



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JANETTE LANKOSKI
NOSTURIKOMPONENTTIEN KULJETUKSEN JA VARASTOINNIN
AIKAINEN KORROOSIOSUOJAUS
Diplomityö

Tarkastaja: professori Seppo Virtanen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty Teknisten tieteiden tiedekuntaneuvoston kokouksessa 4. marraskuuta 2015

TIIVISTELMÄ

JANETTE LANKOSKI: Nosturikomponenttien kuljetuksen ja varastoinnin aikainen korroosiosuojaus

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 70 sivua, 8 liitesivua

Helmikuu 2016

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Tuotantotekniikka

Tarkastaja: Professori Seppo Virtanen

Avainsanat: korroosio, suojaus, alennusvaihe, köysitela, RTG-sähköhuone

Korroosioauriot voivat aiheuttaa vuosittain merkittäviä rahallisia menetyksiä ja vaurioiden korjaaminen vaatii usein paljon sekä aikaa että rahaa. Pahimmillaan korroosiovahingot voivat johtaa rakenteellisten vaurioiden kautta henkilövaurioihin, joiden toteutuminen voi olla kohtalokasta yrityksen liiketoiminnalle. Diplomityössä ei kuitenkaan perehdytä korroosioaurioiden kustannuksiin vaan keskitytään selvittämään sopivia tuotannossa toteutettavia korroosionestomenetelmiä erityisesti sekä kuljetuksen että varastoinnin ajaksi.

Työ tehdään Konecranes Finland Oy:n Hyvinkään tehtaalle ja työn tavoitteena on selvittää korroosiosuojauksen tilanne erityisesti vaihe- ja komponenttitehtailla, sekä laatia eri tuoteryhmille (alennusvaihteet, köysitelat ja RTG-sähköhuoneet) kuvalliset ja kirjalliset suojausohjeet tuotantoon. Tuotannossa suoritetaan ruostesuojausta ennestäinkin ja yhtenä tavoitteena on selvittää ympäristö- ja käyttäjäturvallisempien aineiden ja menetelmien käyttömahdollisuuksia tuotannossa.

Työn teoriaosassa käydään läpi syitä korroosion synnylle ja sähkökemiallisen korroosion perusteita sekä kerrotaan lyhyesti erilaisista korroosiotyypeistä. Lisäksi käsitellään suojaustarpeita, joita on ilmastollisessa ja meriveden aiheuttamissa korroosiossa, ja perehdytään siihen, millaisia olosuhteita tuotteet kohtaavat mahdollisesti kuljetusten aikana. Myös ilmastorasitusluokat esitellään lyhyesti. Teorian loppuosassa käydään läpi niitä toimenpiteitä ja huomioita, joita tilapäiseen korroosiosuojauksen valintaan ja käytettyihin menetelmiin liittyy sekä käsitellään erilaisia pakkauksia korroosionestoa ajatellen.

Tietoa Hyvinkäällä valmistettujen komponenttien ruostesuojauksen toimivuudesta ja riittävydestä valmistetuissa nostureissa saatiin haastattelujen ja kyselyjen kautta, joilla kartoitettiin lähtötilannetta ja muutoksen tarvetta. Lisäksi tutustuttiin myös tehtailla nykyisin käytännössä vallitseviin ruostesuojaustapoihin eri tuotteiden osalta.

Kokeellisessa osuudessa testataan muutamia eri korroosionestoaineita säilyttämällä niillä päällystettyjä rautakappaleita ulkona. Testejä varten saatiin näytteitä muutamilta eri toimittajilta ja osaa heistä konsultointiin tarkemmin oikeiden suojaustapojen kehittämiseksi. Lisäksi tietoa erityisesti yhden aineen soveltuvuudesta tuotantoon saatiin muutamien varsinaisten tuotteiden lähettämisen kautta. Lopputuloksena saatiin liitteinäkin olevat ruostesuojausohjeet tuotannossa käytettäväksi.

ABSTRACT

JANETTE LANKOSKI: Corrosion protection during delivery and warehousing of crane components

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 70 pages, 8 Appendix pages

February 2016

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

Major: Production Engineering

Examiner: Professor Seppo Virtanen

Keywords: corrosion, protection, reduction gear, rope drum, RTG electrical room

Corrosion damages can cause a remarkable loss of money every year and reparation of these damages demands often lots of time and money. At worst corrosion damages can lead via constructional damages to personal injuries. These injuries might be disastrous to any company's business. This master's thesis does not get acquainted with the cost of corrosion damages but it focuses on finding out proper corrosion protection methods for delivery and warehousing, which can be put into practice in the production stage.

This thesis is done for Konecranes Finland Oy's factory in Hyvinkää and the purpose of this thesis is to find out the current situation of corrosion protection especially in the gear and component factories, and to draft illustrated and written protection instructions for different product groups (reduction gears, rope drums and RTG electrical rooms). Corrosion protection is already performed on the production line and one target is to find out if it is possible to use more environmental and user safe agents and methods in the production stage.

The reasons for why corrosion exists, basics of electrochemical reactions and different types of corrosion are discussed in the theory part of the thesis. Also protection needs concerning atmospheric corrosion and corrosion by seawater are reviewed, as well conditions that products might undergo during deliveries. Atmospheric-corrosivity categories are introduced shortly. In the latter part of the theory section those actions and notices, which should be considered while choosing a temporary corrosion protection material and method, are being discussed and different types of packages are being reviewed as well.

Information about performance and sufficiency of corrosion protected crane components manufactured in Hyvinkää was gathered by interviews and inquiries. The information was used for mapping baseline and need for a change. Also the present corrosion protection methods for different products in the factories were acquainted.

In the experimental part of the thesis some different types of corrosion prevention agents are being tested by coating iron shafts with these agents and storing them outside. To be able to perform the tests, agent samples were received from couple of different suppliers and some of these suppliers were consulted more closely to develop the right protection methods. Information about the suitability of especially one chemical was received by couple of deliveries. As the result protection instructions, which can be seen as attachments, were produced.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Konecranes Finland Oy:n Hyvinkään toimipisteelle Tampereen teknillisessä yliopistossa. Diplomityön aihe käsittelee vaihde-, komponentti- ja sähkölaitetehtailla valmistettavien tuotteiden korroosiosuojausta, pääpainon ollessa kuljetuksen ja varastoinnin aikaisessa korroosiosuojauksessa. Työ oli erittäin monipuolinen ja mielenkiintoinen, sekä opetti paljon uutta tekijälle itselleenkin.

Tampereen teknillisen yliopiston osalta haluaisin kiittää työni tarkastajaa professori Seppo Virtasta. Konecranesin osalta haluaisin kiittää erityisesti työni ohjaajaa Mika Mattilaa sekä Kari Aaltoa, joka oli vahvasti mukana vaihdesuojauksen kehittämisessä. Lisäksi kiitokset myös Pasi Enqvistille, joka oli vahvasti mukana sähköhuoneiden suojauksen kehittämisessä, ja Timo Kampille, joka auttoi paljon lähtökohtien kartoittamisessa muun muassa nosturiesittelyn kautta.

Paljon kiitoksia myös Zerust Oy:n Kari Saariselle, Stig Tainiolle ja Riku Tainiolle, Kärkitarvike Oy:n Hannu Kemppaiselle sekä Tekno-Forest Oy:n Tomi Pohjolaiselle, jotka mahdollistivat erilaisten suoja-aineiden testauksen.

Erityisen paljon kiitoksia myös muille työkavereilleni, jotka auttoivat minua jaksamaan työssä ja mahdollistivat työn tekemisen osallistumalla muun muassa testauksiin. Ilman heitä arki olisi ollut huomattavasti harmaampaa.

Lopuksi haluan kiittää vielä isoimman kiitoksen ansainneita perhettäni ja läheisiäni, jotka ovat olleet mukana toteuttamassa unelmaani. He ovat uskoneet minuun tämän matkan aikana silloinkin, kun en enää ole itse jaksanut uskoa. Tämän pitkän taipaleen aikana heiltä saamani tuki ja kannustus on ollut täysin korvaamatonta, ja olen niistä ikuisesti kiitollinen.

Hämeenlinnassa, 30.11.2015

Janette Lankoski

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	TUOTTEET JA TUOTANTO	3
2.1	Yritys.....	3
2.2	Vaunu- ja komponenttituotanto.....	4
2.3	Nostureiden käyttöympäristöt	6
2.3.1	RTG-satamanosturi, Ghana.....	6
2.3.2	UM-teollisuusnosturi, Iso-Britannia	7
3.	METALLIEN KORROOSIO	9
3.1	Korroosion lähtökohdat.....	9
3.2	Sähkökemialliset reaktiot	10
3.2.1	Anodireaktiot	10
3.2.2	Katodireaktiot.....	10
3.2.3	Sähkökemialliset rinnakkaisreaktiot	11
3.3	Korroosiotyypit	12
3.3.1	Tasainen korroosio	15
3.3.2	Pistekorroosio.....	15
3.3.3	Rakokorroosio.....	15
3.3.4	Galvaaninen korroosio	16
3.3.5	Raerajakorroosio	17
3.3.6	Valikoiva korroosio.....	17
3.3.7	Eroosio- ja kavitaatiokorroosio.....	17
3.3.8	Jännityskorroosiomurtuma, korroosioväsyminen ja hiertymiskorroosio	18
4.	SUOJAUSTARPEET JA SUOJAUSMENETELMÄT	20
4.1	Ilmaston vaikutus korroosiossa	20
4.2	Korroosiorasitusluokat	20
4.3	Meriveden korroosiovaikutukset.....	23
4.4	Kuljetusten aikaiset sääolosuhteet.....	24
4.5	Tilapäiset suojausmenetelmät korroosion estämiseksi.....	25
4.5.1	Kappaleen puhdistaminen ennen suojausta.....	26
4.5.2	Suojaus kalvon muodostavilla korroosionestoaineilla.....	27
4.5.3	Kalvon muodostavien korroosionestoaineiden levitysmenetelmät	30
4.5.4	Kalvon muodostavien korroosionestoaineiden poistaminen.....	32
4.5.5	Tuotteen suojaaminen pakkauksen avulla.....	33
4.5.6	Sähkölaitteiden komponenttien suojaus korroosiolta	34
4.5.7	Suoja-aineiden ja pakkausten testausmenetelmät	35
4.5.8	Suojausmenetelmän valintaan vaikuttavia huomioita.....	37
5.	TEHTAIDEN TOIMINTATAPA KORROOSIOSUOJAUKSESSA	38
5.1	Köysitelojen suojaus	38

5.2	Vaihteiden suojaus	40
5.3	RTG-nostureiden sähköhuoneiden suojaus	42
5.4	Vaunujen ja komponenttien pakkaus ja kuljetus	42
6.	SUOJAUSMENETELMIEN KEHITYS JA KORROOSIOSUOJA-AINEIDEN TESTAUS	44
6.1	Vaihteiden suojauksen kehittäminen	48
6.1.1	KHW-telivaihde	48
6.1.2	Muut vaihteet	51
6.2	Köysitelojen suojauksen kehittäminen	51
6.3	RTG-sähköhuoneiden suojauksen kehittäminen	52
6.4	Suoja-aineiden testaus ulkona ja testilähettykset	54
6.4.1	Suoja-aineiden testaus	54
6.4.2	Testilähettykset	61
7.	YHTEENVETO	64
	LÄHTEET	67

LIITE 1: OHJE KHW-VAIHTEIDEN RUOSTESUOJAUKSEEN

LIITE 2: OHJE HSS-VAIHTEIDEN RUOSTESUOJAUKSEEN

LIITE 3: OHJE KHSS-VAIHTEIDEN RUOSTESUOJAUKSEEN

LIITE 4: OHJE QM6- JA QM7-VAIHTEIDEN RUOSTESUOJAUKSEEN

LIITE 5: OHJE QM9-VAIHTEIDEN RUOSTESUOJAUKSEEN

LIITE 6: OHJE QM10-VAIHTEIDEN RUOSTESUOJAUKSEEN

LIITE 7: RTG:N SÄHKÖHUONEEN SUOJAUSOHJE (BASIC)

LIITE 8: RTG:N SÄHKÖHUONEEN SUOJAUSOHJE (HEAVY)

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AGD	Advanced Grab Drive
ASC	Automatic Stacking Crane
GL	Grab Loader
PMC	Parts Manufacturing Centre
RMG	Rail Mouted Gantry
RTG	Rubber Tired Gantry
SCM	Supply Chain Management
SM	Space Maker
STS	Ship To Shore
TRI	trikloorietyleeni
UM	SM:n korvaava nosturi
VCI	Volatile Corrosion Inhibitor
VOC	Volatile Organic Compound
VPI	Vapour Phase Inhibitor

1. JOHDANTO

Korroosion vaikutukset ovat tuttu näky monelle ihmiselle ja esimerkiksi raudan ruostumisen tunnistaa harmaan värin sijaan punaruskeasta väristä. Ruostumista tapahtuu helposti silloin, kun metalli jätetään suojaamattomana ulkotiloihin erilaisten säiden armoille. Lopputuloksena usein on metallin ominaisuuksien heikkeneminen, kun metallin ja sen ympäristön välille syntyy sähkökemiallisia reaktioita. Ruostetta ei ole aina helppoa havaita visuaalisesti vaan välillä todennus ruostumisesta pystytään tekemään vain punnitsemalla kappaleen painon muutos tai tekemällä mikroskooppisia tarkasteluja. Näkyvät korroosiovauriot ovat usein vaarallisimpia, koska mikäli vaurioitumista ei osata epäillä, metallin rakenne voi pettää ennalta arvaamattomasti. (Roberge 2008 (0), s. 1)

Korroosiovauriot voivat pahimmillaan rakenteiden pettäessä johtaa henkilövaurioihin, joihin varsinkaan nykyisin yrityksillä ei liiketoiminnoissa ole varaa. Erilaisten laitteiden ja koneiden korroosiovauriot ovat monesti myös hintavia korjata, jolloin ennaltaehkäisevää työtä korroosion estämiseksi on syytä suorittaa niin tuotteiden valmistuksen kuin kunnossapidon aikana. Korroosion ehkäiseminen tulisi huomioida jo suunnitteluvaiheessa, jotta suunniteltaisiin sellaisia tuotteita tai rakenteita, jotka olisivat mahdollisimman vähän alttiina korroosiolle tai joiden suojaus pystyttäisiin toteuttamaan mahdollisimman helposti. (Roberge 2008 (0), s. 1-2)

Tässä työssä käsitellään korroosiosuojausta Konecranesin Hyvinkään tehtailla, kuljetuksen ja varastoinnin aikaisen korroosiosuojauksen ollessa pääpainona. Työn tarkoituksena on selvittää nykyinen korroosiosuojauksen toimivuuden tilanne erityisesti vaihteiden, köysitelojen ja sähköhuoneiden osalta sekä perehtyä suojauksen tarpeeseen riippuen siitä, minne valmistettavat komponentit päätyvät valmistuttuaan. Yhtenä osa-alueena on myös aiempaa käyttäjä- ja ympäristöystävällisempien menetelmien tai tuotteiden tutkiminen.

Työn piirissä komponenteista ovat sekä vaunutehtaalle että tehtaan ulkopuolelle lähtevät vaihteet, köysitelat ja RTG-nosturin sähköhuoneet, kokonaisten nosturivaunujen jäädessä työn ulkopuolelle. Työn tavoitteena on selvittää tarkoituksenmukaiset suojausratkaisut ja -toimenpiteet eri nosturikomponenteille, joissa mahdollisuuksien mukaan huomioidaan komponenttien kuljetustavat ja toimitusosoitteet. Konkreettisena toimenpiteenä tavoitteena on luoda ohjeistukset eri komponenteille, joita voidaan hyödyntää tuotannossa työskenneltäessä. Tavoitteena on myös käsitellä suojaustarpeita niin, että suojaustavat ja -menetelmät olisivat tarkoituksen mukaisia täyttäen tarvittavat vaatimukset,

ilman että ne olisivat ylimitoitettuja. Työssä ei juurikaan käsitellä suojausmenetelmiä taloudellisesta näkökulmasta, ainoastaan tuotannolliset näkökulmat on huomioitu.

Alkutilanteen kartoittamiseksi työtä varten haastateltiin eri satama- ja teollisuusnosturi-osastojen suunnittelijoita, projektityöntekijöitä sekä laatutyöntekijöitä, jotta saataisiin tarvittava käsitys siitä, miten laajasta tai toistuvasta ongelmasta on kyse, kun puhutaan komponenttien korroosiovaurioista. Lisäksi työssä selvitetään tuotannossa suoritettavia toimenpiteitä suojauksen osalta ja perehdytään erityisesti vaihteista KHW-vaihdemalliin, jollaista ei ollut valmistettu tehtaalla ennen työn ajankohtaa. Sopivaa suojaustapaa varten testattiin eri valmistajien suoja-aineita, jotta saatiin tietoa niiden toimivuudesta. Suojausta varten haluttiin testata liuotinvapaita suoja-aineita ja tutkia, miten hyvin ne pystyvät suojaamaan korroosiovaurioilta. Testejä suoritettiin tehdasalueella ulkotiloissa ja muutamista Kiinaan suuntautuvista lähetyksistä saatiin myös tietoa käytetyn suoja-aineen ja pakkauksen riittävydestä.

Vaihteiden lisäksi työssä käsitellään myös köysitelojen ja RTG-nosturin sähköhuoneiden korroosiosuojausten tilaa ja muutoksia. Myös köysiteloihin testattiin liuotinvapaata suoja-ainetta ja sähköhuoneiden korroosiosuojaus kehitettiin alusta asti, sillä kyseisiä tuotteita ei ollut aiemmin suojattu korroosio- tai kosteusvaurioilta. Ajoittainen sähkölaitekemien vikaantuminen kuitenkin johti siihen, että mahdollisia suojausmenetelmiä haluttiin kartoittaa. Työn tärkeimpinä tuloksina oli korroosiosuojaustarpeen nykytilanteen selvittäminen, suoja-aineiden soveltumisen testaaminen sekä suojausohjeiden laatiminen. Suojausohjeet on esitetty liitteissä.

Työ rakentuu niin, että ensin luvussa 2 kerrotaan yrityksestä ja tuotannosta sekä käydään lyhyesti läpi kaksi esiin tullutta korroosiotapausta. Luvussa 3 käsitellään metallien korroosiota ja tarkemmin sähkökemiallista reaktiota sekä erilaisia korroosiotyyppejä, joita metalleilla esiintyy. Luvussa 4 käydään läpi suojaustarpeita ja -menetelmiä korroosiota vastaan. Siinä käsitellään lyhyesti ilmaston ja meriveden korroosiovaikutuksia sekä kuljetusten olosuhteita. Lisäksi esitellään ilmasto- tai korroosiorasitusluokat ja käydään läpi erilaisia suojausmenetelmiä ja -aineita kuljetuksen ja varastoinnin aikaisen suojauksen saavuttamiseksi. Luvussa 5 esitellään Hyvinkäällä toimivien tehtaiden toiminnat korroosiosuojausten suhteen ennen työn aikaansaannoksia. Luvussa 6 tutustutaan tehtaalla sijaitsevaan satamanosturiin ja sen kokemiin korroosiovaurioihin, sekä siinä kuvataan työn kulkua ja aikaansaannoksia eri tuotteiden tai komponenttien suhteen. Lisäksi luvussa 6 esitellään eri suoja-aineiden testaukset niin tehtaalla kuin lähetystenkin osalta. Luku 7 on yhteenvetoluku, jossa esitellään työn tärkeimmät tulokset ja aikaansaannokset.

2. TUOTTEET JA TUOTANTO

Kappaleessa kaksi esitellään lyhyesti yrityksen toimintaa ja tuotteita sekä kerrotaan Hyvinkäällä sijaitsevan valmistusyksikön toiminnoista. Lisäksi käydään läpi Hyvinkään tehtailla käytettäviä komponenttien ja tuotteiden pakkaus- ja kuljetustapoja. Lopuksi esitellään muutama käyttöolosuhteiltaan korroosion näkökulmasta haastava esimerkki toimintaympäristöistä, joissa yrityksen tuotteita on käytössä.

2.1 Yritys

Konecranesin liiketoiminta-alueet on jaettu kahteen alueeseen: kunnossapito ja laitteet. Yrityksellä on 600 toimipistettä 48 maassa (tuotantolaitoksia 13 maassa) ja pääkonttori sijaitsee Hyvinkäällä. Vuonna 2014 yrityksessä työskenteli noin 12000 henkilöä ja liikevaihto oli 2011 miljoonaa euroa. Kunnossapito tarjoaa varaosa- ja huoltopalveluja kaiken merkkisille ja -tyyppisille teollisuusnostureille, nostolaitteille sekä työstökoneille. Laitteet-liiketoiminta-alue valmistaa puolestaan nosturien komponentteja, nostureita ja tarjoaa materiaalinkäsittelyratkaisuja erilaisille asiakkaille. Yrityksen tuotevalikoima koostuu seuraavista tuotteista:

- Teollisuusnosturit, mukaan lukien teollisuusnosturituotteet ja -ratkaisut sekä työpistenostolaitteet
- Erilaiset nosturikomponentit
- Ydinvoimalanosturit
- Konttienkäsittelynosturit
- Intermodaaliterminaalien (terminaali, jossa on käytössä vähintään kaksi eri kuljetustapaa kuten juna, kuorma-auto, laiva) nosturit
- Kappaletavaran lastausnosturit
- Trukit
- Telakkanosturit (Konecranes Oyj 2014, s. 2-3)

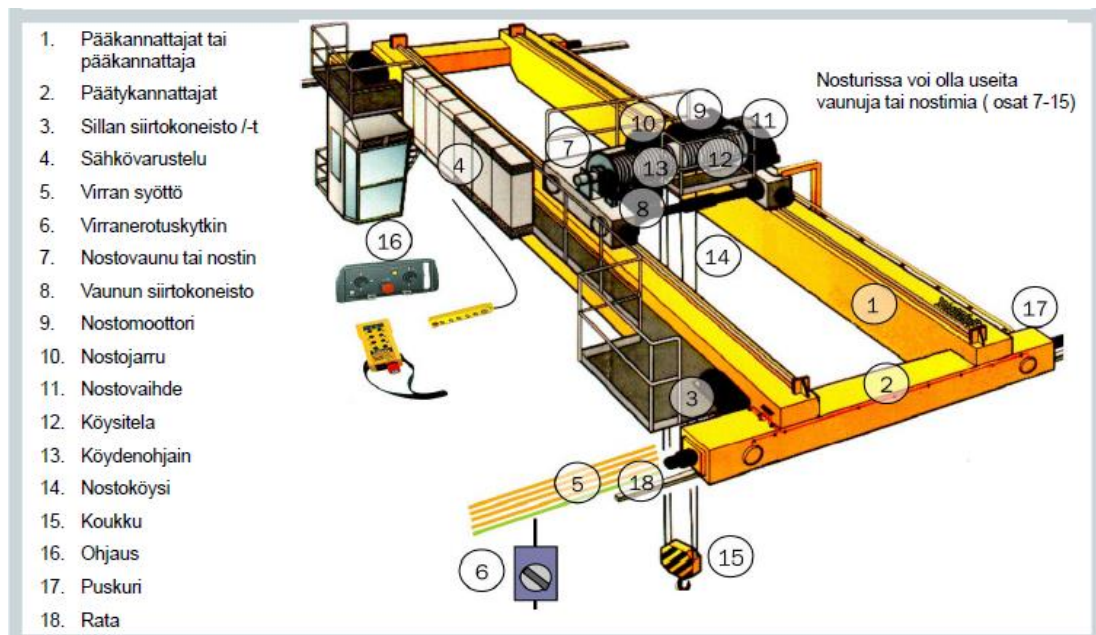
Yllä mainittujen lisäksi tuotevalikoimaan kuuluu myös materiaalin hallintaan kehitetty Agilon, jolla hallinnoidaan, varastoidaan ja kerätään komponentteja sekä täydennetään komponenttivarastoa. Varsinaisten fyysisten tuotteiden lisäksi yritys tarjoaa myös erilaisia teknisiä ominaisuuksia, kuten heilunnanestoa ja kuorman paikoitusta. (Konecranes Oyj 2014, s. 3)

Maailmanlaajuisesti Konecranesin markkina-asema on seuraava: markkinajohtaja sekä teollisuusnostureissa ja komponenteissa että nostureiden kunnossapitopalveluissa, 2. trukeissa ja 3.-5. kontinkäsittelynostureissa. Yrityksellä on 16 %:n markkinaosuus.

Vuosittain yritys valmistaa tuhansia standardinostureita, kymmeniä tuhansia köysinostimia, vaunuja ja sähköisiä ketjunostimia, sekä satoja raskaita nostureita ja nostotrukkeja. Konecranes-brändin lisäksi tuotteita markkinoidaan myös muilla itsenäisillä brändeillä, joita ovat STAHL CraneSystems, SWF Krantechnik, Verlinde, R&M, Morris Crane Systems ja SANMA Hoists&Cranes. (Konecranes Oyj 2014, s. 2, 15)

2.2 Vaunu- ja komponenttituotanto

Hyvinkään tehdas kuuluu vaunu- ja komponenttiorganisaatioon yhdessä Ukrainan Zaporizhian ja Kiinan Dalianin tehtaiden kanssa. Tehtailla valmistettavat tuotteet ovat nostureiden vaunut sekä teollisuus- että satamanostureihin, niin uusiin kuin modernisoitaviinkin nostureihin. Kuvassa 2.1. on esitetty prosessinosturin osat, jotka pääsääntöisesti löytyvät myös kaikista teollisuus- ja satamanostureista mutta niiden paikat ja ulkonäkö voivat vaihdella. Toisaalta esimerkiksi satamanostureissa on sellaisiakin osia, joita kuvassa ei ole, mutta kuva antaa kuitenkin kohtalaisen käsityksen eri osista ja niiden paikoista. Hyvinkään tehtaalla henkilöstömäärä on noin 240, joista työntekijöitä on 170 ja toimihenkilöitä 70, ja organisaation alla toimivat tehtaat ovat sähkölaite-, komponentti-, vaihde- ja vaunutehdas. (Helle 2014, s. 3, 5)



Kuva 2.1. Prosessinosturin osat (Halminen 2007, s. 11).

Sähkölaitetehdas valmistaa sähkölaitekomponentteja ja kokonaisiä sähkölaitteita raskaita taakkoja käsittelevien satama- ja teollisuusnosturien tarpeisiin. Päätuotteet ovat sähköhuoneet, sähkötaulut sekä nosturiohjaamot. Sähkötauluja valmistetaan paperi-, teräs-, auto-, jätteenkäsittely-, konepaja- sekä telakkateollisuuteen. Tyypillinen läpimenoaika vaihtelee 2-8 viikon välillä, vuosittain valmistettavan määrän ollessa useita satoja kappaletta. Sähköhuoneita valmistetaan isoihin ja vaativiin nosturikokonaisuuksiin. Näitä

ovat satamanosturit, joihin lukeutuvat RTG (Rubber Tired Gantry, kumipyörillä kulkeva konttinosturi), RMG (Rail Mouted Gantry, kiskoilla kulkeva konttinosturi), STS (Ship To Shore, aluksien lastaukseen ja purkuun tarkoitettu nosturi), AGD (Advanced Grab Drive, kahmaripukkinosturi) ja Goljat (telakkapukkinosturi), ja teollisuusnosturit, joiden nosturille asettamat vaatimukset ovat korkeat, esimerkiksi terästeollisuuden nosturit. Tyypillinen läpimenoaika on 2-4 kuukautta ja kappalemääräisesti sähköhuoneita valmistetaan vuosittain muutamia satoja. (Saikkonen 2014, s. 2, 4) Valmiit tuotteet toimitetaan joko samassa yksikössä toimivalle vaunutehtaalle, asiakkaalle tai yrityksen muihin toimipisteisiin, jossa asennus tapahtuu.

Komponenttitehdas toimii PMC:n (Parts Manufacturing Centre, varaosatoiminnot) ja SCM (Supply Chain Management, tilaus-toimitusketjun hallinta) Vaunu- ja komponenttityksikön yhteistyöllä. Tehtaalla valmistetaan nosturin vaunun ja kiskoilla liikkuvien nosturien kantopyöriä (PMC:n toimesta) sekä köysiteloja raskaan teollisuuden nostureiden ja satamanostureiden tarpeisiin. Määrällisesti kantopyöriä valmistetaan muutamia tuhansia kappaleita ja köysiteloja valmistetaan useita satoja kappaletta vuosittain. (Matti 2014 (1), s. 2) Sekä köysitelat että kantopyörät toimitetaan joko Hyvinkään yksikön vaunutehtaalle tai yrityksen muihin toimipisteisiin, joissa asennus tehdään.

