläinen, P., Mattila, M. & Molarius, R. 1997. Ympäristöriskit. Saarijärvi. Gummerus Kirjapaino Oy.
- Jokinen, I., Kuusela, A. & Nikkari, T. 2001. Metallituotteiden maalaus. Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy.
- Kallioinen, I., Sarvimäki, I., Takala, A. & Ådahl, R. 1980. Maalialan materiaalioppi. Helsinki. Valtion painatuskeskus.
- Kiilto. 2011. Puhdasta laatua teollisuudessa.
- Kiilto. 2012. Teollisuuden pesut.
- Leino, T., Häkkä-Rönholm, E., Nieminen, J., Koukkari, H., Hieta, J. & Vesikari, E. 1998. Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu. Espoo. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus.
- Mortimer, C.E. 1997. Polymeerit ja muovit. Helsinki. Opetushallitus.
- Nikula, A. 2008.4. painos. Korroosiokäsikirja. Anjalankoski. Solver palvelut Oy.
- Ojala, T. 2012. Suolasumukoestus sinkkipölymaalille. Teknos Oy.
- Pehkonen, A. 2010. Sähkökemiallinen korroosiotesti. Aalto-yliopisto.
- Raitiovaunuesite. 2012. Helsingin uuden raitiovaunun korirakenne. Viitattu 18.3.2013.
www.hel.fi/wps/.../Raitiovaunuesite+lores.pdf
- Rune, T. 1998. Kuumasinkitys. Suomen Kuumasinkitsijät r.y / Nordisk Förzinkgsförening. Forssa 1991. Auranen Oy
- SFS 3754. 1977. Kulutuksenkestävyysmääritys putoavalla hiekalla. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- SFS-EN ISO 2409. 2007. Hilaristikkokoe . Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- SFS-EN ISO 2808. 2007. Kalvon paksuuden määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- SFS-EN ISO 4624. 2003. Tarttuvuuden arviointi vetokokeella. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.