Vaihdetehtaalla valmistetaan suurin osa yrityksen raskaan teollisuuden ja satamissa toimivien nostureiden käyttämistä alennusvaihteista, vuosittaisen tuotantomäärän ollessa tuhansia kappaleita. Tehtaalla koneistetaan omassa tuotannossa vaihteiden akseleita sekä hammaspyöriä, jotka lopulta käytetään vaihteiden loppukokoonpanossa. Lopuksi vaihteet testataan erityisessä koeajolaitteessa. (Matti 2014 (2), s. 2, 8) Tuotannosta vaihteet toimitetaan joko vaunutehtaalle, yrityksen muihin toimipisteisiin tai asiakkaalle, jossa tehdään lopullinen kokoonpano.

Vaunutehtaalla on työntekijöitä sekä mekaniikka- että sähköasennuksen parissa. Tuotanto on jaettu kahteen eri linjaan niin, että toisella linjalla kokoonpannaan raskaan teollisuuden vaunuja, joista yleisimmät tuotteet ovat UM (SM:n korvaava teollisuusnosturi), SM (Space Maker, teollisuusnosturi) ja GL (Grab Loader, kahmarinosturi), tuotantomäärän ollessa vuosittain satoja kappaleita. UM- ja SM-vaunuja käytetään paperi- ja autoteollisuudessa sekä voimalaitoksissa. GL-vaunut valmistetaan jätteenkäsittelylaitoksiin. UM-vaunujen nostokapasiteetti on 10–250 tuhatta kiloa, SM-vaunujen 80–500 tuhatta kiloa ja GL-vaunujen 5-20 tuhatta kiloa. Kaikkien kriittisimmät komponentit, kuten vaihteet, siirtokoneistot, köysitelat, kantopyörät ja kojekaapit valmistetaan yrityksen omilla tehtailla ja teräsrakenteet tulevat alihankkijoilta. Kaikki vaunut testataan kuormitustestillä, jossa testataan muun muassa värinää, nopeutta ja jarrutusaikaa. Tavoiteltava läpimenoaika on 1-2 viikkoa vaunun koosta riippuen. (Laiho 2014, s. 2, 4, 6)

Toinen vaunutehtaan tuotantolinja on satamanosturipuoli, jossa yleisimmät vaunut ovat RTG-, RMG- ja ASC (Automatic Stacking Crane)-vaunut, joita valmistetaan vuosittain kymmeniä kappaleita. Nosturit, joihin kyseiset vaunut kuuluvat, ovat käytössä satama-

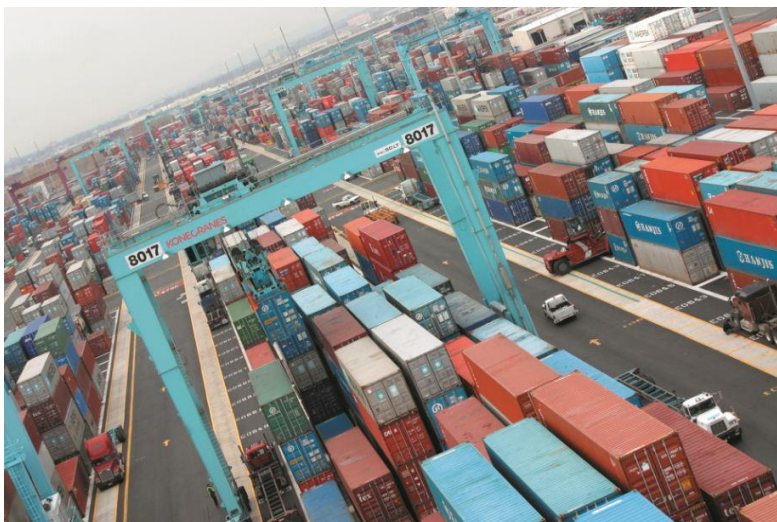
alueilla kontinkäsittelyssä. Tyypillisimmät koot ovat 5+1 ja 6+1 tarkoittaen, että nosturi voi siirtää yhden kontin viiden tai kuuden pinossa olevan kontin yli. Vaunuissa on kaksi nostokoneistoa sekä 2 tai 4 vinokoneistoa, jotka sekä estävät että vaimentavat taakan heilahtelua. RTG- ja RMG-vaunuissa on ohjaamot, ASC-vaunussa ei ole automatisoidun ohjauksen vuoksi. Kuten UM-, SM- ja GL-vaunuissa, näidenkin vaunujen kriittisimmät komponentit valmistetaan Konecranesin omilla tehtailla. Myös satamanostureiden vaunut testataan, tosin ilman kuormaa. Tavoitteellinen läpimenoaika vaunuilla on 4 viikkoa. (Laiho 2014)

2.3 Nostureiden käyttöympäristöt

Koska nostureita valmistetaan usean eri teollisuuden tarpeisiin, käyttöympäristökin eroavat monesti merkittävästi toisistaan. Komponenttien ruostumisen näkökulmasta helpoimmat olosuhteet ovat sisätiloissa tai katosten alla toimivilla nostureilla teollisuudenaloilla, joilla nosturiin ei normaalin nostotyön lisäksi kohdistu ulkoista räsitusta. Vaikeimmat olosuhteet ovat usein satamissa sekä paljon eri kemikaaleja käsittelevillä tehtailla. Luvuissa 2.3.1 ja 2.3.2 käydään läpi muutama ongelmatilanne, joissa nostureiden ruostesuojaus ei ole ollut riittävä ja esitetään myös syyt, jotka ovat johtaneet tavallista nopeampaan osien ruostumiseen. Luku 2.3.1 perustuu RTG-nostureiden projekti-päällikkö Timo Kampin haastatteluun ja luku 2.3.2 UM-nostureiden pääsuunnittelija Antti Paajasen haastatteluun.

2.3.1 RTG-satamanosturi, Ghana

Satamanosturit kuuluvat korkeimpaan räsitusluokkaan korroosiosuojauksen näkökulmasta, monesti vaikeiden käyttöolosuhteiden takia. Kuvassa 2.2. on satunnaisesta satamasta otettu kuva, jossa näkyy RTG-nostureita niiden todellisessa käyttöympäristössä.



Kuva 2.2. RTG-nostureita todellisessa käyttöympäristössä satamassa (Konecranes Suomi 2015).

Ghanassa vallitsevat samantyylliset olosuhteet, kuin muissakin lämpimien alueiden satamissa: päiväntasaajan seudulla meriveden suolapitoisuus noin 3,5 % ja lämpötilavaihtelut voivat olla vuorokauden sisällä noin 8 °C. Vastaaviin olosuhteisiin valmistettujen nosturien korroosiorasitusluokat on C5-M, mikä on vaativin rasitusluokka. Satamissa merivettä päätyy usein kontinkäsittelykentälle, jolloin sitä päätyy myös nostureihin. Ghanan satamassa nosturien korroosionkestävyydessä oli erityisiä haasteita vuonna 2013. Haasteet johtuivat sataman rakentamisen poikkeavuudesta muihin satamiin verrattuna: meren lahti mataloituu pitkältä matkalta eikä satamaan ollut rakennettu aallonmurtajaa, jolloin aallot kasvoivat korkeiksi ja merivettä pääsi roiskumaan nosturien päälle tavallista enemmän. Tämän seurauksena useat nostureiden eri komponentit kokiivat vakaviakin ruostevaurioita, joita on sittemmin korjattu. Sataman olosuhteet olivat niin poikkeukselliset, ettei niihin osattu varautua etukäteen tarvittavin suojauskeinoin tai kunnossapitotoimin. (Kamppi 2014)

2.3.2 UM-teollisuusnosturi, Iso-Britannia

UM-teollisuusnostureita tehdään sekä ulko- että sisäkäyttöön. Yksi valittava ruostumistapaus on Iso-Britanniassa sijaitsevan asiakkaan nosturista, jossa esiintyi ruostetta melko kokonaisvaltaisesti jo lyhyen käytön jälkeen. Nosturi on kuvassa 2.3.



Kuva 2.3. UM-nosturi ulkotiloissa Iso-Britanniassa (Paajanen 2014).

Nosturin käyttöpaikka sijaitsi meren läheisyydessä mutta nosturin korroosiorasitusluokka oli sen suunnitteluvaiheessa määritelty sisätilojen olosuhteita vastaaviksi, jolloin

esimerkiksi maalatut pinnat eivät kestäneet suolaveden rasiutusta. Kyseinen virhe olisi ollut estettävissä, koska kyse oli inhimillisestä virheestä asiakkaan ja myyjän tai suunnittelijan välisessä kommunikoinnissa. Yleisesti ottaen UM-nostureiden vaikeimmat olosuhteet korroosiosuojauksen näkökulmasta ovat nostureilla, jotka sijaitsevat satamissa katoksen alla tai muuten meriveden läheisyydessä, tai tehtailla, joissa käytetään paljon erilaisia kemikaaleja. Suolavesi syövyttää helpoimmin metallisia osia, kemikaalit taas muovisia osia. (Paajanen 2014)

3. METALLIEN KORROOSIO

Kappaleessa 3 käsitellään yleisesti metallien korroosioon vaikuttavia näkökulmia ja syitä, joista korroosio johtuu. Kappaleessa 3.1 kerrotaan lyhyesti pohjimmainen syy sille, miksi metallit ylipäättään ruostuvat käytössä. Kappaleessa 3.2 käydään läpi sähkökemiallisten reaktioiden perusteita, jotka ovat oleellisia korroosiotapahtumien ymmärtämisessä. Kappaleessa 3.3 on esitetty mahdollisesti useimmin esiintyvät korroosiotyytit, joista osa on havaittavissa paljaalla silmällä ja osan havaitsemiseen vaaditaan mikroskooppista tarkastelua.

3.1 Korroosion lähtökohdat

Korroosiolla tarkoitetaan metallin ja sen ympäristön välillä tapahtuvaa fysikaalis-kemiallista reaktiota, jonka seurauksena metallin ominaisuudet muuttuvat. Tällöin metalli, sen ympäristö tai järjestelmä, johon nämä kuuluvat, voi toimivuudeltaan heikentyä oleellisesti (SFS-EN ISO 8044 1999, s. 4). Korroosio perustuukin luonnonlakeihin, jolloin valmistuksessa metallin rakenteisiin sidottu energia pyrkii vapautumaan ja metalli palautuu kohti luonnontilaa. (Roberge 2008 (1), s. 1; Savisalo 1980, s. 1). Kun halutaan valmistaa metalleja luonnossa esiintyvistä mineraaleista tai malmeista, tarvitaan tietty määrä energiaa valmistuksen mahdollistamiseksi. Jos valmistuksen jälkeen metalleja altistetaan ympäristöolosuhteille, ne pyrkivät palautumaan takaisin siihen muotoon, jossa ne normaalistikin luonnossa esiintyvät. (Roberge 2008 (1), s. 1)

Tavallisin esimerkki korroosiotuota aiheuttavasta ympäristöstä on sellainen, jossa on suuri määrä vettä tai vesiliuosta. Ilmastokorroosiossa vesiliuos esiintyy usein ennemminkin tiivistyneenä ohuena kerroksena nesteen suuren määrän sijaan. (McCafferty 2010, s. 13) Esimerkiksi raudalle ensisijainen korroosiotuote on $\text{Fe}(\text{OH})_2$ (rauta(II)hydroksidi, tai vesipitoinen rautaoksidi) mutta hapen ja veden reagointi voi tuottaa myös muita korroosiotuotteita, jotka tunnistaa muun muassa lopputuotteen väristä. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (rauta(III)hydroksidi) on korroosiotuote, joka on väriltään punaruskeaa. Fe_2O_3 (rauta(III)oksidi) esiintyy luonnossa hematitiinina, joka on yleisin rautamalmi. Fe_3O_4 on taas magnetiitti, joka on usein väriltään mustaa. (Roberge 2008 (1), s. 1)

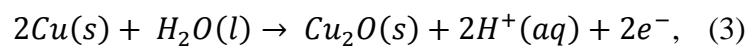
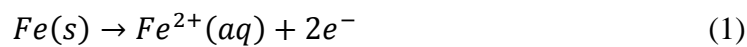
Energia, joka vaaditaan kun halutaan jalostaa malmista metallia, vapautuu kun metalli ruostuu muodostaakseen alkuperäisen yhdisteen. Eri metallien energiat ovat erisuuruiset ja esimerkiksi energian tarve magnesiumilla (23,52 MJ/kg), alumiinilla (29,44 MJ/kg) ja raudalla (6,71 MJ/kg) on verrattain iso kupariin (1,18 MJ/kg), hopeaan (0,06 MJ/kg) ja kultaan (-0,18 MJ/kg) verrattuna. (Roberge 2008 (1), s. 1)

3.2 Sähkökemialliset reaktiot

Korroosio on usein sähkökemiallinen prosessi, joka tapahtuu rinnakkaisten elektrodireaktioiden kautta. Elektrodireaktiossa elektronit ovat joko reaktioyhtälön vasemmalla tai oikealla puolella, tapauksesta riippuen. Mikäli elektronit ovat tuotteita, eli sijaitsevat yhtälön oikealla puolella, on kysymys hapettumisreaktiosta. Jos elektronit ottavat osaa reaktioon, eli ne sijaitsevat yhtälön vasemmalla puolella, on kyse pelkistymisreaktiosta. (Howard 1967, s. 3; McCafferty 2010, s. 15)

3.2.1 Anodireaktiot

Metallin menetys ilmenee anodisena eli hapettumisreaktiona. Esimerkkinä reaktiot,



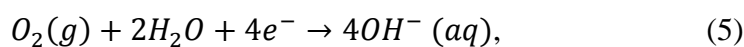
joissa merkintä (s) on kiinteä, (aq) on vesiliuos ja (l) on nestemäisessä muodossa oleva aine. Kaikki yllä olevat reaktiot ovat anodisia reaktioita, koska niissä tapahtuu hapettumista, eli lähtöaineiden hapetusaste kasvaa reaktion seurauksena. Anodisella puolella tapahtuu myös elektronihäviötä, kun reaktio tuottaa elektroneja. (McCafferty 2010, s. 15)

3.2.2 Katodireaktiot

Katodireaktio on päinvastainen reaktio anodireaktioon verrattuna. Katodireaktiossa tapahtuu pelkistymistä, jolloin lähtöaineiden hapetusaste pienenee reaktion seurauksena. Katodisella puolella tapahtuu elektronien lisäystä, kun elektronit kuluvat reaktiossa. Esimerkkinä katodisesta reaktiosta on alla oleva vedyn pelkistymisreaktio, jossa kaksi vetyionia reagoi katodin pinnalla elektronien kanssa muodostaen yhden vetykaasumolekyylin



Yllä kuvattu reaktio on vallitseva reaktio happamissa liuoksissa. Toinen yleinen katodireaktio on liuenneen hapen pelkistyminen hydroksidi-ioneiksi. Tällainen reaktio tapahtuu neutraaleissa tai emäksisissä liuoksissa

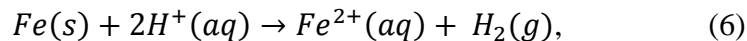


jossa merkintä (g) tarkoittaa olomuotona kaasua. (McCafferty 2010, s.16)

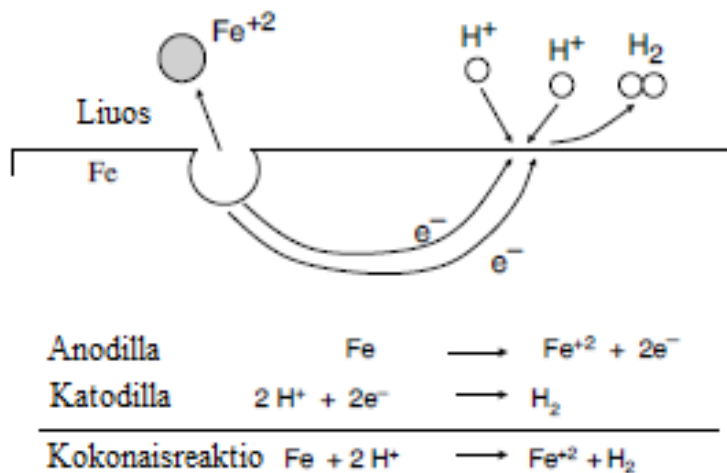
3.2.3 Sähkökemialliset rinnakkaisreaktiot

Syöpyvän metallin pinnalla hapetus- ja pelkistysreaktiot tapahtuvat parireaktioina eri kohdissa. Syy, miksi erilaiset sähkökemialliset reaktiot voivat tapahtua samalla metallipinnalla, johtuu metallin pinnan heterogeenisuudesta. Monikiteiset metallipinnat pitävät sisällään paikkaenergiaa useista kiteiden otsapinnoista ja raerajoista johtuen, sekä pinnoilla voi olla myös muita virheitä, kuten reunoja tai särmäkohtia. Näiden lisäksi pinnalla voi olla myös epäpuhtauksia epäpuhtaiden metalliatomien vuoksi tai esimerkiksi nesteessä olevat ionit voivat muodostaa metallin pinnalle kevyen kalvon, joka muuttaa alla olevan metallin atomien pintaenergiaa kalvon ympäröimillä alueilla. (McCafferty 2010, s. 17)

Metalliatomit, joilla on suurin paikkaenergia, ovat usein niitä, jotka liukenevat liuokseen. Tällöin atomit sijaitsevat esimerkiksi kiteiden kulmissa ja nurkissa. Myös kuormitetut pinnat sisältävät atomeja, jotka ovat reaktiivisia, sillä näiden kiteinen ympäristö on normaalia epävakaaampi. Kun metallin liukeneminen alkaa, energian jakelu paikkojen välillä vahvistuu. Anodisten ja katodisten pintojen paikat vaihtavat satunnaisesti paikkaa, jolloin lopputuloksena on metallin tasainen ruostuminen. Tällöin kokonaisvaltainen kemiallinen reaktio on elektrodireaktioiden (1) ja (4) summa



jota on havainnollistettu myös kuvassa 3.1. (McCafferty 2010, s. 17-18)

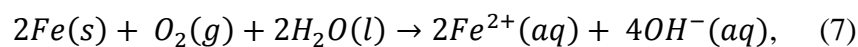


Kuva 3.1. Sähkökemialliset rinnakkaisreaktiot raudan pinnalla happamassa liuoksessa (McCafferty 2010, s. 17).

Kuvassa 2.1. on havainnollistettu myös neljää edellytystä, joita tarvitaan, jotta korroosiota voi tapahtua. Korroosion edellytykset ovat:

- 1) Reaktio anodilla
- 2) Reaktio katodilla
- 3) Anodin ja katodin välinen yhteys metallin välityksellä
- 4) Elektrolyytin olemassaolo

Elektrolyytti on liuos, jossa on liuenneena ioneja, jotka voivat johtaa sähkövirtaa. Yleisin elektrolyytti on vesiliuos, kuten vesi, jossa on ioneja liuenneena, mutta yhtä hyvin muutkin liuokset, kuten nestemäinen ammoniakki, voivat toimia elektrolyytinä. Hyvin tavallinen rinnakkaisreaktio reaktion (6) lisäksi on myös

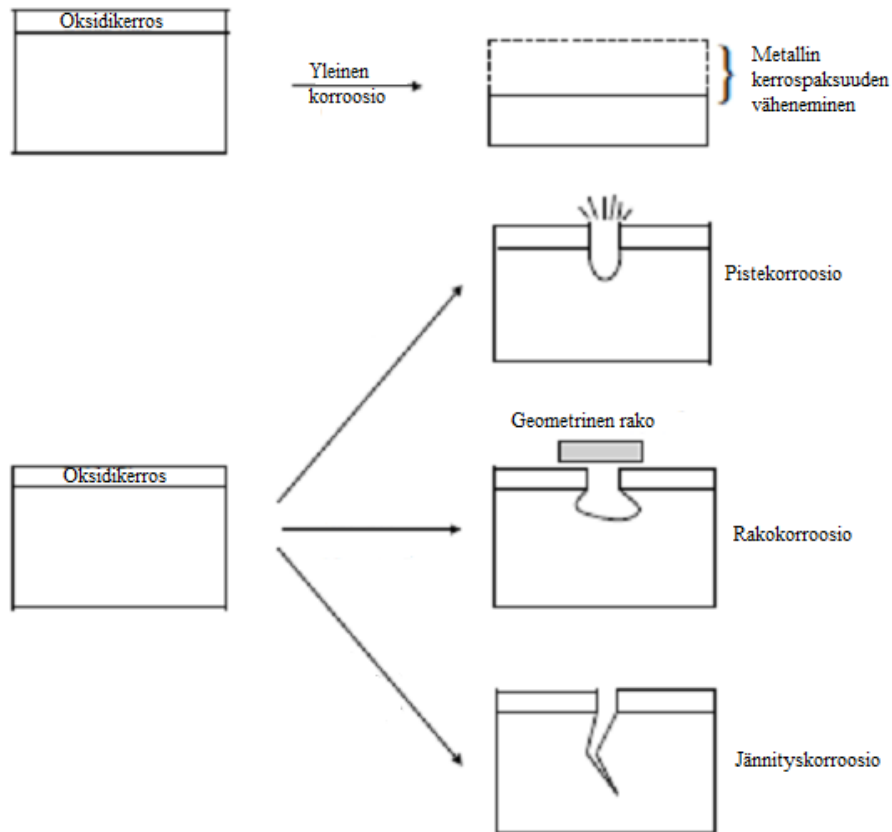


kun raudan pinta on kosketuksissa neutraalin tai emäksisen liuoksen kanssa. (McCafferty 2010, s. 18-19) Kyseisessä reaktiossa rauta hapettuu rautaioneiksi ja happi pelkistyy hydroksidi-ioneiksi. Havainnollistaminen tapahtuisi samaan tapaan kuin kuvassa 2.1. sillä erotuksella, että vetyionien sijaan raudan pinnalle päätyisi happi- ja vesimolekyylejä, ja lähtevinä tuotteina olisi rauta- ja hydroksidi-ioneja.

3.3 Korroosiotyypit

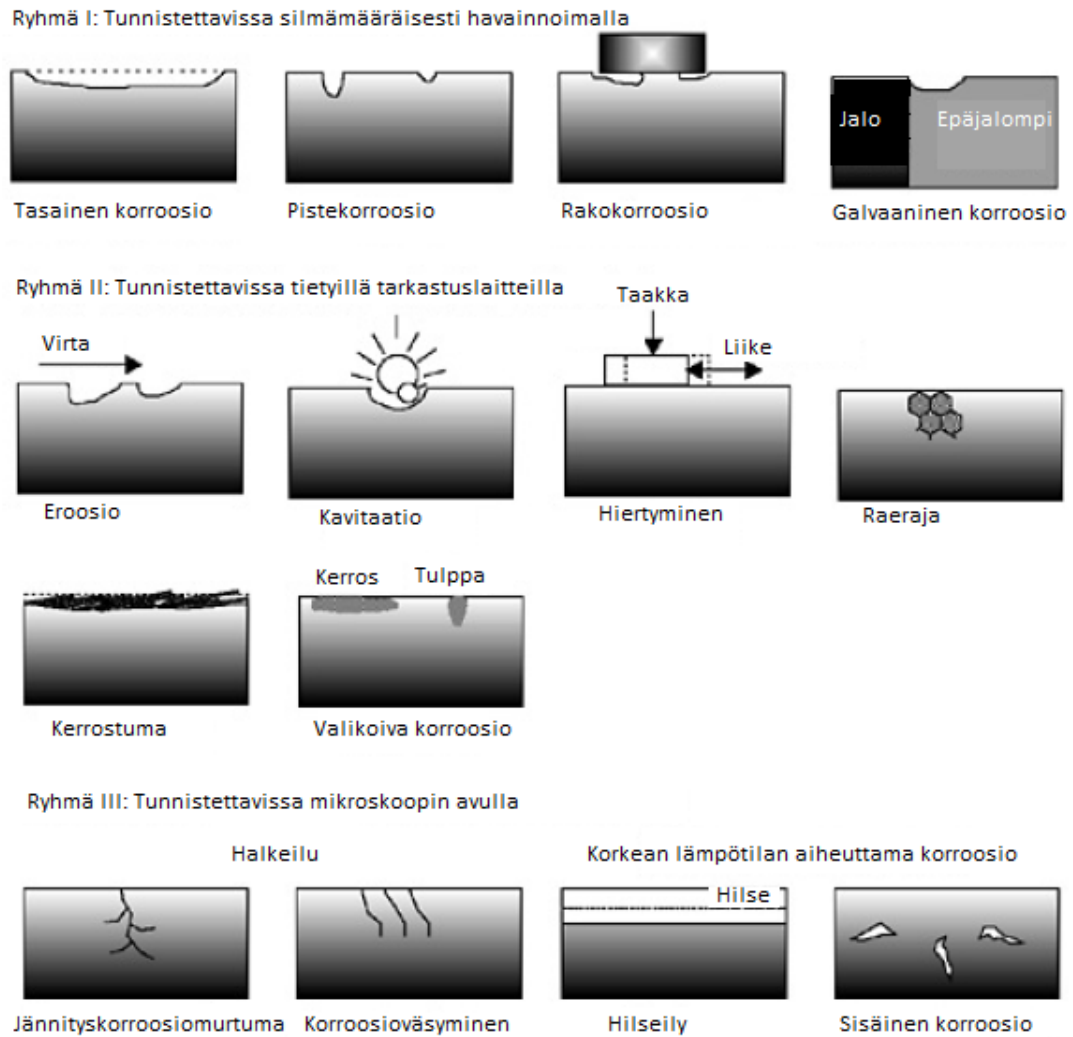
McCaffertyn (2010, s. 25) mukaan korroosiotyypit voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: tasaiseen (tai yleiseen) sekä paikalliseen korroosioon. Tasaisessa korroosiossa korroosiota tapahtuu melko tasaisesti koko metallipinnalla, minkä seurauksena metallikappale ohenee ja lopulta, korroosion edetessä tarpeeksi syvälle, rikkoutuu. Korroosion tasainen eteneminen perustuu luvussa 3.2.3 mainittuun paikallisten anodien ja katodien paikkojen vaihteluun. (McCafferty 2010, s. 25; Hienonen et al. 2007, s. L1/29)

Paikallisessa korroosiossa on myös paikalliset anodit ja katodit mutta tasaiseen korroosioon verrattuna ero on se, että ne eivät vaihda paikkojaan metallin pinnalla vaan pysyvät tietyissä kohdissa, jolloin korroosio etenee vakiintuneessa kohdassa. Paikallisen korroosion yleisimmät muodot ovat pistekorroosio, rakokorroosio ja jännityskorroosio (murtuma). Pistekorroosiossa korroosiota tapahtuu niissä metallipinnan kohdissa, joissa suojaava oksidikalvo rikkoutuu paikallisesti. Tämä tapahtuu useimmiten kloridi-ionien vaikutuksesta. Rakokorroosiossa metalli syöpyy ahtaissa raoissa myös paikallisesti. Jännityskorroosiossa vaikuttavan jännityksen ja kemiallisen ympäristön yhteisvaikutukset aiheuttavat metallissa halkeamien muodostumisen ja niiden etenemisen. (McCafferty 2010, s. 25-26) Kuvassa 3.2. on vielä kuvien avulla havainnollistettu korroosion päätyyppejä niin, että yleisen korroosion lisäksi paikallisesta korroosiosta on esillä kolme yleisintä tapausta.



Kuva 3.2. Sekä yleinen korroosio (ylin rivi) että paikallisen korroosion kolme yleisintä muotoa havainnollistettuina (McCafferty 2010, s. 26).

Korroosiotyyppejä voidaan jakaa ryhmiin muullakin tavalla ja Fontana et al. (1978, s. 28) listaakin jo edellä mainittujen neljän korroosiotyyppin sijaan vielä neljä muuta, jotka ovat galvaaninen korroosio, raerajakorroosio, valikoiva korroosio (valikoiva liukeneminen) ja eroosiokorroosio. Roberge (2008 (3), s. 2-3) jaottelee korroosiotyypit eri ryhmiin sillä perusteella, miten ne ovat havainnoitavissa. Jaottelua on esitetty kuvassa 3.3. Toisaalta standardi SFS-EN ISO 8044 (1999, s. 10-18) listaa jopa 37 eri korroosiotyyppiä, mutta tämän luvun alaluvuissa käsitellään lyhyesti niistä 11:ä.



Kuva 3.3. Korrosiotyypit jaoteltuna kolmeen eri ryhmään niiden tunnistettavuuden perusteella (Roberge 2008 (3), s. 2).

Ryhmään yksi kuuluvat korroosion ilmenemistyyppit, jotka ovat havainnoitavissa silmämääräisesti tarkastelemalla, eli yleinen korrosio, paikallinen korrosio ja galvaaninen korrosio. Tässä määritelmässä paikalliseen korrosioon kuuluvat sekä piste- että rako-korrosio. Ryhmään kaksi kuuluvat korrosiovauriot, joiden toteamista varten saatetaan joutua käyttämään muitakin menetelmiä pelkän silmämääräisen tarkastelun lisäksi. Tähän ryhmään kuuluvat eri aineiden virtausnopeuksien vaikutuksesta aiheutuva korrosio (eroosikorrosio, kavitaatio- ja kitka- tai hiertymiskorrosio), raerajakorrosio ja kerrostumakorrosio metallin rakenteessa sekä valikoiva korrosio, joka johtuu seoksen jonkin ainesosan kadosta. Kolmanteen ryhmään kuuluvat ne korrosiotyypit, joiden toteamista varten tarvitaan yleensä mikroskoopilla tutkittava näyte. Näitä ovat jännituskorrosiomurtuma ja väsyminen, korkeasta lämpötilasta johtuva korrosio (hilseily ja sisäinen korrosio) sekä mikrobien aiheuttama korrosio (jota ei ole havainnollistettu). (Roberge 2008 (3), s. 3)

3.3.1 Tasainen korroosio

Verrattuna muihin korroosiotyyppeihin, tasaisessa korroosiossa tapahtuu eniten ruostuvan metallin painohäviötä. Kyseinen ruostetyyppi on melko tavallinen näky siellä, missä metallisia kappaleita on jätetty ruostumaan ilman erityistä suojausta. Tietyillä metalleilla ruostuminen aiheuttaa merkittävän värin muutoksen, mitä on käytetty hyväksi muun muassa kuparin valitsemisessa pitkäikäiseksi kattomateriaaliksi sekä säänkestävän teräksen valinnassa rakennuksiin ja veistoksiin. Korroosiotutkimuksen näkökulmasta katsottuna tasainen korroosio on suhteellisen helposti havaittavissa ja sen vaikutukset ovat yleensä ennalta arvattavissa, jolloin sitä pidetään vähiten vahingollisena korroosion muotona. Poikkeuksen tekevät tapaukset, joissa ruostunutta pintaa ei nähdä, kuten esimerkiksi sisäpinnalta ruostuneet vesiputket tai piilossa olevat rakenteet. Muun muassa näiden vuoksi on tärkeää, että yksinkertaisimmatkin korroosioon johtavat tapahtumasarjat tarkastellaan huolellisesti. (Roberge 2008 (3), s. 6)

3.3.2 Pistekorroosio

Pistekorroosiota pidetään paikallisen korroosion yleisimpänä korroosiomuotona. Pistekorroosiossa pieniä määriä metallia poistuu tietyistä kohdista pinnasta korroosion seurauksena, jolloin pintaan muodostuu kuoppia. Kuopat voivat lopulta johtaa putken tai astian seinän läpisyöpymiseen. Pistekorroosiota voi esiintyä seisovan tai hitaasti liikkuvan nestein seurauksena. Tasaiseen korroosioon verrattuna pistekorroosiota pidetään vaarallisempänä korroosion muotona, sillä pistekorroosiota on vaikea havaita ja ennustaa, sekä sen ehkäiseminen suunnittelemalla on haastavaa. Pieni ja kapeakin kuoppa voi johtaa kokonaisen teknillisen prosessin vioittumiseen. Vaikka vain pieni määrä metallia syöpyisi, läpisyöpyminen voi johtaa kalliiseen korjaukseen. (Roberge 2008 (3), s. 10)

Pistekorroosio on ominaista kloridipitoisissa olosuhteissa oleville passivoituville metalleille, kuten esimerkiksi kuparille, ruostumattomalle teräkselle ja alumiinille. Sitä voidaan kuitenkin välttää materiaalivalinnoilla: ainakin molybdeenin ja nikkelin esiintyminen metalliseoksissa parantaa seosten kestävyyttä. Myös titaanin koetaan olevan lähes immuuni pistekorroosiolle. (Savisalo 1980, s. 8)

3.3.3 Rakokorroosio

Rakokorroosiota voi ilmetä kokoonpanoissa vastakkaispintojen välissä ja se muistuttaa usein pistekorroosiota. Sitä voi esiintyä myös hilseen tai väljien tiivisteiden alla, jotka eivät estä nesteen pääsyä niiden ja metallin väliin. Tapahtumasarja, joka johtaa korroosion näkökulmasta vakavanlaatuisiin rakoihin, voidaan jakaa pääsääntöisesti kolmeen eri vaiheeseen. Rakokorroosio aiheutuu raossa olevan liuoksen happipitoisuuden laskusta, kun happea kuluu sen reagoidessa metallin kanssa. Koska happea liukenee liuokseen rajoitetusti, happiköyhästä alueesta muodostuu lopulta paikallinen anodi, jolloin metal-

lin liukeneminen jatkuu ja rakoon muodostuu positiivinen varaus. Tällöin rakoon kulkeutuu negatiivisia varauksia, mikä aiheuttaa muun muassa metallihydroksidien synnyn. Lopulta liuos happamoituu niin, että metallia suojaava oksidikerros rikkoutuu ja korrosio etenee. (Roberge 2008 (3), s. 20-21, 23)

3.3.4 Galvaaninen korrosio

Galvaaninen korrosio perustuu metallien sähkökemialliseen jännitesarjaan, eli metallien potentiaalieroihin. Metallin potentiaalın suuruus perustuu energiaan, joka vapautuu sen ruostuessa. Galvaanista korroosiota tapahtuu, kun kaksi eri metallia on asetettu samaan elektrolyyttiin eli liuokseen, johon on liuennut ioneja, jotka voivat johtaa sähkövirtaa. Kaksimetalparissa epäjalommasta metallista tulee anodi, joka syöpyy nopeammin elektrolyytissä kuin tilanteessa ilman elektrolyyttiä. Epäjalommalla tarkoitetaan sitä metallia, jolla on pienempi potentiaali. Jalompi (eli suuremman potentiaalın omaava) metalli toimii korroosioparissa katodina, jonka syöpyminen puolestaan hidastuu tai pysähtyy kokonaan. Mitä suurempi metallien välinen potentiaaliero on, sitä todennäköisempää ruostuminen on. Yleisesti negatiivisen potentiaalın omaavia metalleja kutsutaan epäjaloiksi ja positiivisen potentiaalın omaavia jaloiksi. (Roberge 2008 (3), s. 33-34, McCafferty 2010, s. 27, 76)

Taulukko 3.1. Metallien sähkökemiallinen jännitesarja, jossa elektrodireaktioiden pelkistymispotentiaaliarvot tietyillä metalleilla 25 °C:een lämpötilassa (Landolt 2002, s. 3).

Elektrodi	Energia (V)
$\text{Li}^+ + e = \text{Li}$	-3.045
$\text{Mg}^{2+} + 2e = \text{Mg}$	-2.34
$\text{Al}^{3+} + 3e = \text{Al}$	-1.67
$\text{Ti}^{2+} + 2e = \text{Ti}$	-1.63
$\text{Cr}^{2+} + 2e = \text{Cr}$	-0.90
$\text{Zn}^{2+} + 2e = \text{Zn}$	-0.76
$\text{Fe}^{2+} + 2e = \text{Fe}$	-0.44
$\text{Ni}^{2+} + 2e = \text{Ni}$	-0.257
$2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$	0
$\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}$	0.340
$\text{Ag}^+ + e = \text{Ag}$	0.799
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e = 2\text{H}_2\text{O}$	1.229
$\text{Au}^{3+} + 3e = \text{Au}$	1.52

Taulukossa 3.1. on esitettyinä muutamien metallien elektrodireaktioiden pelkistymispotentiaaliarvot. Vety toimii epäjalojen ja jalojen metallien rajaajana, sillä sen potentiaali on 0V. Alan kirjallisuuden mukaan (Roberge 2008 (3), s. 34-36; Hienonen et al. 2007, s. L1/27) mikäli tuotteissa halutaan käyttää eri metalleja, korroosionkestävyyttä ajatellen pitäisi valita metallit, jotka sijaitsevat sähkökemiallisessa jännitesarjassa mahdollisimman lähellä toisiaan. Jos esimerkiksi rauta- ja kuparimetallit asetetaan toistensa

kanssa kosketukseen suoraan tai elektrolyytin välityksellä, rauta ruostuu tavallista nopeammin kuparin vaikutuksesta, sillä kupari on selkeästi jalompi metalli rautaan verrattuna. Huomiota pitäisi kiinnittää myös anodi- ja katodimetallien kokoon, sillä mikäli anodimetalli on hyvin paljon pienempi kuin katodimetalli, korroosiota tapahtuu normaalia nopeammin.

3.3.5 Raerajakorroosio

Raerajakorroosiossa syöpyminen tapahtuu metallin raerajoilla tai niiden välittömässä läheisyydessä. Syöpyminen alkaa usein metallin pinnalta ja etenee paikallisten galvaanisten parien toiminnan seurauksena raerajojen välittömässä läheisyydessä. Jokaisen metallin raerajakorroosio eroaa yksityiskohdiltaan hieman mutta mikroskoopilla tarkasteltaessa ne ovat ulkonäöllisesti toisiaan läheisesti muistuttavat tai vastaavat. Raerajakorroosion vaikutukset metallin mekaaniisiin ominaisuuksiin saattavat olla hyvin vahingolliset. Edistävänä tekijänä raerajakorroosiossa on raerajan ja muun materiaalin korroosipotentiaalien välinen ero, joka saattaa syntyä kahden eri alueen kemiallisten koostumusten eroista. Erot voivat syntyä epäpuhtauksien tai seosaineiden siirtymisestä raerajoihin. Mikäli seosaineiden pitoisuus raerajalla kasvaa tarvittavan isoksi, ainesosa voi irtautua tai saostua. Kyseisellä ainesosalla voi olla eri korroosipotentiaali kuin raakeella, ja tapahtumat voivat aiheuttaa paikallisen galvaanisen parin. Syntynyt ainesosa voi olla anodinen, katodinen tai neutraali perusmetalliin tai viereiseen alueeseen verrattuna. Esimerkki anodisesta metalliyhdisteestä rautametalleissa on Fe_4N , katodisesta FeAl_3 ja neutraalista Mo_6C . (Roberge 2008 (3), s. 39-40)

3.3.6 Valikoiva korroosio

Valikoiva korroosio (eli valikoiva liukeneminen) on paikallisen korroosion muoto, jossa yhtä metalliseoksen ainesosaa poistuu valikoivan korroosiovaikutuksen tai yhden seosaineen liukenemisen aiheuttamana, mistä seurauksena on metallin syöpyminen (Roberge 2008 (3), s. 40). Esimerkiksi messingin sinkinkadossa sinkkiä liukenee metalliseoksesta, jolloin metalliseoksesta tulee hauras. Myös kupari liukenee seoksesta mutta saostuu kuitenkin takaisin, jolloin messingin lujuus heikkenee huokoisen kuparirakenteen takia. (Savisalo 1980, s. 9) Sinkinkadon aiheuttavat olosuhteet ovat yleensä metalliseoksen kosketus elektrolyytin (esimerkiksi suolaveden) kanssa, olosuhteiden happamuus, metalliseoksen kosketus hiilidioksidin tai ammoniakkin kanssa ja huomattava hapen määrä. Sinkinkato voi tapahtua yhtenevästi tai paikallisesti. (Roberge 2008 (3), s. 41)

3.3.7 Eroosio- ja kavitaatiokorroosio

Eroosio- ja kavitaatiokorroosio kuuluvat korroosioryhmään, jossa korroosio aiheutuu tai nopeutuu metallin ja sen ympäristön suhteellisesta liikkeestä toisiinsa nähden. Eroosio johtuu metallin muodostaman suojakerroksen rikkoontumisesta usein kiinteiden ainei-

den tai liuosten liian suuren nopeuden vuoksi. Suojakerroksen rikkouduttua, syöpyminen usein kiihtyy, kun metalli alkaa reagoida itse liuoksen kanssa. Myös kavitaatiossa metallin suojakerros rikkoontuu, mikä johtuu nesteessä olevien kaasukuplien muodostumisesta ja törmäyksestä metallin pintaan. Kavitaation havaitsee useimmiten pinnassa olevien kuoppien tai kraattereiden kertymistä, kun metallin pintaan syntyy kuoppia tai pinta karhenee. Kavitaatio on ongelmallisinta turbiineissa, laivojen potkureissa ja pumppujen siivissä. (Roberge 2008 (3), s. 51, 53-54; Savisalo 1980, s. 10)

Metallien omat suojakerrokset voidaan jakaa karkeasti kahteen eri ryhmään, joista ensimmäiseen kuuluvat hiiliteräksen muodostama punaruoste sekä kuparin muodostama kuparioksidi, jotka ovat verrattain paksuja ja huokoisia. Toiseen ryhmään kuuluvat muun muassa ruostumattoman teräksen, nikkelseosten ja titaanin muodostamat ohuet näkymättömät passiiviset suojakerrokset. (Roberge 2008 (3), s. 51) Robergen (2008 (3), s. 54) ja Savisalon (1980, s. 10) mukaan parhaiten eroosio- ja kavitaatiokorroosiota vastaan voidaan suojautua materiaalinvalinnoilla tai katodisella suojauksella.

3.3.8 Jännityskorroosiomurtuma, korroosioväsyminen ja hiertymiskorroosio

Jännityskorroosiomurtuma, korroosioväsyminen ja hiertymiskorroosio (hankauskorroosio) ovat seurausta mekaanisen rasituksen aiheuttamasta korroosiosta. Mekaanisten voimien, kuten veto- ja puristusjännitysten, vaikutukset tasaiseen korroosioon ovat yleisesti ottaen hyvin minimaaliset ja metallissa vallitseva puristusjännitys voi jopa pienentää metallin alttiutta murtumiseen. Tästä syystä esimerkiksi kuulapuhallusta käytetään usein pienentämään metallin mahdollista alttiutta väsymiseen, jännityskorroosiomurtumaan tai muihin murtumiin. Toisaalta taas vetojännityksen ja syövyttävän ympäristön yhdistelmä saattaa aiheuttaa metallirakenteiden katastrofaalista murtumista. (Roberge 2008 (3), s. 56)

Jännityskorroosiomurtuma on sekä mekaaninen että kemiallinen tapahtumaketju, jonka seurauksena tietyt metalliseokset murtuvat jo jännityksessä, jonka arvo on huomattavasti seoksen myötörajaa pienempi. Altiis metalliseos, sopiva kemiallinen ympäristö sekä jatkuva jännitys ovat tekijät, jotka voivat aiheuttaa jännityskorroosiomurtuman. Jännityskorroosiomurtuma tapahtuu usein ensin mikroskooppisella tasolla, josta se saattaa taas sopivan altistuksen tullen lähteä kuukausien tai vuosien päästä leviämään. Eri metalleilla on erilaiset jännityskorroosioympäristöt: alumiini murtuu natriumkloridin ja meriveden, kupari ammoniumionin, hiiliteräs muun muassa natriumhydroksidin tai meriveden ja ruostumaton teräs muun muassa magnesium-, natriumkloridin ja meriveden vaikutuksesta. (Roberge 2008 (3), s. 56, 62-63; Savisalo 1980, s. 11)

Korroosioväsymisessä metalli altistuu jaksottaiselle jännitykselle syövyttävässä ympäristössä. Tällöin metalli väsy jo pienemmästä määrästä jännitysjaksoja, kuin mitä se normaalien olosuhteiden puitteissa väsyisi. Väsymiseen tarvittavien jaksojen määrä on

määritelty eri metalleilla väsymislujouden arvona. Korroosioväsymisen aiheuttamia vahinkoja tavataan usein tärkeissä rakenteissa, kuten esimerkiksi kireissä metalliköysissä tai säikeellisissä kaapeleissa, jotka ovat altistuneet väsymislujutta pienemmän jännityksen lisäksi sääolosuhteille. (Roberge 2008 (3), s. 63-65)

Hiertymiskorroosiossa syöpymistä tapahtuu, kun metallin pintaa kuormitetaan toisella metallilla, sekä pintaan kohdistuu värinä tai jokin jaksottainen liike. Hiertymiskorroosion tunnistaa kuopista tai urista, joita syntyy koneistuksen, pulttiliitosten sekä kuula- ja rullalaakereiden liitosten seurauksena. Usein kosketuspinnat, jotka altistuvat värinälle kuljetuksessa, ovat alttiita myös hiertymiskorroosiolle. (Roberge 2008 (3), s. 65-66; Savisalo 1980, s. 10)

4. SUOJAUSTARPEET JA SUOJAUSMENETELMÄT

Tässä kappaleessa käsitellään sellaisia ilmastollisia tai ulkopuolisia rasituksia, joita valmistettu tuote saattaa varastoinnin tai kuljetuksen aikana kohdata. Kappaleessa 4.2 esitellään korroosiorasitusluokat, jotka antavat suuntaa korroosiosuojauksen vaativuudesta, kun pystytään määrittämään se ympäristö, jossa valmistettu tuote on. Kappaleessa 4.5 käsitellään tilapäisiä suojausmenetelmiä, joihin sisältyy suojattavan tuotteen putsaus, suojaus valitulla aineella sekä suojauksen poistaminen. Lisäksi käsitellään tuotteen suojaamista myös pakkauksen avulla. Lopussa esitellään lyhyesti testausmenetelmiä korroosiosuojauksen testaamiseksi sekä käydään läpi niitä huomioita, joita tulisi pohtia korroosiosuojausta valittaessa.

4.1 Ilmaston vaikutus korroosiossa

Ilmastolla on suuri vaikutus kappaleissa tapahtuviin korroosioaurioihin. Ilman suhteellinen kosteus, lämpötila ja epäpuhtauksien määrä sekä laatu ovat suurimmat korroosionopeuteen vaikuttavat tekijät. Kun suhteellinen kosteus on alle 60 %, korroosiota ei yleensä tapahdu. Mikäli suhteellisen kosteuden arvo ylittää 60 %, kappaleen pinnalle saattaa muodostua vesikalvo, joka mahdollistaa korroosion syntymisen. Lisäksi ilman epäpuhtaudet, kuten esimerkiksi rikkiä sisältävät savukaasut, noki tai suolahiukkaset, kiihdyttävät korroosion etenemistä ja alentavat sitä suhteellisen kosteuden arvoa, jonka yläpuolella korroosiota tavallisesti esiintyy. Ilmastollisessa korroosiossa ilman lämpötila on vaarattomampi tekijä kuin ilman kosteus- tai epäpuhtauspitoisuus eikä varsinaisilla astemäärillä ole niin suurta vaikutusta korroosioon. Siinä merkittävämpiä tekijöitä ovat lämpötilan vaihtelut, sillä lämpötilan vaihtelu aiheuttaa veden tiivistymisen kappaleen pinnalle. Näin ollen esimerkiksi alle -2 °C:een lämpötiloissa korroosiota ei rautametalleilla esiinny, ellei rauta ole kosketuksissa suolojen kanssa. Veden jäätympiste alenee suolojen seurauksena, jolloin ruostumista voi tapahtua alhaisemmissakin lämpötiloissa. (Alén et al. 1980, s. 4)

4.2 Korroosiorasitusluokat

Standardissa ISO 12944 määritellään (maalatuille) teräsrakenteille ilmastolliset rasitusluokat, jotka perustuvat vakiokappaleiden paino- tai paksuushäviöön. Luokittelu tehdään tyypillisten luonnollisten olosuhteiden, joille teräsrakenteet altistuvat, korroosiovaikutuksiin perustuen. Standardi sisältää myös ohjeita korroosiovaikutusten arvioimiseksi sekä siinä annetaan tietoja niistä korroosiorasituksista, jotka edistävät tai no-

peuttavat korroosiorasitusta, mikä puolestaan lisää suojavaatimuksia suojamaaleille ja niiden toimivuudelle. (SFS-EN ISO 12944-2 1998) Vaikka väliaikaiselle korroosiosuojaukselle (esimerkiksi varastointi ja kuljetus) varsinaisia rasisluokkia ei ole asetettu, suojamaalien korroosiorasitusluokat ovat hyvä pohja pohtiessa myös väliaikaisen korroosiosuojauksen tarpeita.

Jotta korroosion syntymistä ja etenemistä pystytään jossain määrin ennustamaan, on syytä huomioida myös ne tekijät, jotka luvussa 3 esitettyjen korroosiota synnyttävien tekijöiden lisäksi kasvattavat korroosionopeutta. SFS-EN ISO 12944:n (1998) mukaan näitä ovat ainakin ilman suhteellisen kosteuden nousu, kondensoituminen kappaleen pinnalla (kun kappaleen pinnan lämpötila on sama tai alhaisempi kuin kastepiste) ja epäpuhtauksien määrän kasvu ilmatilassa, jolloin epäpuhtaudet, jotka aiheuttavat korroosiota, voivat reagoida metallin kanssa ja muodostaa pinnalle laskeumia. Kokemukseen perustuen voidaan sanoa, että merkittävää korroosiota ilmenee todennäköisesti silloin, kun ilman suhteellinen kosteus on yli 80 % ja lämpötila yli 0 °C. Mikäli ilmatilassa on kuitenkin epäpuhtauksia ja/tai hygroskooppisia (ilmasta itseensä kosteutta imeviä) suoloja, alhaisempikin ilman suhteellinen kosteus riittää synnyttämään korroosiota. (SFS-EN ISO 12944-2 1998, s. 8)

Taulukossa 4.1. on kuvattuna lyhyesti erilaisia ilmastotyyppjä lämpötiloineen sekä märkäaikoineen. Märkäaika tarkoittaa sitä ajanjaksoa, jolloin kappale tai rakenne on altistettuna suurille kosteuksille. Taulukon tiedot ovat suuntaa antavia, joiden perusteella voidaan tehdä vain yleisiä johtopäätöksiä. Mikäli halutaan tarkempia tietoja eri kohteissa vallitsevista olosuhteista, on ne tutkittava aina erikseen. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että kylmässä tai kuivassa ilmastossa korroosion eteneminen on hitaampaa kuin esimerkiksi lauhkeassa ilmastossa. Korroosion eteneminen on pääsääntöisesti nopeinta kuumassa ja kosteassa ilmastossa tai meri-ilmastossa. (SFS-EN ISO 12944-2 1998, s. 10, 14)

Taulukko 4.1. Eri ilmastotyyppien lämpötiloja sekä laskettu märkäaika (SFS-EN ISO 12944-2 1998, s. 14)

Ilmaston tyyppi	Vuositaitaisten ääriarvojen keskiarvo			Laskettu märkäaika. Suht. kosteus > 80 % ja lämpötila > 0 °C h/vuosi
	Alalämpötila °C	Ylälämpötila °C	Ylin lämpötila. Suht. kosteus > 95 % °C	
Erittäin kylmä	-65	+32	+20	0...100
Kylmä	-0	+32	+20	150...2500
Kylmä lauhkea	-33	+34	+23	2500...4200
Lämmin lauhkea	-20	+35	+25	
Lämmin kuiva	-20	+40	+27	
Mieto lämmin kuiva	-5	+40	+27	10...1600
Erittäin lämmin kuiva	+3	+55	+28	
Lämmin kostea	+5	+40	+31	4200...6000
Lämmin kostea, tasainen	+13	+35	+33	

Ympäröivän ilmatilan lisäksi myös kappaleen tai rakenteen sijainti vaikuttaa korroosion ilmenemiseen. Ulkoilmassa vallitsevan ilmaston lisäksi myös ilmastolliset muuttujat kuten sade, auringonpaiste ja ilmassa olevat epäpuhtaudet niin kaasu- kuin aerosolimuodossa vaikuttavat korroosion tapahtumiseen kappaleessa. Mikäli kappaletta säilytetään katetuissa olosuhteissa, ilmastollisten tekijöiden vaikutus pienenee. (SFS-EN ISO 12944-2 1998, s. 8)

Standardissa SFS-EN ISO 12944 ilmastoympäristöt on jaoteltu kuuteen ilmastorasitusluokkaan, jotka ovat:

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

Jotta rasitusluokat pystytään määrittämään eri olosuhteissa, on suositeltavaa käyttää standardikoekappaleita. Taulukossa 4.2. rasitusluokat on määritelty (matala)hiiliteräksisten ja/tai sinkkisten standardikoekappaleiden paino- ja paksuushäviöiden perusteella ensimmäisen koestusvuoden kuluttua. Mikäli rasitusta ei ole mahdollista toteuttaa koekappaleiden avulla, rasitusluokka voidaan arvioida vertaamalla vallitsevia ympäristöolosuhteita taulukossa esitettyihin tyypillisiin ympäristöesimerkkeihin. (SFS-EN ISO 12944-2 1998, s. 10, 12)

Taulukko 4.2. Ilmastorasitusluokat ja esimerkkejä tyypillisistä rasisusympäristöistä (SFS-EN ISO 12944-2 1998, s. 12; Alén et al. 1980, s. 5)

Rasitusluokka	Painohäviö pinta-alayksikköä kohden/paksuushäviö (ensimmäinen koestusvuosi)				Esimerkkejä tyypillisistä ympäristöistä lauhkeassa ilmastossa (vain opastava)	
	Niukkahiilinen teräs		Sinkki		Ulkona	Sisällä
	Painohäviö g/m ²	Paksuus- häviö µm	Painohäviö g/m ²	Paksuus- häviö µm		
C1 hyvin lievä	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	–	Lämmitetyt rakennukset, joissa puhtaat ilmatilat, 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. Enimmäkseen maaseutualueita.	Lämmittämättömät rakennukset, joissa voi esiintyä kondensoitumista, esim. varastot, urheiluhallit.
C3 kohtalainen	> 200...400	> 25...50	> 5...15	> 0,7...2,1	Kaupunki- ja teollisuusilmatilat, joissa kohtalainen rikkidioksidikuormitus. Rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus.	Tuotantotilat, joissa korkea kosteuspitoisuus ja jossain määrin epäpuhtauksia ilmassa, esim. elintarviketehtaat, pesulat, panimot, meijerit.
C4 ankara	> 400...650	> 50...80	> 15...30	> 2,1...4,2	Teollisuusalueet ja rannikkoalueet, joilla suolapitoisuus on kohtalainen.	Kemianteollisuuden tuotantolaitokset, uima-altaat, rannikolla sijaitsevat telakat ja veneveistämöt.
C5-I hyvin ankara (teollisuus)	> 650...1500	> 80...200	> 30...60	> 4,2...8,4	Teollisuusalueet, joilla kosteus on korkea ja ilmatila on syövyttävä.	Rakennukset tai alueet, joilla kondensoituminen on miltei jatkuvaa ja saasteiden määrä korkea.
C5-M hyvin ankara (meri)	> 650...1500	> 80...200	> 30...60	> 4,2...8,4	Rannikkoalueet ja rannikon ulkopuoliset alueet, joilla suolapitoisuus on korkea.	Rakennukset tai alueet, joilla kondensoituminen on miltei jatkuvaa ja saasteiden määrä korkea.