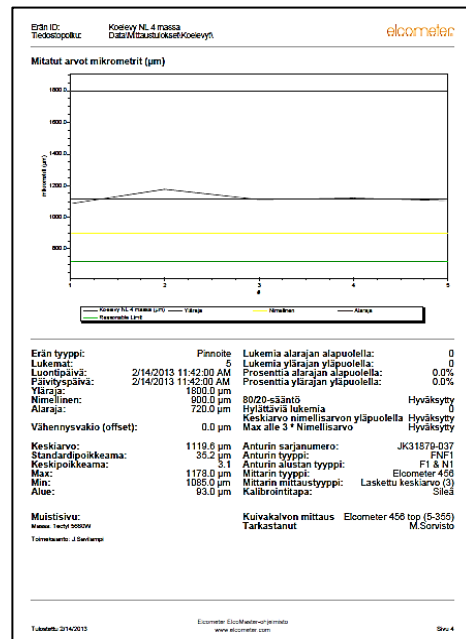
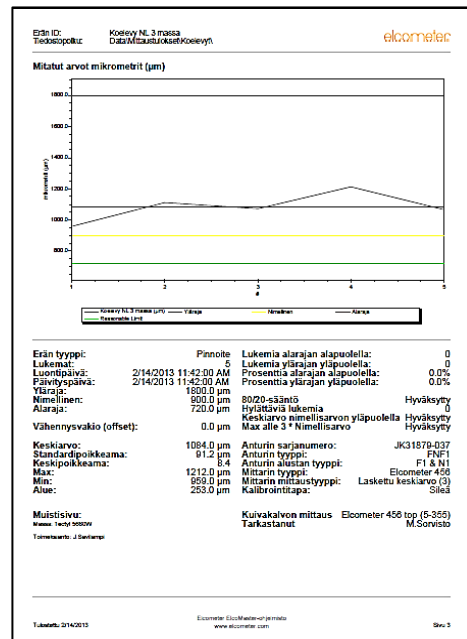
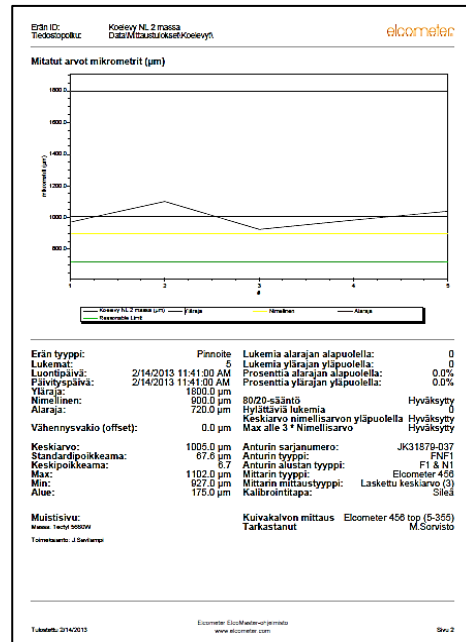
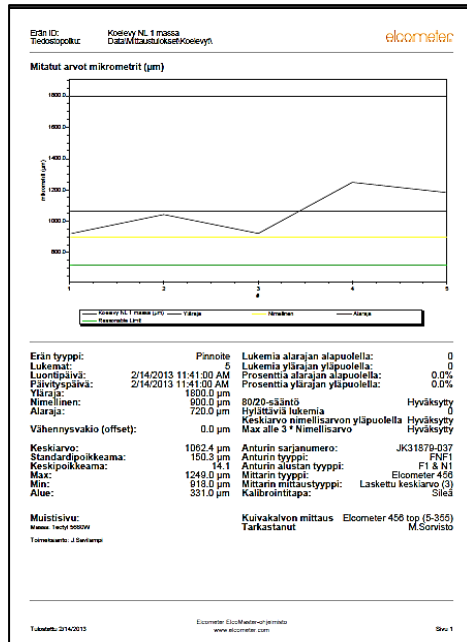
- SFS-ISO 8501. 1988. Teräspintojen esikäsitteily ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- SFS-EN ISO 12944. 2007. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- Siitonen, P. 2008. 4. painos. Korroosiokäsikirja. Anjalankoski. Solver palvelut Oy.
- Soininen, M. 1995. Tieteellisen tutkimuksen perusteet. Turku. Painosalama Oy.
- Soininen, R. 2006. Opintomateriaali. EVTEK Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka.
- Tampereen teknillinen yliopisto. 2010. Polymeerimateriaalien perusteet. Viitattu 27.1.2013
https://www.tut.fi/ms/muo/polyko/materiaalit/TTY/Perus/Polymeerimateriaalien_perusteet_osa1.pdf
- Trier, R.V. 2012. Äänieristemassa koestukset. Ashland Inc.
- Teknos. 2012. Korroosionestomaalauksen käsikirja.
- Tikkurila. Maalaus kustannukset. Viitattu 16.3.2013
http://www.tikkurila.fi/ammattilaiset/palvelut/suunnittelijan_salkku/suunnitteluohjeet/teollinen_maalaus/metallipintojen_tuotteet/metalliteollisuusmaalien_kustannuslaskentaesimerkki
- Tunturi, P.J. & Tunturi, P. 1999. Metallien pinnoitteet ja pintakäsittelyt. Tampere. Tammer-Paino Oy.
- Tunturi, P.J. & Kaunisto, P. 1983. Metallien pinnoitteet ja pintakäsittelyt. Metalliteollisuuden kustannus Oy.
- Tunturi, P.J. 1994. Metallipinta. Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy.
- Virtanen, P. 2010. Pesuainevertailun adheesiotesti. Teknos Oy.
- Virtanen, P. 2010. Korroosiotestaus eri maaliyhdistelmillä. Teknos Oy.
- Virtanen, P. 2011. Vanhenemistesti. Teknos Oy.
- Yläsaari, S. 2008. 4. painos. Korroosiokäsikirja. Anjalankoski. Solver palvelut Oy.

MITTAUSTULOKSET

Nimelliskalvonpaksuudet maalikalvot



Nimelliskalvonpaksuudet maalikalvot



Nimelliskalvonpaksuudet äänieristysmassa