4.3 Meriveden korroosiovaikutukset

Kuten taulukosta 4.2. käy ilmi, meri-ilma tarjoo korroosion näkökulmasta usein haastavimmat olosuhteet, johtuen suurimmaksi osaksi vallitsevasta kosteudesta sekä meriveden ominaisuuksista. Howardin (1967) mukaan merivesi onkin liuoksena erittäin monimutkainen isoksi osaksi sen heterogeenisyyden takia, sillä se sisältää isoja määriä erilaisia veteen liuenneita kiinteitä aineita, kaasuja ja erilaisia biologisia aineita. Kun tarkastellaan merivettä korroosion synnyn kannalta, tärkeimmät tekijät ovat suolapitoisuus, pH-arvo, liuenteen hapen pitoisuus, lämpötila, nopeus ja biologisen aineksen laatu. Merivesi koostuukin suurimmaksi osaksi kyseisistä ioneista:

- Kloridi Cl^-
- Sulfaatti SO_4
- Biokarbonaatti HCO_3
- Bromidi Br^-
- Fluoridi F^-
- Boorihappo H_3BO_3
- Natrium Na^+
- Magnesium Mg^{++}
- Kalsium Ca^{++}
- Kalium K^+
- Strontium Sr^{++} (Howard 1967, s. 3, 4)

4.4 Kuljetusten aikaiset sääolosuhteet

Alén et. al (1980) jakavat kuljetusolosuhteet pääosin kolmeen eri kategoriaan: Pohjoismaissa tapahtuvat kuljetukset, Eurooppaan ja Pohjois-Amerikkaan suuntautuvat kuljetukset, ja trooppisiin maihin suuntautuvat kuljetukset. Korroosiosuojausten kannalta Pohjoismaiden sisällä tapahtuvia kuljetuksia pidetään helpoimpana, sillä kyseiset kuljetukset tapahtuvat useimmiten katettua autoa tai junaa käyttäen. Tällöin pakkaamattoman tuotteen osalta ilmastoa voidaan verrata lämmittämättömään sisätilaan, kun taas pakatun tuotteen ilmasto määräytyy valitun pakkausmateriaalin kosteuspitoisuuden perusteella. Mikäli pakkausmateriaali on kuiva, lyhytaikaisemmat kuljetukset tarvitsevat vain kohdullisen suojakäsittelyn. Ruostumisen kohdalla suurin riski tapahtuu usein siinä vaiheessa, kun kylmä tuote viedään kuljetuksen jälkeen lämmitettyyn tilaan, jossa tuotetta ympäröivä kosteus tiivistyy vedeksi. (Alén et al. 1980, s. 7)

Kun tuotteita kuljetetaan muualle Eurooppaan tai Pohjois-Amerikan länsirannikolle, kuljetukset sisältävät usein auton ja junan lisäksi myös meriteitse tapahtuvat kuljetukset. Mikäli pakkaamattomat tuotteet ja ilmastoidut pakkaukset lastataan merikuljetusten ajaksi laivan kannelle, ne joutuvat alttiiksi ulkoilmastolle, jolloin ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on noin 70-80 %. Mikäli sade- tai merivettä päätyy laivan kannelle, ne edesauttavat entisestään korroosiota aiheuttavan ilmaston muodostumista. Ulkoilmaston vaikutus laivan ruuman ilmastoon on vain osittainen. Tärkeitä tekijöitä ovat muun muassa lastaustilanteen aikainen ilman kosteuspitoisuuden arvo, meren lämpötila ja ilmanvaihto-olosuhteet. Ruumassa ilman suhteellinen kosteus on usein alhaisempi, kuin ulkoilman suhteellinen kosteus. Mikäli ruuman lämpötila laskee huomattavasti, on vaarana, että kosteutta alkaa tiivistyä kappaleiden pinnoille. (Alén et al. 1980, s. 7)

Mikäli pakkaukset ja kontit ovat ilmastoimattomia, ilmasto määräytyy isoimmaksi osaksi hygroskooppisen pakkausmateriaalin perusteella. Tällöin pakkausmateriaali tasoiittaa suhteellista kosteutta niin, että erot muodostuvat pienemmiksi ja ilmasto vaihtelee vähemmän. Usein suhteellisen kosteuden keskiarvo nousee hieman, noin 75 %:iin,

verrattuna ilmastoituihin pakkauksiin, joissa suhteellisen kosteuden arvo pysyttelee alle 70-80 %:n. Myös tällöin lämpötilojen laskiessa voimakkaasti, kappaleita ympäröivä kosteus saattaa tiivistyä. Eri tekijöistä huolimatta, ruostumista tapahtuu yleensä yhtä voimakkaasti riippumatta siitä, onko kuljetettava pakkaus kannella, välikannella vai ruumassa. Pakkausmateriaalien lisäksi myös kappaleiden suojakäsittely on tarpeellinen, koska merikuljetuksissa suhteellisen kosteuden arvo on usein yli 75 % ja kuljetusajat ovat pitkiä. (Alén et al. 1980, s. 7)

Trooppisiin maihin tapahtuvia kuljetuksia suunniteltaessa tulee huomioida edellä mainitut korroosioriskit sekä huomioida kuljetettavaan kappaleisiin liittyvät vaarat, jotka johtuvat tropiikin maissa esiintyvistä korkeammista lämpötiloista ja suhteellisen kosteuden arvoista, ja monesti pidemmistä kuljetusmatkoista. Myös kosteuden tiivistymisen riski on näissä kuljetuksissa suurempi, koska vuorokauden sisällä tapahtuvat lämpötilanvaihtelut ovat suurempia. Esimerkiksi suurin lämpötilanvaihtelu vuorokauden sisällä Itä-Aasiassa on 8 °C, Länsi-Afrikassa noin 5 °C, Intiassa 10 °C:ssa ja Pohjois-Amerikan länsirannikolla noin 15 °C, Euroopasta lähtevissä kuljetuksissa laivan mittauspaikasta riippuen. (Alén et al. 1980, s. 7)

Suojakäsittelyn lisäksi korroosiosuojaus on usein riippuvainen myös pakkauksen kestävydestä, jolloin tulee kiinnittää huomiota myös pakkaukseen kohdistuviin mekaanisiin rasituksiin. Mekaaniset rasitukset ovat suuret pakkauksia lastattaessa ja matkan aikana, suurimpien rasitusten kohdistuessa kuitenkin yleensä purkuvaiheeseen. Purkaminen saattaa tapahtua melko alkeellisissa olosuhteissa, joskus jopa avomerellä pienalusten avustuksella. Erityisesti trooppisten maiden satamissa saattaa olla huonosti varustetut varastot, jolloin voi olla, että pakkaukset jätetään sateeseen ja voimakkaaseen auringonpaisteeseen pitkäksi aikaa. Trooppisissa maissa sademäärät voivat olla jopa 0,5-2 mm/min, verrattuna kohtalaisen lämpimän ilmastovyöhykkeen maihin, joissa sademäärä voi olla 0,01-0,05 mm/min. Nämä vaikeat olosuhteet tulee huomioida huolellisesti ruostesuojausta suunniteltaessa, sillä niiden vaikutus voi olla pitkäkestoinenkin, riippuen pakkausten varastointiajasta. (Alén et al. 1980, s. 8)

4.5 Tilapäiset suojausmenetelmät korroosion estämiseksi

Vaikka korroosiorasitusluokat (taulukko 4.2) on määritelty pysyvään korroosionsuojaukseen, voidaan niitä soveltaa myös tilapäisiä suojausmenetelmiä toteutettaessa. Tilapäisistä suojausmenetelmistä puhutaan silloin, kun suojausta on tarkoitus käyttää valmistuksen aikana, kuljetuksessa tai varastoinnissa. Tilapäisiä suojausmenetelmiä voidaan toteuttaa sekä melko lyhyeksi että pidemmäksi aikaa ja niille on ominaista, että suojatun kohdan pinta säilyy alkuperäisessä kunnossa, tai että pinta saadaan suhteellisen helposti alkuperäiseen kuntoon esimerkiksi poistamalla suoja-aine tai pakkaus. Tyypillisimmät keinot tilapäisen suojausmenetelmän toteuttamiseen ovat:

- Ympäröivän ilman kosteuspitoisuuden alentaminen.
- Kalvon muodostavan korroosionestoaineen käyttäminen.
- Korroosionestoon tarkoitettua pakkauksen käyttäminen, joka sisältää esimerkiksi korroosionestopaperia, kaasua muodostavia inhibiittejä tai kuivausaineita. (Alén et al. 1980, s. 1)

4.5.1 Kappaleen puhdistaminen ennen suojausta

Jotta korroosiosuojauksesta saadaan mahdollisimman pysyvä ja tasainen, kappaleiden puhdistaminen epäpuhtauksista on suositeltavaa ennen varsinaisen korroosiosuojan käyttöä. Puhdistusmenetelmää valittaessa tulee ottaa huomioon puhdistettavan pinnan senhetkinen kunto. Mikäli pintaa ei maalata tai suojata korroosionestoaineella heti puhdistuksen jälkeen, puhdistus joudutaan todennäköisesti toistamaan, jotta uudet epäpuhtaudet eivät jää pintaan. Öljy, rasva, lika tai vastaavat epäpuhtaudet on aina poistettava pinnoilta ennen suojaamista, kuten myös jo mahdollisesti syntynyt ruoste tai valssihilse. Puhdistettavia kohtia varten arvioidaan sopivat menetelmät, jotka toteutetaan joko käsin tai koneellisesti. (Alén et al. 1980, s. 9, 11; de Wit et al. 2002, p. 684; SFS-EN ISO 12944-4, s. 12)

Kappaleen puhdistus voidaan suorittaa makealla vedellä, jonka suihkun paine riippuu kappaleen pinnan epäpuhtauksien määrästä ja laadusta. Tällöin on monesti tarpeen käyttää myös pinta-aktiivisia puhdistusaineita, eli detergenttejä, jotta esimerkiksi öljyn ja rasvan poistaminen helpottuu. Detergenttien käytön jälkeen pinta tulee vielä puhdistaa pelkällä vedellä. Höyrypuhdistusta voidaan käyttää vastaavalla tavalla, kuin vesipuhdistusta, eli ilman detergenttejä tai niiden kanssa. (SFS-EN ISO 12944-4, s. 12, 14) Siinä kappale asetetaan höyryävän säiliön yläpuolelle, jolloin höyry tiivistyy kappaleen pintaan ja öljy ja rasva valuvat säiliöön (Alén et al. 1980, s. 9)

Öljyn ja rasvan poistamiseen voidaan käyttää myös emulsiopuhdistusaineita, jotka sisältävät orgaanisia liuottimia, synteettisiä emulgoimisaineita sekä vettä. Tällöin makealla vedellä huuhtelu on välttämätöntä puhdistuksen lopuksi. Puhdistus voidaan tehdä upottamalla kappale tai suihkuttamalla siihen pesuainetta, jonka jälkeen se vielä puhdistetaan ja kuivataan. Emulsiopuhdistuksessa kappaleen pinnalle saattaa jäädä ohut öljykalvo. Alkalipuhdistus toimii vastaavalla tavalla kuin emulsiopuhdistus mutta siinä käytetään alkalisuoloja ja detergenttejä sekä mahdollisia lisäaineita. Puhdistus toteutetaan upottamalla, suihkuttamalla tai sähkökemiallisesti. Myös tällöin huolellinen huuhtelu makealla vedellä sekä kuivaus ovat välttämättömiä. (Alén et al. 1980, s. 10, SFS-EN ISO 12944-4, s. 14)

Öljyn ja rasvan poistamiseen pinnoilta voidaan käyttää myös orgaanisia liuottimia. Tällöin pinnalle joko suihkutetaan tai levitetään puhdistusainetta, joka pyyhitään pois rätillä, tai rätti voidaan kastella puhdistusaineella, jolla puhdistettava pinta pyyhitään. Ky-

seistä menetelmää suositellaan käytettäväksi vain melko pienille alueille. (SFS-EN ISO 12944-4, s. 14)

Mainitut puhdistustavat soveltuvat pääosin öljyn, rasvan, irtonaisen lian tai vastaavien epäpuhtauksien poistamiseen. Mikäli pinnoilta täytyy poistaa kiinteämpää likaa, kuten esimerkiksi ruostetta tai valssihilsettä, tarvitaan usein mekaanista puhdistusta. Tällöin kysymykseen tulevat muun muassa pintojen puhdistus käsityökaluilla, kuten teräsharjoilla, lastoilla, kaapimilla tai hiontatyökaluilla. Koneellisessa puhdistuksessa voidaan käyttää vastaavia työkaluja, jolloin puhdistus tehostuu ja nopeutuu verrattuna siihen, että vastaava puhdistus tehdään käsin. Mikäli tarvitaan vielä tehokkaampaa puhdistusta, käytetään suihkupuhdistusta. Suihkupuhdistukselle on ominaista, että puhdistettava aine suihkutetaan suurella nopeudella halutulle pinnalle. Aine voi koostua kiinteistä rakeista, sekä rakeista että pienestä määrästä nestettä tai pelkästä nesteestä. (SFS-EN ISO 12944-4, s. 14)

4.5.2 Suojaus kalvon muodostavilla korroosionestoaineilla

Figueira et al. (2014) ja Roberge (2008) jakavat korroosionestoon tarkoitetut kalvot karkeasti kolmeen eri pääryhmään: orgaanisiin, epäorgaanisiin ja metallisiin kalvoihin. Myös korroosionestoaine, joka on sekoitus esimerkiksi orgaanisia sekä epäorgaanisia ainesosia, on mahdollinen. Orgaanisiin kalvoihin kuuluvat muun muassa maalit, lakat ja hartsit. Nämä aineet sisältävät usein myös inhibiittejä, joiden tarkoitus on estää korroosion tapahtuminen metallipinnoilla pelkän kalvon lisäksi. Epäorgaanisiin kalvoihin luokituvat muun muassa emalikalvot, joiden tarkoitus on estää ionien siirtyminen korroosioympäristöstä metalliin. Metallisilla kalvoilla tarkoitetaan metallin päällystämistä toisella metallilla, jolloin päällysteenä oleva metalli on epäjalompi ja näin ollen ruostuu ennen suojattavaa metallia. Koska epäorgaaniset ja metalliset kalvot on lähtökohtaisesti tarkoitettu hieman pysyvämpään ruostesuojaukseen, tässä luvussa keskitytään orgaanisiin kalvoihin tai seoksiin, jotka sisältävät ainakin orgaanisia kalvoja muodostavia tuotteita. (Figueira et al. 2014, s. 2; Roberge 2008 (2), s. 1-2)

Alén et al. (1980) mainitsee tilapäisten korroosionestoaineiden komponenteiksi muun muassa seuraavat aineet:

- kalvon muodostavat aineet
- korroosionestoinhibiitit
- liuottimet
- vettä syrjäyttävät aineet
- neutraloivat aineet. (Alén et al. 1980, s. 17)

Itse korroosionestossa käytettävä perusaine tuotetaan mineraaliöljystä, rasvoista, vahoista, bitumista, vaseliinista tai muovista. Tämän aineen tarkoitus on muodostaa kalvo suojattavalle pinnalle kosteutta, happea ja ilman epäpuhtauksia vastaan. Levityksen jälkeen

kalvo ei välttämättä ole aina tarpeeksi tiivis, jolloin perusaineeseen voidaan lisätä myös inhibiittejä, kuten aiemminkin mainittiin. Liuottimia käytetään helpottamaan korroosionestoaineen levitystä, vettä syrjäyttäviä aineita mahdollistamaan aineen levitys kosteallekin pinnalle sekä neutraloivia aineita lisätään sitomaan suoloja ja heikkoja happoja, kuten esimerkiksi sormenjäljistä jäävää hikeä. (Alén et al. 1980, s. 17)

Korroosionestoa suunniteltaessa tulisi tapauskohtaisesti pohtia suojaukselta toivottavia vaatimuksia, sillä eri aineita käytetään erilaisiin tarkoituksiin. Tapauksesta riippuen ne saattavat vaihdella, mutta aineelle asetettavia vaatimuksia voivat olla esimerkiksi:

- kyky estää hyvin korroosiota
- levitettävyyden helppous sekä tasainen suojakalvo
- ei vahingoita muita materiaaleja
- helppo poistaa
- syrjäyttää hyvin kosteutta
- ei syty palamaan herkästi eikä ole myrkyllinen
- tunkeutuu hyvin saumoihin
- kuivumisaika on kohtuullinen
- kestää kylmää, lämpöä ja kulutusta
- kestää varastointia
- voitelee suojattavaa pintaa
- neutraloi sormista mahdollisesti jäävän hien
- on taloudellisessa mielessä järkevä käyttää. (Alén et al. 1980, s. 17)

Aineelle asetettavien vaatimusten lisäksi on myös tärkeää pohtia, mitkä tekijät ovat määräävimmit ainetta valittaessa, jotta saataisiin toivottu lopputulos. Näitä tekijöitä ovat muun muassa:

- tuotteet ja pinnat, jotka käsitellään suoja-aineella
- ajanjakson pituus, jolloin korroosioneston pitäisi toimia
- ympäristön ja tuotteeseen kohdistuvien rasitusten laatu, eli tuotteen säilytys sisällä tai ulkona, kosteuden määrä, lämpötilanvaihteluiden määrä, lastaamisen, purkamisen ja kuljetuksen aikainen rasitus
- aineen levitysmahdollisuudet ja niiden soveltuvuus
- käsiteltävän kappaleen pinnan laatu
- aineen poistettavuudelle asetettavat vaatimukset
- aineen suojaavuus, eli voidaanko sallia esimerkiksi pintaruostetta vai tuleeko pinnan pysyä puhtaana. (Alén et al. 1980, s. 17)

Kuljetuksen ja varastoinnin aikaisiin suojauksiin valmistettavat korroosionsuoja-aineet valmistetaan usein öljypohjaisista tuotteista ja Alén et al. (1980) jaottelee ne viiteen eri ryhmään:

- emulgoituvat ruosteenestoaineet
- ruosteenestoöljyt
- ruosteenestonesteet
- ruosteenestorasvat
- ruosteenestoaineet, jotka levitetään lämpiminä. (Alén et al. 1980, s. 18)

Emulgoituissa ruosteenestoaineissa ruosteenestoöljy sekoitetaan veteen, jolloin aineen levityksen jälkeen vesi haihtuu ja metallin pinnalle jää ohut öljymäinen kalvo. Ruosteenestoemulsiot eivät ole paloherkkiä ja niitä voidaan levittää kosteallekin pinnalle. Emulsion hyvä tarttuvuus vaatii sen, että lian- ja rasvanpoisto on suoritettu huolellisesti suojattavalle pinnalle ennen levitystä. Ruosteenestoemulsioita käytetään muun muassa laitteiden sisäpuoliseen suojaukseen jos epäillään, että sisään pääsee vettä tai kosteutta. (Alén et al. 1980, s. 18)

Ruosteenestoöljyt ovat koostumuksiltaan erilaisia ja niitä on olemassa myös eri viskositeetti- ja luokissa. Ruosteenestoöljyjä käytetään erityisesti silloin, kun halutaan, että aine sekä estää korroosion syntymistä että voitelee samanaikaisesti suojattavaa tuotetta, esimerkiksi moottoria tai vaihdelaatikkoa, sisäpuolelta. Öljyllä voidaan suojata myös tuotteita muun muassa eri työstövaiheiden välillä. (Alén et al. 1980, s. 18)

Ruosteenestonesteissä on varsinaisen nesteen lisäksi mukana myös liuottimia, jotka haihtuvat levityksen jälkeen, jolloin suojakalvo jää kappaleen pintaan. Ruosteenestonesteet ovat yleensä helposti levitettäviä joko kastamalla, ruiskuttamalla tai sivelemällä. Ruosteenestonesteet voidaan jakaa viiteen eri ryhmään niiden muodostaman kalvon perusteella:

- öljy- tai rasvakalvo
- vahamainen kalvo
- lakkamainen kalvo
- muovikalvo
- kuorittava muovikalvo. (Alén et al. 1980, s. 18)

Öljy- tai rasvakalvo muodostuu kappaleen pinnalle, kun nesteessä oleva liuotin haihtuu. Tällainen ruosteenestoneste on helppo sekä levittää että poistaa, ja se sopii kappaleiden suojaamiseen sekä valmistuksen aikana että kuljetuksessa ja varastoinnissa. Öljy- tai rasvakalvolla ei ole mekaanista kestävyttä, jolloin ilman epäpuhtaudet kertyvät helposti tahmealle pinnalle. Tämän vuoksi kuljetettavien osien pakkaamista öljynkestävään paperiin tai kalvoon suositellaan vasta sen jälkeen, kun liuotin on haihtunut. (Alén et al. 1980, s. 18)

Vahamaisen kalvon muodostava ruosteenestoneste sopii käyttöön silloin, kun pinnan suojaksi halutaan kiinteä kalvo, joka toimii hieman myös mekaanisena suojana. Keskipaksu kalvonvahvuus sopii sekä pitkäaikaiseen sisävarastointiin että lyhytaikaiseen ul-

kovarastointiin ja kuljetukseen. Paksumpi kalvonvahvuus sopii puolestaan sekä vaati-vaan sisä- ja ulkovarastointiin että vientitavaroihin. Vahamaisen kalvon muodostaville ruosteenestonesteille tyypillistä on, että aine on helppo levittää mutta poistettavuus on hankalampaa, kun vertaa esimerkiksi öljymäisen kalvon muodostaviin nesteisiin. (Alén et al. 1980, s. 18)

Metallin pintaa suojaava kova tai sitkeä kalvo saadaan aikaan ruosteenestonesteillä, jotka muodostavat lakkamaisen kalvon. Kyseinen kalvo suojaa pintaa ruustumisen lisäksi myös ulkoisilta mekaanisilta rasituksilta. Koska kyseinen kalvo on vaikea poistaa, käytetään sitä suojaukseen karkeisiin ja työstämättömiin pintoihin niin varastointiin kuin kuljetuksiinkin vaikeissa korroosio-olosuhteissa. Muovikalvon muodostavia ruosteenestonesteitä käytetään myös vastaavasti pysyvämpään korroosiosuojaukseen esimerkiksi työkaluille. Kuorittava muovikalvo muodostaa myös ulkonäöllisesti samanlaisen kalvon kappaleen pinnalle mutta heikomman kiinnittymiskykynsä takia se on mahdollista kuoria tarvittaessa pois pinnalta. (Alén et al. 1980, s. 18-19)

Ruosteenestorasvat muodostavat metallin pinnalle pehmeän rasvamaisen kalvon, joka ei kestä mekaanista kulutusta, toisin kuin monet ruosteenestonesteillä aikaan saatavista kalvoista. Koska kalvo jää tahmeaksi, siihen kerääntyy herkästi epäpuhtauksia. Rasvat tarjoavat kuitenkin hyvän suojan vaikeissa olosuhteissa ja sietävät hyvin kylmiäkin lämpötiloja. Niiden levitys on kuitenkin melko hankalaa, jolloin niitä käytetään lähinnä silloin, kun ruosteeneston lisäksi halutaan myös samanaikaisesti voiteleva vaikutus esimerkiksi hammaspyöriin tai laakereihin. (Alén et al. 1980, s. 18)

Lämpimänä levitettävät ruosteenestoaineet levitetään yleensä kastamalla suojattava kappale sulaan massaan, joka on tyypillisesti vaseliinia, vahaa tai sulatemuovia. Vaseliineilla ja vahoilla saa aikaan paksun ja kiinteän kalvon, jolla saa pitkäaikaisen ruosteeneston niin sisä- kuin ulkotiloissa. Sulaan muoviin kastamalla saadaan aikaan kestävä ja paksu kalvo, joka on helposti kuorittavissa oleva kuiva tai öljyinen kalvo. Kyseinen kalvo antaa myös mekaanisen suojan ruosteeneston lisäksi. Käytön jälkeen muovi on mahdollista sulattaa ja käyttää uudelleen. (Alén et al. 1980, s. 19)

4.5.3 Kalvon muodostavien korroosionestoaineiden levitysmenetelmät

Levitettäessä kalvon muodostavaa ruosteenestoainetta tulee muistaa, että kappaleen pinnan täytyy olla sekä puhdas että kuiva, pois lukien vettä syrjäyttävät ruosteenestoaineet tai sellaiset emulsiot, jotka syrjäyttävät vettä ja voidaan näin olleen levittää kosteallekin pinnalle. Jotta kalvo toimisi oikein, sen tulisi olla tasainen ja yhtenäinen. Liuottimia sisältäviä aineita käytettäessä suojattavaa kappaletta ei saa käsitellä suojauksen jälkeen ennen kuin liuotin on haihtunut ja kalvo on muodostunut kunnolla. Mahdollisia levitysmenetelmiä käytettävistä aineista riippuen ovat muun muassa:

- kastaminen
- ruiskuttaminen
- siveltimellä tai harjalla levittäminen. (Alén et al. 1980, s. 19)

Kastaminen soveltuu kaikille muille aineille paitsi ruosteenestorasvoille. Tuotteista kastamiseen soveltuvat ne, jotka suojataan kokonaan ja voidaan näin ollen upottaa kokonaisuudessaan ruosteenestoaineeseen. Kastamisen hyvä puoli on siinä, että suojauksesta saadaan tasainen ja aukoton, ja ruosteenestoaine pääsee tunkeutumaan suojattavan kappaleessa oleviin koloihin tai rakoihin. Kastaminen tapahtuu usein esimerkiksi altaassa tai säiliössä, jossa on pohjassa tyhjennyshana. Ruostesuoja-aineen sekoitusta altaassa pitäisikin välttää, jotta kappaleista mahdollisesti irtoavat epäpuhtaudet voivat laskea pohjalle ja sieltä edelleen tyhjennyshanan kautta pois säiliöstä. Altaassa olevan nesteen lämpötila on käytettävästä nesteestä riippuen välillä 50 °C – 95 °C. (Alén et al. 1980, s. 19-21)

Ruiskutukseen voidaan käyttää juoksevia korroosionestoaineita, kuten nesteitä tai öljyjä. Jotta suojakalvosta saadaan tasainen ja yhtenäinen, ruiskutettaessa täytyy olla hyvin huolellinen. Nesteitä ei saa laimentaa ruiskutusta varten vaan niitä käytetään sellaisinaan. Ruiskutusvälineinä käytetään yleensä joko matala- tai korkeapaineruiskuja, tai aerosolipakkauksia. Matalapaineruiskut ovat käytettäessä halpoja ja yksinkertaisia. Niitä käytettäessä on huomioitava, ettei käytettävässä paineilmassa ole mukana vettä tai öljyä. Korkeapaineruiskut sumuttavat matalapaineruiskuja vähemmän, jolloin niistä aiheutuu pienempi vastapaine suljetuissa rakenteissa tai ahtaissa tiloissa. Tällöin vaikeasti käsiteltäviin osiin saadaan varmempi suoja. Aerosolipakkaukset ovat usein mukavia ja helppoja käyttää mutta isoja aloja suojattaessa ne tulevat usein myös kalliimmaksi. (Alén et al. 1980, s. 21)

Sivellintä tai harjaa käytetään useimmiten ruosteenestorasvojen levitykseen mutta menetelmä soveltuu myös nesteille ja öljyille. Levittäminen ottaa usein jonkin verran aikaa suojattavan kappaleen pinta-alasta riippuen ja siinä tulee olla huolellinen, jotta kalvon pinnasta saadaan tasainen ja yhtenäinen. Levitykseen käytettävän harjan tai siveltimen tulisi olla kestävä ja suhteellisen pehmeä, sillä liian kova harja voi jättää kalvoon juovia, jotka vaikuttavat lopputulokseen negatiivisesti. (Alén et al. 1980, s. 21)

Sopivaa levitystapaa pohdittaessa kannattaa kiinnittää huomiota ainakin seuraaviin tekijöihin:

- suojattavan kappaleen koko ja muoto
- suojattavien kappaleiden lukumäärä
- käytettävän ruosteenestoaineen tyyppi (muun muassa viskositeetti ja kuivumisaika)
- suojaukseen tarvittavat välineet
- kustannukset. (Alén et al. 1980, s. 22)

Mikäli kappaleen kaikki pinnat suojataan kokonaisuudessaan, kastaminen on monesti sopivin vaihtoehto. Tällöin kappaleen tulee kuitenkin olla kooltaan sellainen, että sen käsittely säiliössä tai altaassa on mahdollista. Menetelmän hyviä puolia ovat sen yksinkertaisuus, nopeus ja taloudellisuus, ja lisäksi suojausteho on usein hyvä, kun kalvosta saadaan tasainen ja yhtenäinen. Kun suojattava kappale on isokokoinen, käytetään suojaukseen yleensä ruiskutusta. Suoja-aineen levitystä siveltimellä tai harjalla tehdään usein silloin, kun suojattavia kappaleita on kerrallaan vähän tai kun kappaleita suojataan vain osittain. (Alén et al. 1980, s. 22)

4.5.4 Kalvon muodostavien korroosionestoaineiden poistaminen

Kun puhutaan tilapäisestä korroosiosuojauksesta, suojaus on monesti myös poistettava kappaleen pinnasta ennen seuraavaa työvaihetta. Seuraavasta työvaiheesta riippuen, puhdistettavan pinnan puhtausvaatimukset saattavat vaihdella. Usein korkeimmat pinnan puhtausvaatimukset ovat tuotteilla, joille vielä myöhemmässä vaiheessa suoritetaan pysyvämpi pintakäsittely, kuten esimerkiksi emalointi, lakkaus tai pinnoitus toisella metallilla. (Alén et al. 1980, s. 22)

Alén et al. (1980, s. 22) mainitsee useimpiin menetelmiin sopivaksi puhdistustavaksi tri-rasvanpoiston (trikloorietyleeni) tai alkalisen puhdistuksen. Työterveyslaitos (2007) pitkää tri-puhdistusta kuitenkin melko haitallisena menetelmänä työntekijän terveydelle, jolloin suosituksena on, että puhdistukseen käytettäisiin mieluummin alkalisia vesiliuoksia, kuten natriumhydroksidin, kaliumhydroksidin, natriumkarbonaatin tai inatrium-metasilikaatin vesiliuoksia tai niiden seoksia. Tri-rasvanpoisto tapahtuu usein höyrypesemällä, ruiskuttamalla tai upottamalla kappale kyseiseen nesteeseen. Alkaliset puhdistusaineet toimivat parhaiten lämmitettyinä noin 60°C-90°C:een. (Työterveyslaitos 2007, s. 3, 7)

Näiden pesujen lisäksi on mahdollista käyttää myös emulsiopesuaineita, orgaanisia hiilivetyliuottimia, kloorattuja hiilivetyliuottimia, alkoholeja tai näiden aineiden seoksia. Liuottimia käytettäessä tulisi kohdepoiston olla kunnossa sekä työntekijöillä käytössään naamari ja roiskeilta suojaavat välineet ja vaatteet. Vesiemulsioiden käyttöä suositellaan, mikäli ne sopivat poistettavan korroosionestoaineen poistamiseen, sillä ne vähentävät liuotinaineille altistumista. (Työterveyslaitos 2007, s. 3)

Suojatun kappaleen koosta ja tulevista pintakäsittelyistä riippuen, myös pelkkä rätillä pyyhkiminen voi poistaa suoja-ainetta tarvittavasti, jolloin pesuaineita ei välttämättä tarvita. Monesti edes vähäinen liuottimen, esimerkiksi lakkabensiinin, käyttö helpottaa kuitenkin poistotyötä. Riippuen suojattavista tuotteista, esimerkiksi laakerit ja vaihde-laatikot, voi olla, että suojausta ei tarvitse ollenkaan poistaa, mikäli suoja-aine toimii myös voitelevana aineena. Tällöin on kuitenkin huomioitava, että mikäli suojaus on

vahingoittunut esimerkiksi varastoinnin tai kuljetuksen aikana, se tulee poistaa ja kappale täytyy suojata uudestaan. (Alén et al. 1980, s. 22-23)

4.5.5 Tuotteen suojaaminen pakkauksen avulla

Pakkauksia käytetään suojaamaan tuotetta varastoinnissa ja kuljetuksissa niin ilmastollisia kuin mekaanisia rasituksia vastaan. Varastoinnissa pakkauksen käyttöä voi pitää aiheellisena silloin, kun varastointiolosuhteet ovat yksinkertaiset. (Alén et al. 1980, s. 24) Tällaisia korroosion muodostumiselle alttiita tiloja ovat esimerkiksi ulkovarastot, katetut ulkovarastot tai normaalia huoneenlämpötilaa viileämmät sisävarastot.

Kuivausaineita käytetään pienentämään suhteellista kosteutta pakkauksen sisällä, koska kosteutta tunkeutuu aina pakkaukseen. Se, miten nopeasti kosteus pakkauksen sisälle pääsee, riippuu käytössä olevasta kosteussulusta. Kuivausaineen tarkoituksena on imeä itseensä pakkauksen sisälle jäänyt kosteus sekä sinne tunkeutuva kosteus. Markkinoilla on saatavissa erilaisia kuivausaineita kuten esimerkiksi silikageeliä. Silikageeli koostuu kovista rakeista, joiden sisällä kulkee paljon pieniä kanavia. Se imee ympäröivän kosteuden itseensä kapillaari-ilmion avulla. Silikageeliä käytettäessä on huomioitava seuraavat tekijät aina tapauskohtaisesti:

- pakkaukseen tunkeutuvan vesihöyryn nopeus
- kosteussulkumateriaalin pinta-ala
- kuljetus ja varastointiaika
- ilmasto
- pakatun tuotteen kosteuspitoisuus (esimerkiksi pakkauksen sisällä olevan paperin määrä). (Alén et al. 1980, s. 24)

Alén et al. (1980) esittää laskukaavan, jolla pakkaukseen tarvittavan silikageelin määrä voidaan laskea:

$$G = 40 \times R \times Y \times M + \frac{D}{2} , \quad (8)$$

jossa G on silikageelin määrä grammoina, R on sisään tunkeutuvan vesihöyryn määrä grammoina/m² vuorokaudessa, Y on kosteussulun pinta-ala m²:nä, M on kuljetus- ja varastointiaika kuukausina ja D on kosteutta luovuttavan materiaalin (esimerkiksi pakattu paperi) määrä grammoina. (Alén et al. 1980, s. 25)

Kuivausaineiden sijaan pakkauksissa voidaan käyttää myös korroosionestoaineita, joita ovat muun muassa korkean höyrynpaineen omaavat kaasufaasi-inhibiitit. Käytössä niiden muodostama höyry sitoutuu metallipinnalle estäen korroosiota. Kaasufaasi-inhibiitit koostuvat useista eri höyrynpaineen sisältävistä komponenteista. Eri komponentteja käytettäessä hyötyinä on välitön suojavaikutus sekä pidempiaikainen teho pakatun tuotteen korroosionestossa. (Alén et al. 1980, s. 26; Fontana et al. 1978, s. 199) Kaasufaasi-

inhibiiteistä käytetään usein englannin ja amerikanenglannin lyhenteitä VPI (Vapour Phase Inhibitor) ja VCI (Volatile Corrosion Inhibitor). (Alén et al. 1980, s. 26)

Koska VCI:t ovat haihtuvia, ne pystyvät suojaamaan kaasun muodostumiskohdasta jopa 30 cm:n päässä olevia kohteita. Ne voivat tunkeutua myös kappaleissa oleviin kapeisiin rakoihin ja onkaloihin. VCI:t voidaan levittää metallipinnalle pulveroimalla, ruiskuttamalla tai vaihtoehtoisesti pakkauksen sisällä voidaan käyttää inhibiittejä sisältäviä puseja. Myös yksi tavallisesti käytetty tapa on pakata tuote paperiin, joka on kyllästetty tai päällystetty inhibiiteillä. Tällöin inhibiittien antama suoja jakautuu tasaisesti pakkauksessa. Kyllästetyn ja päällystetyn paperin ero on siinä, että kyllästetty paperi vaikuttaa suojaavasti molemmilta puoliltaan, päällystetty paperi vain toiselta puolelta. (Alén et al. 1980, s. 26)

Inhibiittien vaikutusaika on riippuvainen pakkausta ympäröivästä lämpötilasta ja pakkauksen tiivyydestä. Inhibiittien haihtumisnopeus kasvaa lämpötilan ollessa korkea, jolloin niiden suojausaika lyhenee. Huoneenlämpötilassa ohuiden, yksinkertaisten papereiden suojausaika on tavallisesti alle vuoden, mutta esimerkiksi pahvilaatikon käyttö pakkauksessa varsinaisen pakkauspaperin lisäksi voi lisätä suojausaikaa jopa pariin vuoteen. Lisäksi käytettäessä polyeteeni- tai bitumivahvistettua paperia suojausaika voi olla jopa 10 vuotta. (Alén et al. 1980, s. 26)

Jotta korroosionestopaperin vaikutus olisi mahdollisimman tehokas, tulisi huomioida pakkausta suunniteltaessa seuraavat asiat:

- Pakkauksen sisällä oleva juokseva vesi haittaa suojauksen tehoa, kun taas suhteellisen kosteuden ollessa korkeakin suojaava vaikutus normaalisti säilyy ennallaan.
- Pakkauksessa käytettävät tukipalikat tai välipuut tulee peittää korroosionestopaperilla, jolla estetään suora kosketus metallin ja puun välillä.
- Kuivausainetta, kuten esimerkiksi aiemmin mainittua silikageeliä, ei saa käyttää yhdessä VCI-tuotteiden kanssa, koska kuivausaine sitoo osan VCI:n muodostamasta kaasusta.
- Korroosionestopapereissa ei saa olla rasva- tai öljytahroja, koska ne huonontavat inhibiittien haihtumista. (Alén et al. 1980, s. 26)

4.5.6 Sähkölaitteiden komponenttien suojaus korroosiolta

Korroosion suhteen sähkölaitteiden komponentit ovat alttiimpia vedelle ja ympäristön korkealle kosteuspitoisuudelle (Alén et al. 1980, s. 43; Hienonen et al. 2007, s. 12). Näiden vaikutus on havaittavissa kasvavina liitosten kontaktiresistansseina ja johdinten välisinä vuotovirtoina sekä materiaalien rappeutumisena, jotka ilmenevät toiminnallisina vikoina, lisääntyneenä sähkömagneettisena häiriintymisenä ja ulkonäöllisesti rumina

pintoina. Sähkölaitteiden komponenteissa pienikin korroosion määrä voi johtaa laitteen toimimattomuuteen. (Hienonen et al. 2007, s. 12)

Näissä komponenteissa voidaan harvemmin käyttää kalvon muodostavia korroosiones-toaineita, jolloin suojauksessa keskitytään pakkauksen suunnitteluun (Alén et al. 1980, s. 44). Esimerkiksi jotkut liuottimet tuhoavat muovisia osia, kun liuotin aiheuttaa muo- vissa jännityssäröilyä tai liuottaa muovia. Rasvamaisia aineita käytettäessä muovi saat- taa turvota ja menettää mekaanisen lujuutensa. Pehmennyt muovi imee itseensä myös muun muassa vettä, mikä osaltaan kasvattaa korroosioriskiä. (Hienonen et al. 2007, s. 53)

Sähkölaitteiden komponenttien osalta korroosiosuojaus toteutetaan pääosin pakkauksil- la, jolloin pakkaukset suunnitellaan olosuhteisiin sopiviksi. Laitteet voidaan suojata esimerkiksi pakkaamalla ne hyvin suljettuun eteeni- tai polyeteenikalvoon. Tällöin lait- teen sisäpuolelle asennetaan usein jotain kosteutta imevää materiaalia, kuten esimerkiksi aiemmissa pakkaustavoissa mainittua silikageeliä. (Alén et al. 1980, s. 44, Hienonen et al. 2007, s. 92)

Sähkölaitteiden ja niiden komponenttien kosteuden- ja korroosionestoon voidaan sovel- taa seuraavia periaatteita:

- Laite tai komponentti suljetaan ilmatiiviiseen pakkaukseen ja pakkauksen sisällä oleva kosteus poistetaan, jotta kuljetuslämpötiloissa ei tapahdu kondensoitumis- ta tai huurtumista.
- Laite tai komponentti suljetaan puolitiiviiseen pakkaukseen ja sisäpuolelle asen- netaan ilmaa kuivaavia aineita ja/tai korroosioinhibiittoreita.
- Laitteet tai komponentit pakataan pahvi- tai kartonkipakkauksiin, jotka on kyl- lästetty korroosioinhibiittoreilla.
- Laitteet tai komponentit pakataan puumassaan perustuviin pakkausmateriaalei- hin,

joista ainakin toisen kohdan menettelyllä pystytään melko hyvin varmistamaan laittei- den säilyvyys kuljetuksen ja varastoinnin aikana. (Hienonen et al. 2007, s. 92)

4.5.7 Suoja-aineiden ja pakkausten testausmenetelmät

Suoja-aineiden ja pakkausten suhteen on olemassa erilaisia testausmenetelmiä. Niin sanotut kenttäkokeet todenmukaisissa olosuhteissa antavat usein totuudenmukaisimmat tulokset aineiden tai pakkausten käytön suhteen, mutta tulosten saaminen on usein hi- dasta. Puolestaan laboratoriossa suoritettavat pitkäaikaiskokeet antavat pienimmän ha- jonnan, mutta nekin vaativat aikaa ja kustannustasoltaan ne eivät ole edullisimpia to- teuttaa. Monesti testaamiseen sovelletaankin kiihdytettyjä kokeita, joissa koeolosuhteik-

si muodostetaan sellainen ympäristö, jossa tuote joutuu todennäköisesti todellisissa olosuhteissa olemaan. (Alén et al. 1980, s. 33; Hienonen et al. 2007, s. 100-101)

Standardissa SFS-EN ISO 9227 kuvaillaan menetelmä suolasumutestin toteuttamiseen. Testillä pyritään simuloimaan merellä ja rannikoilla vallitsevia olosuhteita. Siinä kerrotaan muun muassa käytettävän suolasumun natriumkloridipitoisuus sekä suolasumukammion laitteistolle ja koekappaleille asetettavat vaatimukset. Suolasumukoe voidaan tehdä pääsääntöisesti kaikille metalleille ja niiden seoksille. Suositeltavat testiajat ovat 2 h, 6 h, 24 h, 48 h, 96 h, 168 h, 240 h, 480 h, 720 h ja 1000 h, lämpötilan ollessa tasainen (yleensä noin 35 °C). Testi suoritetaan suihkuttamalla testattavien kappaleiden päälle suolasumua jatkuvasti. Testituloksia arvioidaan pääsääntöisesti vertaamalla kappaleen ulkonäköä ennen ja jälkeen testin korroosionestoaineen ollessa kappaleen pinnassa sekä ilman korroosionestoainetta, sekä punnitsemalla kappaleen massan muutos. Tuloksia voidaan arvioida myös tekemällä kappaleelle mikrorakennetutkimus tai tutkimalla sen mekaanisten ominaisuuksien muutoksia. Suolasumukoe sopii hyvin, kun tarkoituksena on analysoida orgaanisten tai epäorgaanisten pinnoitteiden epäjatkuvuuskohtia, huokosia tai vaurioita. Sillä ei kuitenkaan pystytä tarkasti ennustamaan eri pinnoitteiden käyttäytymistä pitkällä ajanjaksolla, koska käytännön korroosiorasitukset eroavat monesti testauksessa vallitsevista korroosiorasituksista. (SFS-EN ISO 9227 2012)

Kosteuden vaikutuksien tutkimiseksi on olemassa useampiakin eri testejä. Niille ominaista on kuitenkin se, että tutkittavat kappaleet asetetaan kammioon tai säiliöön, jonka kosteuspitoisuutta ja lämpötilaa voidaan säädellä. Testien kestoajat vaihtelevat muutamasta päivästä viikkoihin tai kuukausiin. Mikäli kosteuden vaikutuksien lisäksi halutaan tutkia myös mahdollisia teollisuudesta aiheutuvia päästöjä (esimerkiksi rikkidioksidipäästöt), voidaan kammioon tai säiliöön syöttää kosteuden lisäksi myös kaasuja. Myös pelkät kaasutestit ovat mahdollisia. (Alén et al. 1980, s. 33; Hienonen et al. 2007, s. 101-102)

Säätetit ovat myös yksi testausvaihtoehto, mikäli halutaan tutkia ilmastollisen korroosion vaikutuksia nopeutetusti. Sääkaappikokeissa stimuloidaan erilaisia sääolosuhteita, kuten lämmintä, kylmää, kosteata ja auringosta tulevaa UV-säteilyä (Alén et al. 1980, s. 33). Auringon UV-säteily on merkittävä tekijä erilaisten pintojen syöpymisessä ulkotiloissa, sillä se vahingoittaa kaikkia pintoja ja materiaaleja (Hienonen et al. 2007, s. 112).

Suosittelavinta on siis suorittaa testaukset kenttäolosuhteissa, koska silloin olosuhteet ja ympäristö ovat totuudenmukaisimmat. Haastavana näin suoritettavissa testeissä on kuitenkin yleisesti pitkät testiajanjaksot tuotteiden varastointi- ja kuljetusajoista riippuen (Alén et al. 1980, s. 33; Hienonen et al. 2007, s. 101). Lisäksi mikäli käytössä on useampia eri kuljetustapoja, kuten kuorma-auto, laiva tai lentokone, mahdollisimman todennukaisen tuloksen saamiseksi olisi kaikkia tapoja hyvä testata. Kuljetuspakkauksien toimivuutta testattaessa todennäköisesti todennukaisiin testituloksiin saadaan tekemällä,

mielellään useampia, koelähetyksiä ja pyytämällä arviota pakkauksen kunnosta ja toimivuudesta sen vastaanotto paikasta (Alén et al. 1980, s. 35).

4.5.8 Suojausmenetelmän valintaan vaikuttavia huomioita

Aiemmissä alaluvuissa on esitelty eri suoja-aineita ja suojaustapoja, joiden sopivuutta omiin toimintatapoihin on hyvä pohtia, kun päätetään käytettävistä korroosionestomenetelmistä. Suojaamisen tarve vaihtelee valmistuksen, varastoinnin ja kuljetuksen välillä, jolloin suojaus voidaan suorittaa kunkin osa-alueen tarpeen mukaan. Kuitenkin olisi hyvä huomioida, että suoja-aineita olisi käytössä vain muutama erityyppinen aine kerrollaan ja suojausmenetelmät olisivat mahdollisimman yhtenäiset ainakin osastojen sisällä. Suojausmenetelmiä ja suoja-aineita valittaessa suojauksia tekevä henkilökunta täytyy kouluttaa aineiden ja menetelmien käyttöön, jotta he osaavat käyttää niitä työssään oikein ja ymmärtävät niiden tärkeyden, jolloin vältetään korroosiovaurioiden synty epätietoisuuden tai osaamattomuuden takia. (Alén et al. 1980, s. 36)

Valmistuksen aikana suojaustarve on melko vähäinen johtuen siitä, että valmistus tapahtuu usein lämpimissä ja kuivissa sisätiloissa. Varsinkin valmistuksen alkuvaiheessa kun tuotteita vielä työstetään, mahdolliset ruostevauriot voidaan usein poistaa myöhemmissä työvaiheissa. Valmistuksen loppuvaiheessa suojauksen tarve saattaa lisääntyä mutta silloinkin tulee huomioida seuraava työvaihe ja suorittaa suojaus mielellään niin, että sitä ei tarvitse poistaa seuraavassa työvaiheessa tai sen poistaminen aiheuttaisi mahdollisimman vähän vaivaa. Esimerkiksi koneistuksessa voidaan käyttää työstönesteisiin sekoitettavaa ruosteenestoainetta. (Alén et al. 1980, s. 36)

Varastoinnissa ja kuljetuksessa suojausajan pituus on monesti huomattavasti pidempi kuin valmistuksen aikana, jolloin suojaustavan valintaan joudutaan kiinnittämään enemmän huomiota. Varastoinnissa ero on suuri jo silloin, kun puhutaan sisä- tai ulko-varastoinnista. Sisävarastoa voidaan parantaa nostamalla sen lämpötilaa tai poistamalla kosteutta, toisin kuin ulko-varastoa. Ulkona voidaan varastoida pääsääntöisesti työstämättömiä aihioita, joista ruostevauriot pystytään poistamaan tehtävissä työvaiheissa. Ulkona varastoitavat tuotteet kannattaa kuitenkin mahdollisuuksien mukaan sijoittaa kylmävarastoon tai katettuun varastoon. Aihioita ei olisi hyvä kuitenkaan varastoida kosketuksissa maanpintaan ja sadesäällä ne olisi hyvä peittää ohuella peitteellä. Kuljetuksissa suojaustarve vaihtelee monesti kuljetustavan ja kuljetuksen keston mukaan, jolloin käytettävien suoja-aineiden lisäksi myös pakkauksiin on kiinnitettävä erityistä huomiota esimerkiksi sen suhteen, että valitaanko tavallinen pahvilaatikko tai puukehikko, vai käytetäänkö lisäksi kaasufaasi-inhibiittituotteita antamaan tuotteille lisäsuojaa. (Alén et al. 1980, s. 37-38)

5. TEHTAIDEN TOIMINTATAPA KORROOSIOSUOJAUKSESSA

Kappaleessa 2 esiteltiin lyhyesti Hyvinkään tehtaat ja niiden valmistamat tuotteet. Käytännössä komponentit valmistetaan sekä vaihde-, komponentti- ja sähkölaitetehtailla, joista ne joko kuljetetaan lähettämöön ja edelleen seuraavaan tuotantovaiheeseen tai asiakkaalle, tai vaunutehtaalle. Tässä luvussa käsitellään tarkemmin korroosiosuojausmenetelmiä, jotka ovat käytössä suojattaessa köysiteloja, vaihteita ja RTG-nosturin sähköhuoneita.

5.1 Köysitelojen suojaus

Köysitelat valmistetaan komponenttitehtaalla joko levy- tai putkiaihiosta. Levyaihioita säilytetään pääasiassa tehtaan edustalla olevassa varastossa, joka on lämmittämätön sisävarasto, tai tehtaassa sisällä. Putkiaihiot säilytetään puolestaan ulkona, jossa ne ovat puupalikoiden päällä tai suorassa maakosketuksessa, kuten kuvasta 5.1 käy ilmi.



Kuva 5.1. Köysitelojen putkiaihioita varastoidaan komponenttitehtaan edustalla.

Koska aihiot ovat ilman katetta tai suojaa, ne ruostuvat ilmaston vaikutuksesta hyvinkin nopeasti. Kyse on kuitenkin tasaisesta ruosteesta, joka lähtee aihiosta sorvauksessa, jolloin pinnalle syntynyt ruoste ei vaikuta työstöön muuten kuin pölyämällä koneistuksen aikana. Kun puhutaan levyaihioista, ne eroavat putkiaihiosta niin, että ne taivute-

taan ja hitsataan pituussaumalla kiinni ennen sorvausta. Levyaihiot ruostuvat ennen sorvausta harvemmin, jos koskaan, kun ne säilytetään joko lämmittämättömässä sisävarastossa tai sisällä tehtaassa.

Sorvauksen jälkeen putkeen hitsataan päätylaipat, minkä jälkeen putkea saatetaan vielä tarvittaessa sorvata uudelleen. Tiettyjä köysiteloja vielä koneistetaan koneistuskeskuksessa tämän jälkeen, jolloin viimeinen työvaihe on tela-asennusvaihe. Siinä teloihin kiinnitetään muun muassa laakerit ja köysilukot sekä tehdään tarvittavat korroosiosuojaus- ja maalaustoimenpiteet. Kaikki köysitelat suojataan lähes identtisesti. SM-vaunujen köysiteloille on yrityksessä tehty suunnittelijan toimesta ohjeistus korroosiosuojauksen suhteen, jossa osat on ohjeistettu suojaamaan seuraavasti:

- Köysitelan päätylaipat suojataan Tectyl 122-A -suoja-aineella.
- Köysitelan urat ja muut koneistetut pinnat suojataan joko CRC Soft Sealilla, Tectyl 506:lla tai Dinitrol 112:lla. (Paajanen 2008, s. 5)

Tectyl 122-A on orgaaninen, vahamainen ja väriltään musta ruosteenestoaine, jota käytetään muun muassa autojen pohjien massaukseen. Levityksen jälkeen sen täydellinen kuivuminen kestää noin 24 tuntia ja valmistajan mukaan sen kesto suolasumutestissä on 40 päivää (eli 960 tuntia), kun 35 °C:ssa suihkutetaan vettä, joka sisältää 5 % natriumkloridia. Lämpötilan ollessa 40 °C ja suhteellisen kosteuden arvon ollessa 100 % (ilman suolasumua), aineen kestoajaksi ilmoitetaan 100 päivää. Tuotteen VOC-pitoisuus on 362 g/l. Tuote voidaan levittää joko suihkuttamalla tai sivelemällä ja poistamiseen suositellaan käytettäväksi lakkabensiiniä tai muuta liuotinta, alkalipuhdistusta tai höyrypuhdistusta. (Valvoline 2006, s. 1)

Käytännössä köysitelan urat suojataan tuotannossa CRC SP 400 II:lla, joka on vahamainen, kellanruskean värinen ruosteenestoaine. Aineen kuivumisaika on 1-2 tuntia ja tuoteselosteen mukaan aine kestää sekä suolasumutestissä että suhteellisen kosteuden testissä 60 päivää vaurioitumattomana. (CRC Industries Europe bvba 2012, s. 1-2) Ainetta myydään sekä aerosolipulloissa että nestemäisenä kanisterissa tai tynnyrissä, ja aerosolina tuotteen VOC-pitoisuus on 530 g/l ja nestemäisenä 460 g/l (CRC Industries Europe bvba 2013 (1), s. 7; CRC Industries Europe bvba 2013 (2), s. 6). Tuote voidaan poistaa käyttämällä petrolipohjaista liuotinta (CRC Industries Europe bvba 2012, s. 1).



Kuva 5.2. Köysitelat, joissa köysiurat ja putken koneistetut pinnat on suojattu CRC SP 400 II:lla ja päätylaipat on maalattu.

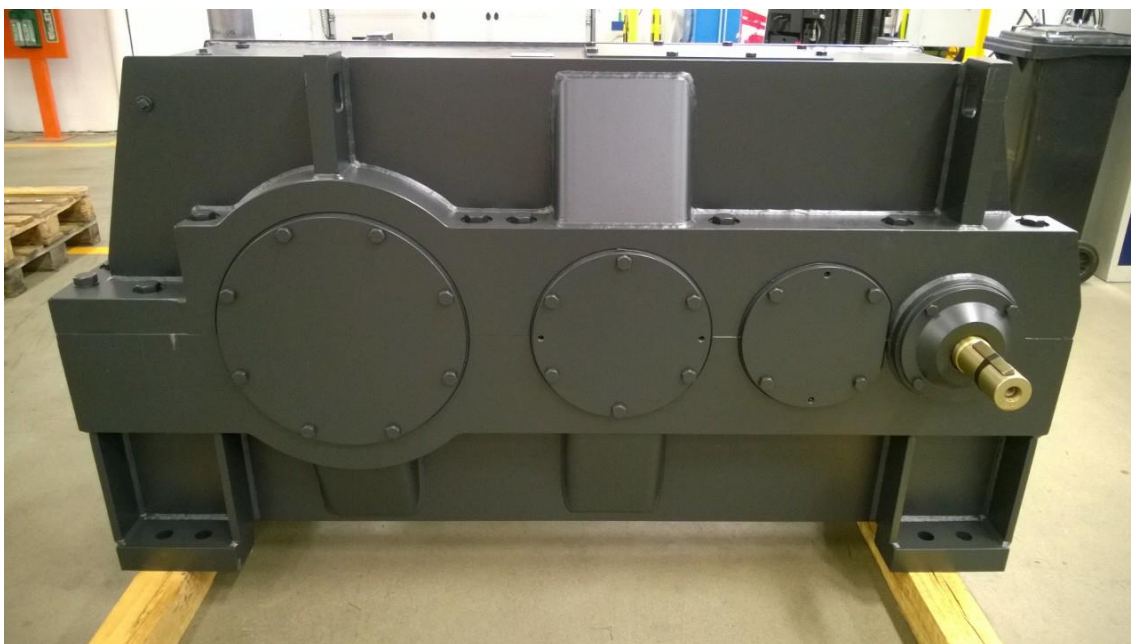
Lähes kaikki köysitelat suojataan kyseisillä aineilla. Poikkeuksen tekevät satamanostureissa käytettävät köysitelat, joissa päätylaipat maalataan, ja GL-telat, joissa köysitelan keskellä oleva kaapeliura myös maalataan. Vaatimukset telan suojaukselle tehdään yleensä projektikohtaisesti, jolloin myös muissa köysiteloissa päätylaippoja voidaan maalata, kuten kuvassa 5.2. Suojaustavat ja aineet ovat kuitenkin samat riippumatta siitä, miten pitkä varastointi- tai kuljetusaika tuotteella on. Köysiteloja ei normaalisti tarvitse puhdistaa ennen suoja-aineiden levitystä, koska niitä ei viedä tehtaasta ulos työvaiheiden välillä ja ne kulkeutuvat tela-asennusvaiheeseen melko tyypillisesti päivänparin sisään, kun muut työvaiheet on saatu tehtyä. Tämän vuoksi niissä ei käytetä eri valmistusvaiheiden välilläkään mitään erityistä suoja-ainetta. Suoja-aineet levitetään köysiteloihin sivellintä tai isoa sutia käyttämällä. Aiemmin SP 400 II:sta levitettiin myös aerosolipullosta, mutta pullojen käyttöä on pyritty vähentämään aineen pölyämisen takia. Nestemäistä ainetta käyttämällä ilmaan ei päädy varsinaisia hiukkasia, jotka kulkeutuisivat hengitysteihin.

5.2 Vaihteiden suojaus

Vaihteiden valmistukseen kuuluu vaihdekoteloiden koneistus, jossa käytössä on sekä valurauta- että teräskoteloita, jotka tulevat alihankinnasta. Lisäksi vaihdetehtaalla koneistetaan vaihteen sisälle tulevat akselit ja hammaspyörät, sekä lopuksi kokoonpannaan vaihteet. Korroosiosuojaus tehdään vaihteiden loppukokoonpanossa, jonne osat toimitetaan koneistettuina ja osa karkaistuina sekä kotelot maalattuina. Kokoonpanon jälkeen vaihteet joko toimitetaan lähettämöön alihankkijan pakattaviksi tai vaunutehtaalle vau-

nujen kokoonpanoon. Pienempiin vaihteisiin moottorit asennetaan jo vaihdekokoonpanossa.

Kotelot koneistetaan ja maalataan vaunutehtaan tiloissa, mutta koska vaunu- ja vaihde-
tehdas sijaitsevat vierekkäin, ne saadaan siirrettyä lyhyellä kuljetusmatkalla (noin 20
metriä) vaihdetehtaalle. Kotelot pestään kuitenkin vielä pesukoneessa ennen loppuko-
koonpanoa. Muuten kaikki koneistetut osat sijaitsevat vaihdetehtaalla, ellei osia teetetä
alihankinnassa. Pieni osa vaihdetehtaan kokoonpanosta toimii myös komponenttitehtaan
tiloissa, joka vaunutehtaan tavoin sijaitsee vaihdetehtaan vieressä, jolloin osien kuljetus
sinnekin on nopeaa.



Kuva 5.3. LNS-siirtovaihte, jossa ulkoneva akseli on suojattu CRC SP 400 II:lla.

Vaihdetehtaalla vaihteiden osista korroosiosuojataan kokoonpanon jälkeen ne osat, jotka jäävät näkyviin vaihteen ulkopuolelle, kuten kuvassa 5.3. olevassa LNS-siirtovaihteessa on tehty. Kuten köysiteloissa, vaihteissakin suojaustapa ja suoja-aineet ovat samat. Esimerkiksi akseleiden koneistetut pinnat suojataan CRC SP 400 II:lla, sillä suojauksesta ei saa jäädä paksua kerrosta tulevia asennuksia ja liitoksia varten, ja joissain tapauksissa suojaus joudutaan poistamaan ennen seuraavaa asennusvaihetta. Vaihdetehtaalla käytetään aerosolipakkausta, koska suojattavat alueet ovat monesti pieniä ja helposti suojattavissa suihkuttamalla. Työntekijöillä ei ole kuitenkaan käytössä hengityssuojaimia suihkutuksen aikana. Tectyl 122-A:ta levitetään joihinkin akselin kohtiin silloin tällöin, mutta levitys on hyvin työntekijäkohtaista ja satunnaista.

5.3 RTG-nostureiden sähköhuoneiden suojaus

RTG-nosturin sähköhuone näkyy kuvassa 5.4. Sähköhuoneet kokoonpannaan sähkölaitetehtaalla. Koska kyseessä on umpinainen tuote, varsinaisia korroosiosuojausmenetelmiä ei ole käytössä.



Kuva 5.4. RTG-nosturiin kuuluva sähköhuone kokoonpantuna (Zerust Oy 2015, s. 3).

Sähköhuoneissa korroosio-ongelmia on ollut silloin tällöin joidenkin sähkölaitteiden komponenttien kanssa, jotka ovat hajonneet ennen käyttöönottoa ilmankosteuden tai korroosion vaikutuksesta.

5.4 Vaunujen ja komponenttien pakkaus ja kuljetus

Kun vaunut ja komponentit lähtevät valmistuksesta joko asiakkaalle tai alihankkijalle kokoonpanoon, ne pakataan huolellisesti. Tällöin pienemmät vaunut, sähköhuoneet, vaihteet, koneistot ja köysitelat pakataan puiselle lavalle tai alustalle, johon päälle laitetaan keltainen Zerust VCI-kalvo (Volatile Corrosion Inhibitor, korroosionestoinhibiitti), joka kutistetaan tuotteiden päälle. Tällä tavalla pakattu vaunu on kuvassa 5.5. Joissain pakkauksissa päällimmäiseksi kiinnitetään vielä kirkasmuovinen kalvo. Isoimmat vaunut (esimerkiksi RTG-vaunu) pakataan niin, että tietyt komponentit (muun muassa vaihteet) suojataan Zerust-kalvolla mutta muuten koko vaunun päälle asennetaan tavallinen suojapeite (pressu). VCI-kalvon tarkoitus on vapauttaa sen sisällä olevaan tilaan kaasumaisia inhibiittejä, jotka hakeutuvat osien metallipinnoille suojaten näitä ruostumiselta (Saarinen 2014).



Kuva 5.5. Kuljetusta varten puulavalle pakattu ja Zerustin VCI-kalvolla suojattu vaunu.

Hyvinkään yksikössä alihankkija hoitaa vaunu- ja komponenttipakkausten edelleenlähteyksen. Pakattuja tuotteita toimitetaan käytännössä ympäri maapalloa, jolloin toimitusajat ovat hyvinkin vaihtelevia. Toimitustavat on jaoteltu neljään eri ryhmään aikajärjestyksessä nopeimmasta toimitustavasta alkaen: courier, road, air3 ja seافر. Courier-kuljetustavalla tuotteet toimitetaan 1-5 päivässä, jolloin monesti puhutaan lentorahdista. Kuljetustavan korkean hinnan takia lentorahtia käytetään silloin, kun tuote on saatava asiakkaalle mahdollisimman nopeasti, jolloin kyseistä toimitustapaa vältetäänkin viimeiseen asti. Mikäli toimitusosoite on lähellä, voidaan jotain muutakin halvempaa kuljetustapaa käyttää riippuen siitä, miten tuote saadaan nopeimmin vastaanottajalle. Road-kuljetukset tapahtuvat maateitse Eurooppaan, jolloin kuljetusaika on enintään viikko. Air3-kuljetukset tapahtuvat lentoteitse kuitenkin niin, että toimitustapa on hitaampi kuin courier, jolloin on mahdollisuus toimittaa tuotteet perille halvemmalla, kun voidaan valita hitaampi lentorahti. Toimitusaika on noin 1 viikko. Seافر-toimitustavalla tarkoitetaan pääosin meriteitse tapahtuvaa kuljetusta. Tällöin tuotteet kuljetetaan ensin tehtaalta kuorma-autoilla satamaan joko Suomeen tai muualle Eurooppaan, jossa ne lastataan laivaan. Mikäli tuotteet toimitetaan Etelä- tai Pohjois-Amerikkaan, kuljetuksen kesto on tavallisesti 4-5 viikkoa. Jos tuotteet toimitetaan Aasiaan, toimitusaika on pisimmillään 7-8 viikkoa. (Kakko 2012)

6. SUOJAUSMENETELMIEN KEHITYS JA KORROOSIOSUOJA-AINEIDEN TESTAUS

Työssä lähdettiin liikkeelle siitä, että pyrittiin selvittämään vaunu- ja komponenttitehtaiden valmistamien köysitelojen ja vaihteiden korroosiosuojauksen tilanne ja toimivuus. Mahdollisista ruostuneista komponenteista pyydettiin tietoa eri osastoilta, niin satama- kuin teollisuusnosturipuoleltakin, aina laatuinsinööreistä projektipäällikköihin asti. Mitään systemaattisia korroosio-ongelmia ei esiintynyt vaan ongelmat korroosiosuojauksessa olivat projekti- tai kappalekohtaisia, kuten esimerkiksi luvussa 2 esitellyt muutamat tapaus.

Hyvinkään tehdasalueella sijaitsee yksi testikäytössä oleva RTG-nosturi, joka on ollut paikallaan noin 5-6 vuotta. Nosturiin tutustuminen tapahtui RTG-projektipäällikkö Timo Kampin kanssa ensimmäisen kerran joulukuussa 2014 ja toisen kerran elokuussa 2015. Nosturi on näkyvissä kuvassa 6.1.



Kuva 6.1. Hyvinkään tehdasalueella sijaitseva RTG-testinosturi.

Vaikka nosturi on testauskäytössä, on se rakenteiltaan samanlainen, kuin mitä tuotannossa valmistetaan asiakkaiden käyttöön. Käynnin tarkoituksena oli havainnoida nosturin komponentteja (köysitelaa, vaihteita ja yleisestikin vaunua) mahdollisten korroosiovaurioiden suhteen. Kuvassa 6.2. on yksi nosturin pyöräpareista, jossa telissä pyörien

välissä on kiinni KHW-mallinen alennusvaihde. Kuvassa näkyy myös vaihteeseen kiinnitetty moottori.



Kuva 6.2. Nosturin telin yksi pyöräpari, jossa pyörien välissä on KHW-alennusvaihde.

Kuvassa 6.3. on nosturin vaunu, joka on päällimmäisenä nosturissa. Kuvassa näkyy monia eri komponentteja myös köysitelan ja nosto-, tasapainotus- ja siirtovaihteiden lisäksi.



Kuva 6.3. RTG-nosturin vaunu.

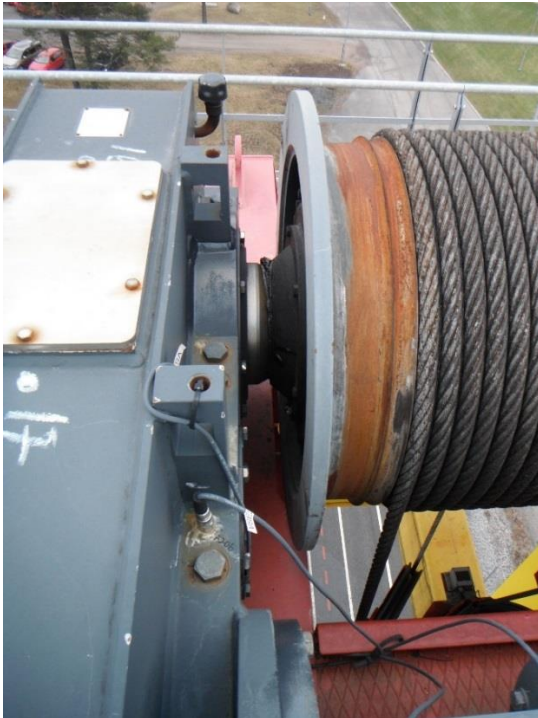
Kuvassa 6.4. on nosturissa oleva köysitela. Kuten kuvasta voi huomata, sekä köysitela että köysilukot ovat ruostuneet pinnaltaan melko tasaisesti, köysi on puolestaan ruostunut läheltä köysilukkoja. Köysi on kuitenkin suurimmaksi osaksi säilynyt ruostumatta, mikä saattaa johtua siitä, että ruostumaton kohta köydestä on liikkeessä silloin, kun kontteja nostetaan. Eli se kelautuu pois köysitelalta ja takaisin köysitelalle, jolloin siihen

mahdollisesti muodostuva ruoste hankautuu pois. Samoin myös ruostumattoman köyden alla olevat köysitelan köysiurat voivat olla niin sanotusti puhtaita ja köyden vasemmalla puolella näkyikin ainakin pieni osa puhdasta pintaa. Eli ainakin pääsääntöisesti ne pinnat köysitelasta ruostuvat, jotka eivät liiku köyden suhteen, mikäli suojausta ei uusita sen kuluessa pois.



Kuva 6.4. Köysitela, joka on osittain ruosteessa.

Kuvassa 6.5. näkyy köysitelan ja nostovaihteen liitoskohta, joka ei ole ruostunut ainakaan sen näkyvältä osalta.



Kuva 6.5. Köysitela ja nostovaihte, joiden liitos on säästynyt korroosiovaurioilta.

Kuvassa 6.7. näkyvä punainen osa on vaunun päätykannattaja, joka on liitetty vaunun siirtovaihteeseen. Liitoksessa musta korroosiosuoja-aine on pysynyt hyvin vahingoittumattomana.



Kuva 6.6. Vaunun päätykannattaja ja siirtovaihte. joiden liitoksessa oleva korroosiosuoja-aine on edelleen paikallaan.

Kuvassa 6.7. näkyy köysitelan ulkonevan akselin liitos köysitelan kannattimeen. Akseli on pysynyt edelleen ruostumattomana.



Kuva 6.7. Korroosiosuojattu köysitelan kannatinakseli on säilynyt ruostumattomana.

Kuvien perusteella voidaan tehdä lyhyt yhteenveto, että korroosiosuojaukset ovat kestäneet melko hyvin sen 5-6 vuotta, mitä nosturi on ollut tehdasalueella. Toisaalta olosuhteet eivät ole olleet kuitenkaan yhtä haastavat, kuin mitä normaalisti RTG-nostureilla satamaolosuhteissa, eikä ainakaan vaunun vaihteita tai köysitelaa ole kuljetettu pitkiä matkoja maa- tai meriteitse. RTG-nostureiden maksimikäyttöikä on noin 25 vuotta ja komponenttien takuu-aika pääsääntöisesti noin 2 vuotta (Kamppi 2014). Havaittavissa kuitenkin on, että mikäli komponenttien korroosiosuojausta ei uusita tietyin väliajoin, niihin syntyy ruostetta haastavissa olosuhteissa. Vaikka työn aihe keskittyikin komponenttien varastoinnin ja kuljetuksen aikaiseen korroosiosuojaukseen, nosturilla vierailu antoi kuitenkin arvokasta tietoa komponenttien sijainneista todellisessa käyttöympäristössä sekä siitä, onko nykyinen suojaus taso ollut riittävä pidemmälläkin aikavälillä.

6.1 Vaihteiden suojaus kehittäminen

Vaihteille ei ollut aiemmin tehty tarkkoja ohjeita siitä, mitä kohtia niistä suojataan ja millä suoja-aineella. RTG-nostureiden projektikohtaisissa pintakäsittelyohjeissa sanotaan lyhyesti, että maalamattomat mekaaniset komponentit tulisi suojata kuljetuksen ja varastoinnin ajaksi ja ohjeessa viitataan ohjeisiin DIC 2.12.35 ja VNN 7.011 (Lehtonen 2014, s. 6). Selvitettäessä kyseisten ohjeiden sisältöä ilmeni, että DIC 2.12.35 oli vuonna 1980 tehty ohjeistus, jota kuitenkin käytännössä noudatettiin tehtailla edelleen. VNN 7.011 -ohjetta ei löytynyt arkistoista. Ilmeisesti ohjeet oli vuosikymmeniä sitten otettu käyttöön ja käytännöt olivat periytyneet työntekijältä toiselle. Tosin SM-nosturin komponenteille tehdyt suojausohjeet neuvoivat melko tarkastikin, mitkä kohdat mistäkin komponentista tulisi suojata (Paajanen 2008). Kappaleessa 6.1.1 käsitellään KHW-telivaihteen korroosiosuojausta, kappaleessa 6.1.2 muiden vaihdemallien suojausta.

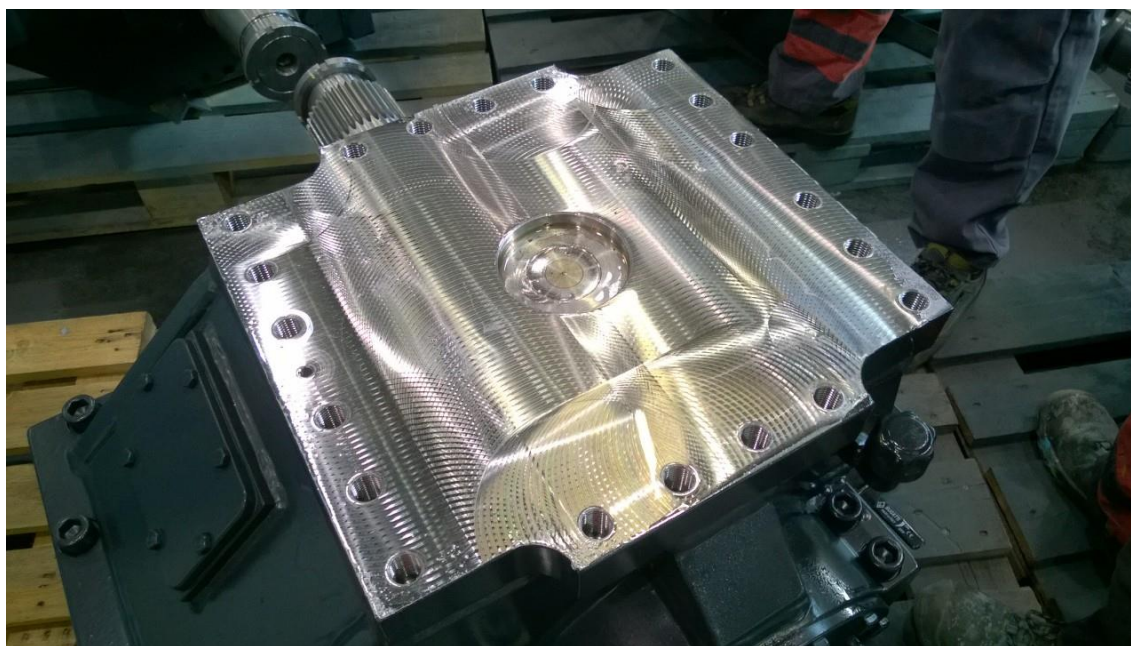
6.1.1 KHW-telivaihte

Vaihteiden korroosiosuojauksessa keskityttiin KHW-vaihdemalliin, joka näkyy kuvassa 6.2. Syy tähän on se, että kaikki kyseisen mallin vaihteet on aiemmin valmistettu alihankkijalla mutta niiden valmistus aloitettiin myös Hyvinkään vaihdetehtaalla. Valmistuksen jälkeen vaihteet toimitettiin telikokoonpanoon suomalaiselle alihankkijalle tai Konecranesin tehtaalle Dalianiin, Kiinaan. Suojaus kehittäminen oli tärkeää tehdä mahdollisimman nopealla aikataululla, jotta suojaustapa ja -aine olisi tiedossa, kun vaihteita ryhdytään valmistamaan Hyvinkäällä. Alihankkijalta tulleet vaihteet oli suojattu CRC SP 400 II:ta vastaavalla, vahamaisella aineella. Alihankkijalta kysyttäessä palaute oli, että he poistavat aineen koneistetuilta pinnoilta ennen kokoonpanoa ja että se on suhteellisen vaikea poistaa. Poistamista varten he liottavat suojattuja kohtia noin vuorokauden ajan.

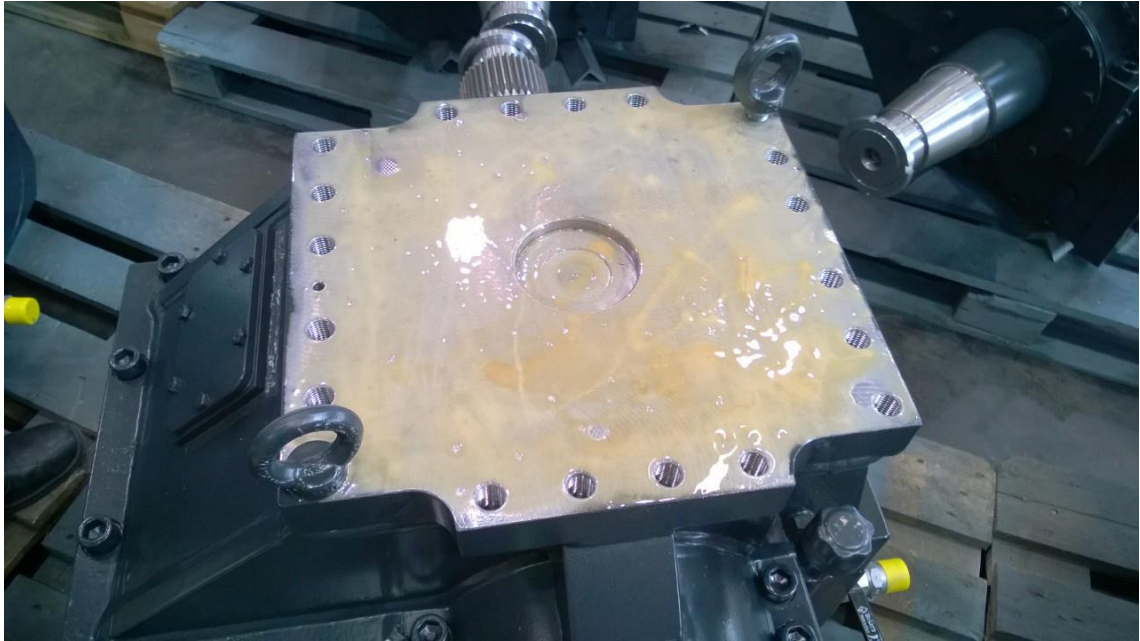
Yksi työn tavoitteista oli toteuttaa mahdollisesti sellainen suojaustapa suoja-aineella, joka olisi ympäristö- ja käyttäjäystävällisempi, kuin tällä hetkellä tuotannossa käytettä-

vät suoja-aineet. Koska suojaustapa oli hyvä saada käytäntöön nopeasti, otettiin yhteyttä Zerust Oy:n (jäljempänä Zerust) edustajaan, jotta saataisiin tietoa Zerustin markkinoilla olevista suoja-aineista. Zerust toimittaa Konecranesin Hyvinkään tehtaalle VCI-pakkauskalvot ja heillä on tuotevalikoimassaan VOC-vapaita korroosionestoaineita (Saarinen 2014). Zerustilta saatiin testaukseen muutamat erilaiset suoja-aineet, jotka olivat paksumpi rasvamainen Axxanol Z-Maxx, Perigol 100 korroosionestoöljy, suihkuttettava rasva Axxanol Spray-G ja öljymäinen Perigol VCI 230 (Zerust Oy, 2012-2013).

Aineille ei suoritettu varsinaista korroosiorasituskoetta (esimerkiksi suolasumutesti), vaan niitä testattiin lähinnä käytännössä, että miten ne levittyvät ja toimivat tuotannossa. Axxanol Z-Maxx oli sen verran paksua, että sitä olisi pitänyt lämmittää ennen aineen levittämistä, jotta levitys olisi onnistunut sujuvasti. Koska Axxanol Spray-G on myös rasvamainen tuote, sen suihkuttamiseen olisi pitänyt olla paineistettu ruisku, jolloin sen levitys ei onnistu yksinkertaisella käsin pumpattavalla suihkupullolla, jolla testaus olisi haluttu tehdä. Perigol VCI 230 oli myös viskositeetiltaan suurempi kuin Perigol 100, jolloin sitä testattaessa suihkupullosta tullut suihku ei ollut kovin tasainen vaan käytössä olisi tarvinnut olla verkosta otettavalla paineilmalla toimiva suihkupullo, kuten Axxanol Spray-G:nkin kanssa. Perigol VCI 230 oli hinnaltaan noin 1,5 kertaa kalliimpaa kuin Perigol 100, sillä Perigol VCI 230 suojaa sekä kosketus- että kaasuihbiitilla, kun Perigol 100:ssa kappaleen suojaus tapahtuu ainoastaan kosketusihbiitin kautta (Saarinen 2014). Myöhemmin Perigol 100:a ja Perigol VCI 230:a testattiin myös käyttämällä paineilmalla paineistettua ruiskua ja tällöinkin Perigol 100 levittyi paremmin. Perigol 100:lla suojattu vaihteen pinta näkyy kuvassa 6.8. ja Perigol VCI 230:lla suojattu pinta näkyy kuvassa 6.9. Hieman haastetta Perigol 100:lla tehtävään suojaukseen lisäsi se, että aine on täysin läpinäkyvää ohuena kerroksena.



Kuva 6.8. Perigol 100:lla suojattu KHW-vaihteen pinta.



Kuva 6.9. Perigol VCI 230:lla suojattu KHW-vaihteen pinta.

Koska tuotannossa työntekijät eivät välttämättä tiedä vaihteiden seuraavaa kokoonpanopaikkaa (Dalian tai suomalainen alihankkija) vaan vaihteet saatetaan varastoida ennen niiden kulkeutumista lähettämöön, vaihteiden suojusta haluttiin kehittää sellainen, että suojaus kestäisi myös laivarahdin Kiinaan. Koneistettujen pintojen suojustukseen valittiin Perigol 100 sen helppokäyttöisyyden takia ja lisäksi vaihde päätettiin pakata Zerustin VCI-pussiin. Tällöin vaihde on suojattuna sekä kosketus- että kaasuinhibiiteillä ja kalvo antaa myös hieman mekaanista suojaa vaihteelle. Lisäksi poiketen alihankkijan toimittamista vaihteista, vaihteen toisioakselit päätettiin maalata kehitysinsinöörin toimesta noin puoleen väliin asti niiltä pinnoilta, joihin ei asenneta mitään kiinni ja jotka jäävät näkyviin vaihteen lopullisessa käytössä.

KHW-vaihteen kotelot maalataan vasta kokoonpanon jälkeen, jolloin akseleiden maalaus onnistuu helposti samalla, kun vaihteen kotelot maalataan. Liitteessä 1 on esitetty vaihteen suojausohje, joka on kehitetty tuotantoon. Vaihteen suojaus suoritetaan maalauksen jälkeen niin, että vaihteen alle lavalle asetetaan ensin VCI-pussi, jonka päälle vaihde lasketaan. Vaihtoehtoisesti pussin voi asettaa vaihteen alle ennen sen laskemista. Koneistetut pinnat putsataan ennen suojausta, jonka jälkeen kaikki koneistetut pinnat suihkutetaan Perigol 100:lla. Tämän jälkeen suoritetaan tarvittavat reikien tulppaukset ja akseleiden päiden mekaaniset suojustukset kuplamuovilla. Lopuksi vaihteen maalatuilta pinnoilta pyyhitään ylimääräiset öljyt ja pussi suljetaan nippusiteellä niin, että suuaukko osoittaa alaspäin, jolloin vesi ei pääse valumaan pussin sisälle. Aluksi ohjeessa ei ollut mainintaa pintojen putsauksesta mutta myöhemmin huomattiin, että se on suoritettava, jotta korroosionestoöljy levittyy pinnoille kunnolla eikä niin sanotusti pakene satunnaisista kohdista.

6.1.2 Muut vaihteet

Muille vaihdetyypeille (nosto- ja siirtovaihteet) ei korroosiosuojausta kehitetty kuin siinä mielessä, että suojattavat kohdat ja vaiheet dokumentoitiin ja niistä tehtiin tuotantoon tarkoitetut ohjeet, jotka sisälsivät sekä kirjallisen että kuvallisen osuuden. Pohjimmainen syy oli se, että monesti näissä vaihteissa pinnat jäivät koskemattomiksi kokoonpanon jälkeen, eikä suojausta ole syytä poistaa. Tällöin vaihteiden koneistettujen pintojen on kestävä sekä varastointi että kuljetus, kuten myös olosuhteet käyttöympäristöissä. Vaikka jotkin osat (esimerkiksi akselit) ovat sellaisia, jotka seuraavassa asennusvaiheessa yhdistetään johonkin toiseen osaan, ohut kerros jäävää korroosionsuojainetta ei ole haitaksi.

Esimerkiksi HSS-vaihteen suojauksessa (liite 2) keskityttiin siihen, että kaikki koneistetut pinnat suojataan ja että suojaus suoritetaan sellaisessa kokoonpanovaiheessa, kun suojaus on mahdollista suorittaa mahdollisimman helposti. Joidenkin vaihteiden suojauksessa jälkeensä tehtävää suojaamista ei pysty välttämättä suorittamaan tarpeeksi hyvin, sillä joihinkin kohtiin voi olla vaikeaa päästä käsiksi, kun vaihde on kokoonpanettu. Tietyissä vaihteiden osissa, esimerkiksi liitteessä 3 olevassa KHSS-vaihteen suojausohjeessakin mainitaan, voitaisiin käyttää myös kevyempää suoja-ainetta, kuten Perigol 100:a. Tällöin ongelmaksi muodostuu kuitenkin se, että käytössä olisi useampaa erilaista suoja-ainetta, mikä ei välttämättä olisi järkevää tuotannon näkökulmasta. Jo mainittujen suojausohjeiden lisäksi liitteessä 4 on suojausohje QM6- ja QM7-vaihdetyypeille, liitteessä 5 suojausohje QM9-vaihdetyypille ja liitteessä 6 suojausohje QM10-vaihdetyypille.

6.2 Köysitelojen suojauksen kehittäminen

Kuten vaihteiden, myös köysitelojen suojausta yritettiin kehittää niin, että saataisiin tuotantoon jokin suoja-aine, joka olisi nykyisiä aineita ympäristö- ja käyttäjäystävällisempi. Koska haluttiin testata erilaisia aineita, köysiteloihin testattiin Fluid Filmin NAS-suoja-ainetta. Fluid Film-tuotteet ovat liuotinvapaita ja ne sisältävät VOC-yhdisteitä alle 1 % (Fluid Film 2015). NASia ruiskutettiin köysitelan pinnalle matalapaineruiskulla. Tuotteessa ei ollut mitään väriä, joten ruiskutuksessa täytyi olla huolellinen, jotta mikään kohta ei jäänyt suojaamatta. Fluid Filmin tuotteet on valmistettu villavahasta (Fluid Film 2015), jolloin tehtaalla sisällä oleva haju suihkutuksen jälkeen muistutti lampaan hajua. Vaikka tuote ei sisällä liuottimia eikä näin ollen ole käyttäjälle vaaraksi, voimakas lampaan haju kuitenkin jakaa mielipiteitä. Aine ei varsinaisesti kuivunut kapaleen pintaan vaan jäi öljymäiseksi.

NASilla suojattiin kaksi köysitelaa, jotka asennus- ja suojausvaiheiden jälkeen kuljetettiin vaunutehtaalle vaunukokoonpanoon. Ongelmaksi vaunukokoonpanossa telojen osalta muodostui se, että kokoonpanossa työskentelyolosuhteet ovat melko ahtaat eikä ylimääräistä tilaa juurikaan ole, jolloin työntekijät monesti joutuvat hieman tukeutumaan

esimerkiksi köysitelaan sen asentamisen jälkeen. Tällöin suoja-aine, joka ei kovetu tai kuivu köysitelan pintaan, siirtyy ainakin osittain työntekijöiden työvaatetukseen, jolloin myös aineen suojausteho heikkenee. Luonnollisesti telan pinta on myös tällöin liukkaampi kuin käytettäessä esimerkiksi vahamaista korroosionestoainetta. Kuvassa 6.10. näkyy köysitelaa, joka on suojattu Fluid Filmin NAS-tuotteella.



Kuva 6.10. Fluid Filmin NAS-tuotteella suojattu köysitela.

Köysitelojen osalta todettiin, että aineen pitäisi olla kuivuva tai kovettuva, jotta se ei tahraisi tulevissa työvaiheissa. Tämän vuoksi liuotinvapaat rasvamaiset tai öljymäiset suoja-aineet eivät toimi suojauksessa parhaalla mahdollisella tavalla. Ne todennäköisesti kestäisivät mahdollisen varastoinnin ja kuljetuksen mutta kuten tietyt vaihteiden osat, myös köysiteloissa on kohtia (esimerkiksi ne koneistetut pinnat, joihin köysi ei koske-ta), joissa suoja-aine saisi pysyä mahdollisimman pitkään käytössään. Köyden alle jää-vät suoja-aineet kuluvat todennäköisesti käytön mukana pois, kun köysi liikkuu suhtees-sa telaan. Tällöin mekaanistakaan rasiutusta kestävä suoja-aineet eivät todennäköisesti kauaa pysyisi pinnassa. Telojen osalta ei kuitenkaan ole asiakasreklamaatioita juurikaan tullut ainakaan ruostesuojaukseen liittyen, joten vahamainen aine on ilmeisesti toiminut hyvin.

6.3 RTG-sähköhuoneiden suojauksen kehittäminen

Kuten luvussa 5.3 lyhyesti kerrottiin, sähköhuoneille ei ollut aiemmin tehty mitään kor-roosiosuojaustoimenpiteitä. Suojausta haluttiin kehittää tulevia nosturiprojekteja varten, jotta sähköhuoneiden komponenttien mahdollinen vikaantuminen voitaisiin välttää. Ku-vassa 6.11. näkyy sähköhuone avattuna, jossa sähköhuoneen oleelliset komponentit ovat pitkällä seinustalla.



Kuva 6.11. Avoin sähköhuone (Zerust 2015, s. 4).

Joulukuussa 2014 pidettiin aloituspalaveri suojausasian tiimoilta, jossa olivat läsnä RTG-nostureiden projektityöntekijä sekä kuljetusten suunnittelusta vastaava henkilö. Lisäksi Zerustin edustajat kutsuttiin tehtaalle tutustumaan sähköhuoneisiin, jotta he tekisivät suojausohjeen, jossa suojausteho kattaisi koko sähköhuoneen. Esille nostettiin erityisesti yksi Turkkiin suuntautuva nosturiprojekti, jossa sähköhuoneet varastoitaisiin ensin Hyvinkään tehtaalla, sitten satamassa Hangossa ja lopuksi vielä Turkissa nostureiden käyttöpaikassa. Sähköhuoneet varastoidaan lämmittämättöminä, jolloin kosteutta todennäköisesti tiivistyy sähköhuoneen eri pinnoille ja ennen pitkää sitä todennäköisesti pääsee sähköhuoneeseen sisällekin.

Tammikuussa Zerustilta saatiin suojausehdotus, joka sisälsi niin sähköhuoneiden sisäisen kuin ulkoisenkin suojauksen. Sisäpuolinen suojaus toteutettiin ehdotuksessa niin, että sähköhuoneen sisälle sähkökaappiin asetetaan 4 kappaletta kapseleita, jotka vapauttavat korroosionestoinhibiittia ympäristöönsä, ja lisäksi 10 kapselia asennetaan sähköhuoneen sisälle tasaisin välein sille seinälle, jossa sähkölaitteet sijaitsevat. Kapseleiden lisäksi sähkölaiteseinä suojataan vihreän värisellä suojakalvolla niin, että se kiinnitetään runkoon teipillä tai magneeteilla. Näiden lisäksi sähköhuoneen sisälle asennetaan vielä 4 kappaletta konttikuivaimia niin, että yhdet kuivaimet asetetaan sähköhuoneen molempiin päihin ja kaksi kappaletta asetetaan keskikohtaan. Sähköhuoneen ulkopuoliseen suojaukseen käytetään UV-suojattua Campo-kalvoa ja ulkopuolinen suojaus koostuu kahdesta eri kalvoelementistä. Sähköhuoneen alle asetetaan suorakaiteen muotoinen kalvo ja päälle asetetaan huppu. Nämä yhdistetään toisiinsa lämmittämällä, esimerkiksi kuumailmapuhallinta käyttämällä. (Zerust 2015, s. 3-4)

Suojaustarpeiden ja toimintamallien selvittämistä varten kokoonnuttiin palaveriin helmikuussa, jossa paikalla oli niin RTG-nostureiden projektihenkilöstöä, suunnittelijoita ja laatuhenkilö, kuljetuksista vastaava henkilö, pakkaamista suorittavat henkilöt kuin Zerustin edustajatkin. Palaverissa käsiteltiin muun muassa juuri Turkkiin suuntautuvaa projektia, kuten myös muun muassa Afrikkaan ja Indonesiaan suuntautuvia projekteja, joissa olosuhteet ovat samankaltaiset. Sähköhuoneiden suojauksen osalta päädyttiin ratkaisuun, että lähettämöä varten tehdään kaksi eritasoista suojausohjeistusta, niin sanotut ”basic” ja ”heavy” -tasot (liitteet 7 ja 8). Basic sisältää vain sähköhuoneen sisäpuolisen suojauksen, heavy sekä sisä- että ulkopuolisen suojauksen. Kunkin projektin yhteydessä projektivastaavat saavat itse arvioida varastoinnin ja kuljetuksen vaativuuden ja näin ollen päättää suojauksen tasosta. Yhtenä huomiona tuli vielä, että Yhdysvaltoihin komponentteja kuljetettaessa ongelmaksi muodostuu kosteuden tiivistymisen lisäksi se, että kosteutta ei saada tehokkaasti poistettua matkalla ilmastointia käyttämällä, kuten muiden kohteiden osalla, sillä Yhdysvalloissa ei hyväksytä Euroopassa tai Aasiassa sähköhuoneisiin asennettuja ilmastointilaitteita. Tällöin päätös oli se, että valittujen suojausmenetelmien lisäksi kyseisissä projekteissa voidaan käyttää erillisiä lämmityspuhaltimia sähköhuoneiden sisällä. Muutenkin projektivastaavat voivat halutessaan ottaa sisäpuoliset lämmityspuhaltimet käyttöön muihinkin maihin suuntautuvissa toimituksissa, mutta ne eivät automaattisesti kuulu basic- tai heavy-tasoihin.

6.4 Suoja-aineiden testaus ulkona ja testilähetykset

Kappaleen 6.4 alaluvuissa käsitellään Zerustin, Fluid Filmin ja Pinelinen suoja-aineiden testausta ulkotiloissa sekä ensimmäisten tehtaalla tehtyjen KHW-vaihteiden toimituksia sekä suomalaiselle alihankkijalle että Kiinaan Dalianiin. Zerustin ja Fluid Filmin tuotteita testattiin maaliskuussa 2015 ja Pinelinen suoja-ainetta syyskuussa 2015, testauksia käsitellään tarkemmin luvussa 6.4.1. Ensimmäiset tehtaalla valmistetut KHW-vaihteet lähetettiin suomalaiselle alihankkijalle helmikuussa 2015 ja Dalianiin maaliskuussa 2015 ja tuloksia niistä on luvussa 6.4.2.

6.4.1 Suoja-aineiden testaus

Tuotannossa käytettäville Tectyl 122-A:lle ja Dinitrol 3850:lle (vastaava kuin CRC SP 400) oli suoritettu suolasumutestaus yrityksen laboratorion toimesta vuonna 2003. Aineiden ominaisuuksista mainittiin, että Tectyl 122-A oli sitkeämpää levittää ja levityssiveltimen karvoja jäi välillä levitettävän aineen joukkoon. Dinitrol 3850:n kalvosta saatiin levityksessä tasaisempi. Koepaloille tehtiin 5 vuorokauden mittainen testi, jossa niihin sumutettiin 5 % natriumkloridia sisältävää suolasumuliuosta 35 °C:een lämpötilassa. Tehdyn testin perusteella Dinitrol 3850 kesti korroosiorasitusta paremmin kuin Tectyl 122-A. Testiraportissa kerrottiin, että vastaavia testituloksia kyseisille aineille on suoritettu myös 60-, 70-, 80-, 90- ja 2000-luvuilla, eivätkä testien tulokset ole juurikaan toisistaan eronneet. (Matilainen 2003)

Kuitenkin käytännössä tuotannossa Tectyl 122-A:ta pidetään tehokkaampana ruosteenestoaineena kuin Dinitrol 3850.a tai vastaavaa. Kuten luvussa 4.5.7 suolasumutestistä mainittiin, testi ei välttämättä anna totuudenmukaista kuvaa testattujen aineiden kestävydestä todellisissa olosuhteissa vaan se selviää parhaiten käytännössä, ja ainakin aiemmin tässä luvussa käsitellyssä RTG-testinosturissa Tectyl 122-A:lla suojatut pinnat olivat säilyneet parhaiten korroosion vaikutuksilta. Aineiden korroosiosuojaustehoa pystytään pitkittämään tai parantamaan monesti sillä, että ainetta levitetään paksumpi kerros suojatulle pinnalle. Tectyl 122-A ja Dinitrol 3580 ovat kuitenkin sellaisia aineita, jotka on todettu käyviksi korkeimpiinkin rasisluokkiin (C3-C5-I/M) kuuluvissa ilmas-toissa.

Matilaisen (2003, s. 1) testiraportissa pohdittiin myös VCI-suoja-aineiden korroosion-kestävyyttä ja mahdollisuutta korvata niillä käytössä olleita suoja-aineita, mutta ainakin aiemmin VCI-aineilla suojatut akselit olivat ruostuneet testilähetysten aikana, pakkauksesta huolimatta. Testiraportissa ei ollut mainintaa, että minne pakkaukset oli lähetetty tuolloin. Raportissa mainittiin myös, että näille aineille suoritettut laboratoriotestit ovat antaneet vastaavia tuloksia siitä, että aineiden suojausteho ei ole ollut riittävä. VCI-aineiden testejä oli suoritettu 70-, 80- ja 90-luvuilla, joten kyseisten aineiden kehityksestä ei ollut raportin laadinnan ajankohtana uutta tietoa.

Työn yhteydessä VOC-vapaat korroosionestoaineet päätettiin testata ilman varsinaisesti järjestettyjä testausolosuhteita ulkona taivasalla. Oletuksena näiden tuotteiden kohdalla oli, että ne eivät kestäisi suolasumurasituksessa läheskään yhtä pitkään kuin esimerkiksi Dinitrol 3580 tai Tectyl 122-A, joten ulkona testaamalla haluttiin nähdä, miten ne kestävätkä mahdollisessa ulkoarastoinnissa ilman suoja-aineita tai pakkauksia. Tässä mielessä suolasumukoe tuskin antaisi mitään luotettavaa tulosta. Mahdollisesti vastaavaa voitaisiin testata jollain muulla rasiskokeella, mutta testaaminen päätettiin suorittaa normaaleissa kenttäolosuhteissa maaliskuussa. Testin ajankohtaa odotettiin maaliskuuhun, koska maaliskuussa esiintyy sekä miinus- että plusasteita ja auringon UV-säteilyä, eli niitä olosuhteita, jotka yleisesti aiheuttavat korroosiota.

Testiä varten tuotannon varastosta otettiin neljä kappaletta köysiteloissa käytettäviä akseleita, jotka suojattiin eri aineilla. Kuvassa 6.12. näkyy tilanne akseleiden suojauksen jälkeen. Testattavat aineet ovat kuvassa vasemmalta oikealle Fluid Filmin NAS, Zerustin Perigol 100, Fluid Filmin GEL B ja Fluid Film Liquid AR. Tuotteista NAS ja Perigol 100 levitettiin suihkuttamalla, GEL B ja Liquid AR sivelemällä. Väriltään NAS ja Perigol 100 ovat värittömiä ja olomuodoltaan hyvin ohuita. GEL B ja Liquid AR ovat väriltään vaaleanruskeita ja olomuodoltaan hieman rasvaimempia. Suoja-aineet levitettiin 5.3.2015, jonka jälkeen niitä säilytettiin sisätiloissa vielä noin vuorokauden ajan.



Kuva 6.12. Eri korroosionsuoja-aineilla suojatut akselit.

6.3.2015 akselit vietiin ulos varsinaista testausta varten. Lämpötila vaihteli kyseisenä päivänä 0 °C:sta +2 °C:een (AccuWeather.com). Kuvassa 6.13. akselit on viety ulos testauspaikalle sään ollessa kyseisenä päivänä pilvinen.



Kuva 6.13. Testiakselit ulkona.

Koska 6. päivä oli perjantai, seuraavan kerran akseleita tarkasteltiin maanantaina 9.3.2015 ja samalla akseleista otettiin kuva 6.14. Tällöin huomattiin, että Perigol 100:lla suojattu akseli oli ruostunut hyvin rajatusti, mikä herätti osaltaan ihmetystä. Ilmeisesti tähän oli kuitenkin syynä auringon UV-säteily, koska aurinko paistoi kyseiseen akseliin

juuri ruostuneelle alueelle. Muille akselleille ei ollut tapahtunut muutoksia ulkonäössä, kuin että ne olivat huurtuneet.



Kuva 6.14. Akseleiden ulkonäkö ensimmäisten kolmen päivän jälkeen.

Testi lopetettiin 27.3.2015. Testin aikana akselleille ei tapahtunut oikeastaan mitään muutoksia, lukuun ottamatta Perigol 100:lla suojattua akselia, kuten kuvista 6.15. ja 6.16. voi nähdä. Ainut huomio on, että akselien pintoihin oli tarttunut roskaa, koska pinnat eivät kuivuneet missään vaiheessa, vaan jäivät hieman tahmaisiksi. Akseleiden putsaaminen suoja-aineista oli helppoa ja nopeaa, sillä periaatteessa suoja-aineet lähtivät pois pelkällä rätilläkin.



Kuva 6.15. Akseleiden ulkonäkö testin päätyttyä.

Kuvassa 6.16. näkyy tarkemmin kuva Perigol 100:lla suojatusta akselista, jonka ruostuminen pysyi samanlaisena testin alkuaajoista lähtien. Akseli ruostui hyvin rajatusti, ilmeisesti johtuen siihen osuneesta auringonvalosta.



Kuva 6.16. *Hieman ruostunut Zerust Perigol 100:lla suojattu akseli.*

Testin aikajaksolla sään osalta oli sekä sateista että aurinkoista ja lämpötila oli alimmillaan $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja enimmillään $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (AccuWeather.com). Tosin auringonpaiste ei ole vielä maaliskuussa niin voimakasta kuin esimerkiksi kesällä tai sijaitessa lähempänä päiväntasaajaa, joten toisenlaisissa olosuhteissa tulokset olisivat voineet olla erilaiset. Koska testauspaikka ei sijainnut lähellä merta, myöskään suolaliuoksen mahdollisesti aiheuttamista vaurioista ei saatu tietoa suoritettulla testillä. Lähtökohtaisesti testistä voidaan kuitenkin vetää johtopäätös, että suoja-aineet toimivat ainakin jossain määrin ulkoisesakin varastoinnissa, ilman suojaa tai pakkausta.

Toinen testi suoritettiin syyskuussa 2015, jolloin testattiin vain Pinelinen vielä kehitysvaiheessa olevaa suoja-ainetta. Suoja-aine on hiilivetyvapaa, koska se on glykolipohjainen. Tällöin VOC-vapaus ei suoja-aineen kohdalla kuitenkaan toteudu, mutta suoja-ainetta päätettiin kuitenkin testata. Testiä varten otettiin kaksi samanlaista akselia, kuin mitä maaliskuisessa testissäkin käytettiin. Toinen suojattiin glykolipohjaisella tuotteella, toiseen akseliin ei levitetty mitään suoja-ainetta. Glykolipohjainen suoja-aine oli helppo levittää tavallisella suihkupullolla mutta aine oli hyvin ohutta, jolloin sitä piti suihkuttaa runsaasti varmistuakseen siitä, että sitä varmasti levittyi joka kohtaan. Glykolista tullut haju oli melko voimakas ja se haisi työhanskoissa suihkutuksen jälkeen vielä usean tunnin ajan. Akselin suojaus tapahtui 10.9.2015 ja molemmat akselit vietiin ulos 11.9.2015. Kuvassa 6.17. akselit on viety ulos. Kuten kuvasta voi nähdä, glykolipohjainen suoja-aine on väritöntä.



Kuva 6.17. Suojaamaton akseli (vasemmalla) ja glykolipohjaisella suoja-aineella suojattu akseli (oikealla).

Kuva 6.18. on otettu maanantaina 14.9.2015, eli testin ensimmäisen viikonlopun jälkeen. Kuten kuvasta voi hieman erottaa, molemmat akselit ovat alkaneet ruostua.



Kuva 6.18. Akseleiden ulkonäkö ensimmäisen testausviikonlopun jälkeen.

Testiä jatkettiin 29.9.2015 asti, jolloin akselit otettiin sisälle ja niitä tarkasteltiin silmämääräisesti. Kuvassa 6.19. näkyy, että molemmat akselit ovat ruostuneet mutta suojaamaton akseli on ruostunut huomattavasti voimakkaammin. Suojattu akseli on puolestaan ruostunut melko rajatusti, kuten Zerust Perigol 100:llakin suojattu akseli.



Kuva 6.19. Akseleiden ulkonäkö viimeisenä testipäivänä, vasemmalla suojaamaton akseli.

Jälkimmäisessä testissä parannusta ensimmäiseen testiin oli se, että siinä oli mukana myös täysin suojaamaton akseli. Ensimmäinen testi kesti 3 viikkoa ja toinen noin 2,5 viikkoa, jolloin voidaan mahdollisesti olettaa, että suojaamaton akseli olisi ruostunut vastaavasti myös ensimmäisen testin aikana. Sääolosuhteet olivat kuitenkin hieman erilaiset toisen testin aikana, sillä lämpötila oli alimmillaan +4 °C ja ylimmillään +19 °C (AccuWeather.com). Myös syyskuussa kuitenkin sää sisälsi sekä sadetta että auringonpaistetta, joten siinä mielessä olosuhteet olivat samankaltaiset. Märkäaikaa ei toisessaakaan testissä kuitenkaan kirjattu ylös. Pinelinen glykolipohjaisen tuotteen kanssa päädyttiin siihen, että sitä ei oteta käyttöön tuotannossa, sillä vaikka se kuivui aiemman testin tuotteita paremmin, sen suojausteho ei kuitenkaan riitä katteettomassa ulkovarastoinnissa.

Vuoden 2003 testiraportin ja tässä luvussa esitettyjen testien perusteella todennäköistä on, että testatuista VOC-vapaista tuotteista tuskin on haastamaan vielä nykyisin käytössä olevia liuotinpohjaisia korroosionsuojatuotteita pidemmässä korroosiosuojauksessa, sillä niitä kaikkia markkinoidaan yleisesti vain varastointiin ja kuljetukseen. Liuotinpohjaisilla tuotteilla saadaan aikaan tarvittaessa paksumpi suojakalvo, joka suojaa hieman myös mekaanisilta rasituksilta. Mikäli aika ja olosuhteet olisivat sen sallineet, kaikille tuotteille olisi ollut varmasti hyvä tehdä vielä virallinen suolasumutesti, jossa olisi saatu suuntaa antavia tuloksia siitä, miten tuotteet suolavettä kestävät. Pelkkään kuljetuksen ja varastoinnin aikaiseen korroosiosuojaukseen ainakin Zerustin ja Fluid Filmin tuotteet testin perusteella sopivat. Kuitenkin kuten testeissä huomattiin, tuotteet olisi hyvä suojata varmuuden vuoksi auringonpaisteeltakin, mikäli niitä varastoidaan katteettomassa ulkovarastossa.

6.4.2 Testilähetykset

Ensimmäiset Hyvinkään vaihdetehtaalla valmistetut KHW-vaihteet lähetettiin seuraavaan kokoonpanovaiheeseen suomalaiselle alihankkijalle helmikuussa 2015 ja Kiinaan Dalianiin maaliskuussa 2015. Alihankkijalta saatu palaute oli, että koneistetut pinnat on erittäin helppo putsata kokoonpanoa varten, eikä vaihteissa esiintynyt ruostetta, kuten oli oletettavissakin lyhyen kuljetusmatkan takia.

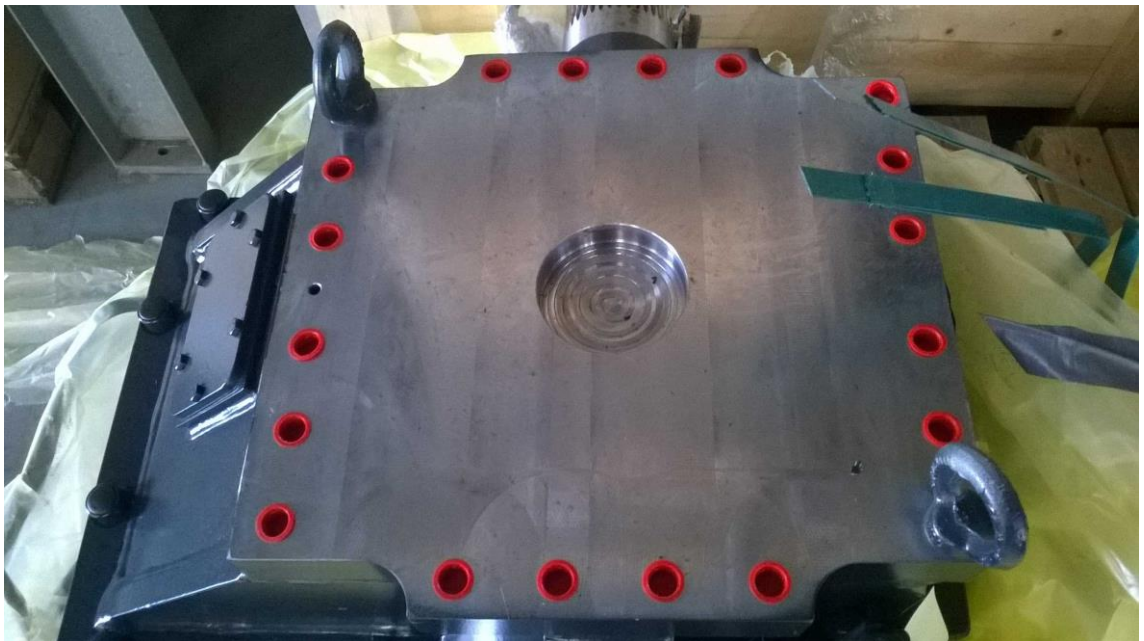
Vaihteet saapuivat Dalianiin kesäkuun 2015 alussa, jolloin niistä saatiin palautetta. Pääsääntöisesti vaihteet olivat hyvässä kunnossa mutta joissain akseleissa näkyi hieman ruostetta tai likaa. Kuvissa 6.20. ja 6.21. näkyvät satunnaisen lähetyn KHW-vaihteen toisioakselit ja kuvassa 6.22. vaihteen päällimmäinen taso. Dalianissa oltiin yleisesti suojaukseen ja suoja-aineeseen tyytyväisiä, mutta selvästi huomiota tulee kiinnittää erityisesti akseleiden suojaamiseen ja suoja-aineen huolelliseen levittämiseen.



Kuva 6.20. KHW-vaihteen toisioakselin vetävä akseli (Zeng 2015).

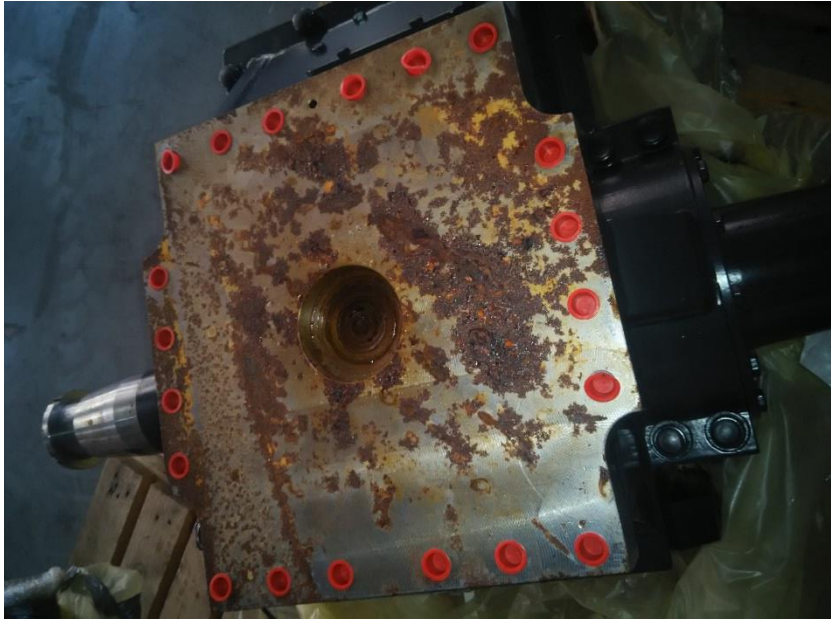


Kuva 6.21. KHW-vaihteen toisioakselin vapaa akseli (Zeng 2015).



Kuva 6.22. KHW-vaihteen päällimmäinen taso.

Elokuussa 2015 Dalianista saatiin palautetta kahdesta KHW-vaihteesta, joissa päällimmäinen taso oli ruostunut. Yksi ruostuneista vaihteista näkyy kuvassa 6.23. Ruostunut pinta herätti hieman ihmetystä, sillä itse pakkaus oli hyvässä kunnossa, eikä ollut revennyt tai kolhiintunut. Tuote oli kuitattu pakatuksi lähettämössä huhtikuun 2015 lopulla ja Dalianiin se oli lähtenyt kesäkuussa 2015. Yhtenä ruostumisen syynä saattoi olla se, että pakettia oli säilytetty ulkona ilman suojaa auringonvalolta, jolloin auringon UV-säteily oli aiheuttanut inhibiitin haihtumisen.



Kuva 6.23. KHW-vaihde, jossa päällimmäinen taso on ruostunut (Zeng 2015).

Suojauksen tilannetta ja toimintatapaa tarkastettiin tuotannossa heinä-elokuussa 2015. Mukana olivat Zerustin kaksi edustajaa sekä vaihdetehtaan laatutyöntekijä. Aineen suihkutukseen testattiin Zerustin omaa paineilmaverkosta täytettävää suihkupulloa, joka myös otettiin käyttöön, sillä sen sumu oli tasaisempi kuin aiemmin käytetyssä suihkupullossa ja se oli käytettävyydeltään parempi. Tällöin huomattiin myös, että mikäli vaihteen koneistettuja pintoja ei putsattu ennen suojausta, aine niin sanotusti karkasi joistain kohdista, jonka seurauksena suojausohjeeseen (liite 1) lisättiin pintojen puhdistus yhteinä työvaiheena. Tämä aineen karkaaminen on myös osaltaan saattanut vaikuttaa muun muassa kuvassa 6.23. näkyviin korroosioaurioihin. Tilanne- ja suojausohjepäivityksen yhteydessä ohjeistettiin myös pakkaamoa, että mikäli tuotteita säilytetään pidempään pakkaamossa ulkona, ne tulee peittää pressulla tai muulla vastaavalla, jotta auringon UV-säteily ei vahingoita kappaleita tai pakkauksia ja edistä osaltaan korroosioaurioiden syntymistä.

Lopputuloksena oli, että suojaus pidetään ainakin toistaiseksi sellaisena, kuin mitä se on kuvattuna liitteessä 1. Mikäli suojaustapa osoittautuu tulevaisuudessa riittämättömäksi, joudutaan sitä edelleen kehittämään tai tekemään siihen muutoksia mahdollisten ongelmien poistamiseksi ja reklamaatioiden välttämiseksi.

7. YHTEENVETO

Työssä perehdyttiin Konecranesin Hyvinkäällä valmistamien raskaiden teollisuus- ja satamanosturivaunujen komponenttien korroosiosuojaukseen, pääosin varastoinnin ja kuljetuksen osalta. Tarkemmin komponenteista esillä olivat erilaiset alennusvaihteet, köysitelat ja RTG-satamanosturin sähköhuoneet. Työssä tarkoituksena oli selvittää korroosiosuojauksen nykyinen tilanne ja toimivuus sekä kartoittaa erilaisia suojausvaihtoehtoja. Lisäksi eri komponenteille oli toivottavaa saada kirjalliset suojausohjeet tuotantoa varten.

Tuotteet kuljetetaan asiakkaalle tai seuraavaan työvaiheeseen alihankkijalle tai yrityksen muihin toimipisteisiin pääsääntöisesti kuorma-autolla tai laivalla. Tällöin kuljetuksen aikaiset olosuhteet vaihtelevat meri-ilmaston olosuhteista sisämaassa vallitseviin olosuhteisiin. Samoin myös tuotteiden loppukäyttöpaikat vaihtelevat satamissa vallitsevan meri-ilmaston ja lämmitettyjen teollisuushallien välillä. Työssä ei kuitenkaan tehty jaoteltua korroosiosuojauksessa juurikaan komponenttien kuljetustavan tai loppukäyttöpaikan perusteella, sillä tuotannon työntekijöillä vaihde- ja köysitelavalmistuksessa ei usein ole suojausvaiheessa tietoa siitä, minne valmistettava komponentti seuraavassa vaiheessa päätyy ja millä kuljetustavalla sitä kuljetetaan tai kuinka kauan sitä varastoidaan ennen käyttöä. Poikkeuksena olivat RTG-satamanosturin sähköhuoneet, jotka pakataan lähettämön toimesta kunkin nosturiprojektin projektiryhmän asettamien vaatimusten mukaisesti.

Eri osastoille (erilaiset satamanosturit ja teollisuusnosturit) tehtyjen kyselyjen perusteella johtopäätös oli, että korroosioauriot komponenttien kohdalla eivät ole mitenkään systemaattisia vaan lähinnä yksittäisiä tapauksia. Tällöin ei ollut syytä lähteä radikaalisti muuttamaan tuotannossa jo vallitsevia menetelmiä vaan työssä keskityttiin kartoittamaan ympäristö- ja käyttäjäystävällisempien tuotteiden mahdollista sopivuutta tuotteiden suojaukseen.

Työn aikana testattiin Zerustin, FluidFilmin ja Pinelinen muutamia erilaisia levitettäviä tai suihkutettavia korroosionestotuotteita. Kaikkien valmistajien tuotteet olivat hiilivetyvapaita, Zerustin tuote oli myös VOC-vapaa ja FluidFilmin tuotteissa oli VOC:a alle 1 %. Testien kestoajat olivat 2,5-3 viikkoa ja testaus tapahtui komponenttitehtaan vieressä ulkona. Testin tarkoitus oli testata lyhyesti käytännössä, miten eri suoja-aineet kestävät ulko-varastoinnissa ilman suojaa tai pakkausta erilaisia sääolosuhteita (lämpötilanvaihteluita, auringonpaistetta ja lumi- tai vesisadetta). FluidFilmin suoja-aineilla suojatuissa kappaleissa ei tapahtunut mitään muutoksia testausaikana, Zerustin aineella suojattu kappale ruostui hieman siltä alueelta, mihin auringonsäteily osui, ja Pinelinen

suoja-ainetta käytettäessä kappale ruostui myös hieman, mutta huomattavasti vähemmän kuin suojaamaton kappale.

Työssä vaihteiden suojauksessa keskityttiin erityisesti KHW-vaihdemalliin, sillä kyseistä vaihdemallia oli aiemmin valmistettu vain alihankkijalla mutta työn aikana valmistusta aloitettiin tekemään myös Hyvinkään vaihdetehtaalla. KHW-vaihteet kuljetetaan komponentteina Hyvinkäältä jatkoasennukseen joko suomalaiselle alihankkijalle tai Konecranesin omalle tehtaalle Dalianiin Kiinaan, jolloin vaihteelle täytyi kehittää sellainen suojaustoimenpide, jonka suojaus kestää sekä kuorma-automatkan Suomessa alihankkijalle että laivamatkan Kiinaan. Suojaustavaksi valikoitui ruiskutettava öljymäinen Zerustin Perigol 100 -korroosionsuoja-aine sekä pakkaus Zerustin VCI-kalvoon, joka vapauttaa pakkauksen sisälle kaasuinhibiittejä, jotka toimivat myös korroosion syntymistä vastaan. Pakkauskalvo antaa myös hieman mekaanista suojaa. Suojaustoimenpiteistä laadittiin tuotantoon sekä kuvia että tekstiä sisältävä ohjeistus.

KHW-vaihteiden suojauksen toimivuudesta saatiin tietoa sekä suomalaiselta alihankkijalta että Dalianin toimipisteestä. Suomalaisen alihankkijan palaute käytetystä suoja-aineesta oli positiivista muun muassa siksi, että aine oli helppo poistaa koneistetuilta pinnoilta. Dalianista pyydettiin palautetta sekä suoja-aineeseen että pakkaukseen liittyen. Myös sieltä saatu palaute oli pääosin positiivista lukuun ottamatta muutamaa vaihdetta, joissa oli hieman ruostetta. Lopputulos vaihteen suojauksen osalta oli kuitenkin se, että suojaus toteutetaan Perigol 100:lla ja VCI-pussilla jatkossa, ja tarvittaessa tulevaisuudessa suojausta kehitetään tai muutetaan, jos tarvetta siihen on.

Muiden vaihteiden osalta suojausta ei juurikaan muutettu vaan suojaustoimenpiteet dokumentoitiin ja tuotantoon tehtiin ohjeet suojaamista varten. Toisin kuin KHW-vaihteessa, monet muut vaihdemallit ovat jatkokokoonpanon kannalta sellaisia, että niihin suihkutettavia tai levitettäviä suoja-aineita ei tarvitse juurikaan poistaa vaan tuotteen käytön kannalta on parempi, mitä pidempään suojaus kestää. Pääosin tuotteet suojataan CRC SP 400 II -suoja-aineella mutta esimerkiksi joitakin ulkonevien akseleiden kohtia suojataan myös Tectyl 122-A:lla.

Köysitelojen osalta ei myöskään muutosta nykyiseen suojausprosessiin tullut. Teloihin testattiin suihkuttamalla levitettävää FluidFilmin NASia mutta seuraavan kokoonpanon kannalta kuivumaton suoja-aine ei ollut hyvä, joten jo ollut suojausmenetelmä todettiin paremmaksi. Telojen ruostumisesta ei ollut tiedossa mitään reklamaatioita, joten suojaustapaa ei sen takiaakaan haluttu väkisin lähteä muuttamaan. Telojen suojaus toteutetaan melko identtisesti, joten niistä ei tullut dokumentoitua suojausohjetta.

RTG-satamanosturin sähköhuoneita ei aiemmin suojattu erikoisemmin kosteutta tai korroosiota vastaan niiden suhteellisen tiiviin rakenteen takia, mutta tietoon tulleiden sähkölaitteiden komponenttivaurioiden vuoksi niillekin haluttiin kehittää ja dokumentoida suojaustapa. Lopputuloksena oli kaksi eri tason suojausohjetta, niin sanotut ”basic” ja

”heavy” versiot. Basic-versiossa sähköhuoneen suojaus keskittyy suojaukseen huoneen sisällä muutamaa eri tuotetta käyttäen ja heavy-versiossa suoritetaan sekä sisäpuolinen suojaus että ulkopuolinen huoneen pakkaus UV-säteilyltä suojaavalla korroosionestokalvolla.

Työn puitteissa saadun tiedon perusteella komponentti- ja vaihdetehtailla suoritettavat korroosiosuojaustoimenpiteet olivat toimineet pääsääntöisesti riittävästi, jolloin niitä ei sinänsä varsinaisesti kannattanut lähteä muuttamaan. Suoja-aineista tai suojausmenetelmistä olisi haluttu käyttäjä- ja ympäristöystävällisempiä, mutta monen tuotteen kohdalla oli se tilanne, että esimerkiksi hiilivety- ja VOC-vapaat tuotteet eivät ole ainakaan vielä ominaisuuksiltaan sellaisia, että ne toimisivat vastaavasti kuin liuotinpohjaiset tuotteet tai tarjoaisivat yhtä kestäväää suojaa korroosiota vastaan. Oletettavaa kuitenkin on, että kyseisetkin tuotteet kehittyvät jatkossa ja niiden ominaisuudet korroosiota vastaan paranevat.

LÄHTEET

Alén, H., Carlsson C., Häkkä-Rönholm, E., Länsiluoto, J., Salminen, S., Tunturi, P.-J. (1980). Korroosionesto kuljetuksen ja varastoinnin aikana. ISBN: 951-817-069-X. Suomen Metalliteollisuuden Keskusliitto/Metalliteollisuuden Kustannus Oy. Helsinki. 47 s.

de Wit, J. H. W., Ferrari, G., van der Weijde, D. H. (2002). Corrosion mechanisms in theory and practice: Organic coatings. ISBN 0-8247-0666-8. Marcel Dekker. Vol.2, s. 683-729.

Fontana, M. G., Greene, N. D. (1978). Corrosion engineering. ISBN: 0-07-021461-1. MacGraw-Hill. Vol.2, 465 s.

Figueira, R. B., Pereira, E. V., Silva, C. J. R. (2014). Organic-inorganic hybrid sol-gel coatings for metal corrosion protection: a review of recent progress. American Coatings Association. 35 s. Saatavissa: <http://link.springer.com/>

Halminen, A., työsuojelupäällikkö, Konecranes Service Oy. (2007). Johdatus nosturi-tekniikkaan. Julkaisematon selvitys. 202 s.

Helle, R., tuotantojohtaja, SCM Vaunu- ja komponenttiorganisaatio, Konecranes Finland Oy, Hyvinkää. (2014). Components manufacturing Hyvinkää [intranet]. 10 s. Saatavissa: <https://wiki.konecranes.com>

Hienonen, R., Lahtinen, R. (2007). Korroosio ja ilmastolliset vaikutukset elektroniikassa. ISBN 978-951-38-6882-8. VTT Publications 623. Espoo. 243 s. + liitt. 172 s. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>

Howard, A. P. (1967). The effect of environment on the corrosion of metals in sea water - a literature survey. Naval civil engineering laboratory, Port Hueneme, California. 27 s.

Kakko, J., KHC-laatuosasto, Konecranes Finland Oy, Hyvinkää. (2012). CQ-lähetysten toimitustavat ja -ehdot [intranet]. 1 s. Saatavissa: portal.konecranes.com (HotDoc)

KAMAT-tietokortti: Metallin rasvanpoisto. (2007). Työterveyslaitos. Helsinki. 9 s. [WWW]. Viitattu: 20.10.2015 Saatavissa: <http://www.ttl.fi/partner/kamat/tietokortteihin/Documents/Metallinrasvanpoisto.pdf>

Kamppi, T., projektipäällikkö RTG-satamanosturit, Port Cranes, Konecranes Oyj, Hyvinkää. Haastattelu 1.12.2014.

Konecranes Vuosikertomus 2014. (2015). Konecranes Oyj. 129 s. [WWW]. Saatavissa: www.konecranes.com

Korroosiokokeet keinotekoisissa kaasuympäristöissä. Suolasumukokeet = Corrosion tests in artificial atmospheres. Salt spray tests. (2012). Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN ISO 9227. Helsinki. 2. painos. 1 + 44 s.

Kuukauden sää, Hyvinkää, maaliskuu 2015. AccuWeather.com. [WWW]. Viitattu: 18.11.2015. Saatavissa: <http://www.accuweather.com/fi/fi/hyvinkaa/133106/month/133106?monyr=3/01/2015>

Käyttöturvallisuustiedote SP 400 II aerosoli. (2013). (1) CRC Industries Europe bvba. 3. versio. 11 s. [WWW]. Viitattu: 3.11.2015. Saatavissa: <http://tuotteet.etra.fi/tuotekuvat/e23583480/>

Käyttöturvallisuustiedote SP 400 II bulk. (2013). (2) CRC Industries Europe bvba. 2. versio. 9 s. [WWW]. Viitattu: 3.11.2015. Saatavissa: <http://tuotteet.etra.fi/tuotekuvat/e22699276/>

Laiho, P., tehtaanojohtaja vaunutehdas, SCM Vaunu- ja komponenttiorganisaatio, Konecranes Finland Oy, Hyvinkää. (2014). Trolley factory tour [intranet]. 10 s. Saatavissa: <https://wiki.konecranes.com>

Laite-esittely: Kumipyöränosturit. (2015). Konecranes Suomi. [WWW]. Viitattu: 31.10.2015 Saatavissa: www.konecranes.fi

Landolt, D. (2002). Corrosion mechanisms in theory and practice: Introduction to Surface Reactions: Electrochemical Basis of Corrosion. ISBN 0-8247-0666-8. Marcel Dekker. Vol.2, s. 1-17.

Lehtonen, T., pääsuunnittelija RTG-nosturit, Port Cranes, Konecranes Oyj, Hyvinkää. (2014). Instruction: Surface Treatment, Project Chigago. Sisäinen ohje. 6 s.

Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu = Paints and varnishes. Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Part 2: Classification of environments. (1998). Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN ISO 12944-2. Helsinki. 1 + 19 s.

Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 4: Pintatyypit ja pinnan esikäsittely = Paints and varnishes. Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Part 4: Types of surface and surface preparation. (1998). Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN ISO 12944-4. Helsinki. 1 + 37 s.

Matilainen, S. Materiaalilaboratorio, Tehdaspalvelu KCI. (2003). CXT-nostimen korroosiosuojaus. Tutkimuspöytäkirja 663186, 3.11.2003. Sisäinen pöytäkirja. 3 s.

Mattila, M., tehtaanjohtaja komponentti- ja vaihdetehtas, SCM Vaunu- ja komponenttiorganisaatio, Konecranes Finland Oy, Hyvinkää. (2014). (1) Component factory tour [intranet]. 6 s. Saatavissa: <https://wiki.konecranes.com>

Mattila, M., tehtaanjohtaja komponentti- ja vaihdetehtas, SCM Vaunu- ja komponenttiorganisaatio, Konecranes Finland Oy, Hyvinkää. (2014). (2) Gear factory tour [intranet]. 10 s. Saatavissa: <https://wiki.konecranes.com>

Metallien ja metalliseosten korrosio. Termit ja määrittelyt = Corrosion of metals and alloys. Basic terms and definitions. (2000). Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN ISO 8044. Helsinki. 1+55 s.

McCafferty, E. (2010). Introduction to corrosion science. ISBN 978-1-4419-0454-6. Springer. New York. 575 p.

Paajanen, A., pääsuunnittelija UM- ja SM-teollisuusnosturit, Konecranes Oyj, Hyvinkää. Haastattelu 5.12.2014 ja sähköpostit marras-joulukuu 2014.

Paajanen, A., pääsuunnittelija UM- ja SM-teollisuusnosturit, Konecranes Oyj, Hyvinkää. (2008). Trolley_painting_12032008. Sisäinen ohje. 9 s.

Product Information: Tectyl 122-A. (2006). Valvoline Company. 2 s. [WWW]. Viitattu: 3.11.2015. Saatavissa: [http://www.valvolineurope.com/english/products/tectyl/aftermarket/cid\(7086\)/tectyl_122-a](http://www.valvolineurope.com/english/products/tectyl/aftermarket/cid(7086)/tectyl_122-a)

Roberge, P. R. (2008). (0) Corrosion engineering: The study of corrosion. McGraw-Hill Professional. 21 p. Saatavissa: www.accessengineeringlibrary.com

Roberge, P. R. (2008). (1) Corrosion engineering: Corrosion basics. McGraw-Hill Professional. 19 p. Saatavissa: www.accessengineeringlibrary.com

Roberge, P. R. (2008). (2) Corrosion engineering: Protective coatings. McGraw-Hill Professional. 87 p. Saatavissa: www.accessengineeringlibrary.com

Roberge, P. R. (2008). (3) Corrosion engineering: Recognizing the forms of corrosion. McGraw-Hill Professional. 71 p. Saatavissa: www.accessengineeringlibrary.com

Suojausohje RTG-ryhmälle. (2015). Zerust Oy. Hyvinkää. Julkaisematon selvitys. 5 s.

Saarinen, K., teknologiapäällikkö, Zerust Oy, Hyvinkää. Haastattelut syksy 2014 – kevät 2015.

Saikkonen, M., tehtaanjohtaja sähkölaitetehtas, SCM Vaunu- ja komponenttiorganisaatio, Konecranes Finland Oy, Hyvinkää. (2014). Electrics factory tour [intranet]. 8 s. Saatavissa: <https://wiki.konecranes.com>

Savisalo, H. (1980). Vesi ja korroosio: Korroosion esiintymismuodot. ISBN 951-793-382-2. Insinööritieto Oy, Helsinki. Vol.80, 11 s.

Tekninen tietolomake SP 400 II. (2012). CRC Industries Europe bvba. Viite 10053. 3 s. [WWW]. Viitattu: 3.11.2015. Saatavissa: <http://tuotteet.etra.fi/tuotekuvat/e22025226/>

Tuotetiedot: Axxanol Z-Maxx, Axxanol Spray-G, Perigol 100 ja Perigol VCI 230. (2012-2013). Zerust Oy. Tilattavissa: <http://zerust.fi/tuotteet/esitteet/>

Tuotetiedot: Fluid Film. (2015). [WWW]. Viitattu 11.11.2015. Saatavissa: <http://www.karkitarvike.com/images/FLUID%20FILM.pdf>

Zeng, A., laatuinsinööri, SCM Vaunu- ja komponenttiorganisaatio, Dalian Konecranes Co., Ltd. (2015). Sähköpostiviestit ja kuvat tammiskuu-syyskuu 2015.

LIITE 1: OHJE KHW-VAIHTEIDEN RUOSTESUOJAUKSEEN

KONECRANES®
Lifting Businesses™

KHW-vaihteiden ruostesuojaus
KHC vaihdevaimistus
Tekijä: Janette Lankoski
Revisio ja päivätys: 02 / 20.8.2015

KHW-vaihteiden ruostesuojaus



- Vaihteen toisioakselti maalataan kuvassa 1 näkyvään kohtaan asti.
- Maalauksen jälkeen tulpataan vaihteen sivujen reitit kuvien 2 ja 3 mukaisesti (12 kpl punaista ja 14 kpl mustaa tulppaa).
- Kuljetuslavana käytetään FIN-lavaa (1000mm x 1200mm). Vaihte asetetaan lavalle niin, että toisioakselti osoittavat kulmiin, jolloin vaihte mahtuu kokonaisuudessaan lavalle. Vaihteen ympärille lavaan kiinnitetään vielä erilliset puupalat, jotka estävät vaihdetta kääntymästä (kuva 3). Tässä vaiheessa vaihteen alle asetetaan korroosionestopussi. Pussitus kannattaa suorittaa parin kanssa.



- Yläosan koneistettu pinta, kummankin toisioaksellin päät ja moottorin kiinnityskohta suojataan Zerust Perigol 100:lla (kuvat 4, 5 ja 6). Ennen suojausta pinnat puhdistetaan CRC Quicleenillä, tai vastaavalla.
- Suojatut aksellin kohdat kääntään kuplamuoviin ja telpataan kiinni, jotta vältyttäisiin koihulta (kuva 7).



- Suoja-aineen levityksen jälkeen yläosan kierrereitit tulpataan (20 kpl punaista tulppaa, kuva 8).
- Ylimääräinen suoja-aine pyyhitään kappaleen maalatuilta pinnolta tai pinnolta, jossa suoja-ainetta ei tarvita (kuva 9).
 - Lopuksi pussi suljetaan huolellisesti nippusteella niin, ettei sadevettä pääse valumaan pussin sisälle. Tarvittavat laput kiinnitetään pussin ulkopuolelle ja viimeisenä pussin pää nitataan lavaan kiinni, jotta se pysyy paikallaan tuulisellakin säällä (kuva 10). Mikäli pussin tulee reikä, tulee reitit telpata.

LIITE 2: OHJE HSS-VAIHTEIDEN RUOSTESUOJAJUKSEEN

KONECRANES®
Lifting Businesses™

HSS-vaihteiden ruostesuojausohje
KHC vaihdevaihdustus
Tekijä: Janette Lankoski
Revisio ja päiväys: 01 / 18.3.2015

HSS-vaihteiden ruostesuojausohje

- Nyökkisääntönä ruostesuojauksessa on, että kaikki koneistetut pinnat ruostesuojataan ennen pakkaamista. Aineina käytetään CRC SP400:sta ja Tectyl 122-A:ta.
- Ennen ruostesuojauksen aloittamista on tarkistettava, että pinnat ovat mahdollisimman puhtaat. Mikäli irtolikaa tai ruostetta esiintyy, tulee ne ensin poistaa.
- Kytäkinkopan vaihdetta vasten tuleva koneistettu pinta suojataan ennen asennusta. Asennuksen jälkeen ylimääräisiä reikiin laitetaan vielä erikseen suoja-ainetta. Vaihteen ensiöakseli suojataan ruostesuoja-aineella vaihteesta katsottuna olakkeeseen asti (punainen nuoli), loppuun akseliin laitetaan asennusrasvaa.

- Jarrupyörä suojataan kokonaisuudessaan ruostesuoja-aineella uunituksen jälkeen. Mikäli jarrukenkä asennetaan jo tehtaalta paikalleen, jarrupinta jätetään suojaamatta.



- Moottorin akseliin laitetaan asennusrasvaa. Moottorin liitettävät holkit ja kytkinpuolikas suojataan kokonaisuudessaan ruostesuoja-aineella.
- Myös jarrukien kiinnitysalustat suojataan.



- Holkkiakseli suojataan kokonaisuudessaan kokoonpanon jälkeen (kierre mukaan lukien). Tolsloaksellin ulostulevaan koneistettuun pintaan laitetaan mustaa tektyyliä (punainen nuoli). Myös kytkinpuolikkaan kaulaan sekä asennusholkkiliin laitetaan lopuksi tektyyliä.



- Lopuksi vaihteen ylimääräiset relät tulipataan.



LIITE 3: OHJE KHSS-VAIhteIDEN RUOSTESUOJAUKSEEN

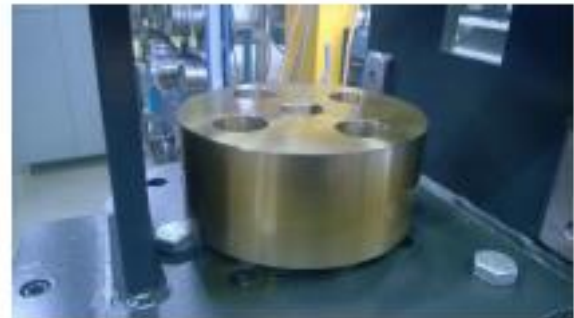
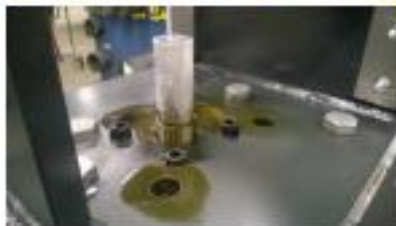
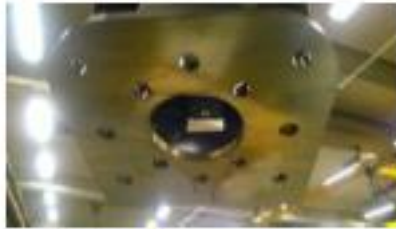
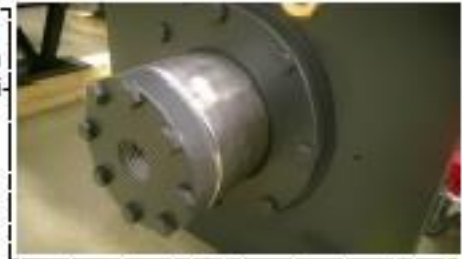
KONECRANES®
Lifting Businesses™

KHSS-vaihteiden ruostesuojausohje
KHC vaihdemallistus
Tekijä: Janette Lankoski
Revisio ja päivitys: 01 / 31.3.2015

KHSS-vaihteiden ruostesuojausohje

- Nyrkkisääntönä ruostesuojauksessa on, että kaikki koneistetut pinnat ruostesuojataan ennen pakkaamista. Aineena käytetään CRC SP400:sta ja Tectyl 122-A:ta.
- Ennen ruostesuojauksen aloittamista on tarkistettava, että pinnat ovat mahdollisimman puhtaat. Mikäli irtolikaa tai ruostetta esiintyy, tulee ne ensin poistaa.
- Toisioakseli tulee suojata tehtaalla varusteluvaiheessa, vaikka myöhemmässä asennusvaiheessa siihen kiinnitettäisiinkin puristusholkki. Suoja-aineena voidaan SP400: sijaan käyttää myös muuta, helpommin poistettavissa olevaa suoja-ainetta.

- Komponentit (mm. kytkinkoppa, jarrupyörä, kytkimen tappipuolikas, ensiöakseli) tulee suojata jo varustelun yhteydessä niin, että kaikki pinnat ovat kokonaisvaltaisesti suojattuja. Jarrupintaan voidaan käyttää SP400:n tilalla helpommin poistettavissa olevaa suoja-ainetta.



- Tektyyliä levitetään kytkimen tappipuolikkaan kaulaan ja jarrukengän kiinnityslevyt suojataan.



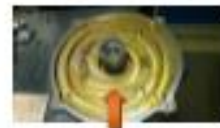
LIITE 4: OHJE QM6- JA QM7-VAIHTEIDEN RUOSTESUOJAUK- SEEN

KONECRANES[®]
Lifting Businesses[™]

QM6- ja QM7-vaihteiden ruostesuojausohje
KHC vaihdemallistus
Tekijä: Janelle Lankoski
Revisio ja päiväys: 01 / 9.3.2015

QM6- ja QM7-vaihteiden ruostesuojausohje

- Nyrkkisääntönä ruostesuojauksessa on, että kaikki koneistetut pinnat ruostesuojataan ennen pakkaamista. Aineena käytetään CRC SP400:sta.
- Ennen ruostesuojauksen aloittamista on tarkistettava, että pinnat ovat mahdollisimman puhtaat. Mikäli irtolikaa tai ruostetta esiintyy, tulee ne ensin poistaa.
- Mikäli moottori asennetaan kokoonpanossa, moottorin kiinnityskohdasta ruostesuojataan ne pinnat, joihin moottorin kiinnityslaippa ei koske.
 - Moottorin asennuksen jälkeen ruostesuojataan tai maalataan ne koneistetut pinnat, jotka jäävät näkyviin.
 - Myös moottoreiden pohja ruostesuojataan.
- Toisioakseli suojataan sekä ulko- että sisäpuolelta. Suojaus pitää tehdä huolellisesti tiivisteiden huoleen asti, jotta paljasta koneistettua pintaa ei jää näkyviin.
 - Mikäli vaihteen toisioakseliin kiinnitetään koneistettu laippa, laippa pitää olla huolellisesti maalattuna. Kuitenkin itse toisioakseli suojataan joka tapauksessa.



Ennen

Jälkeen



LIITE 5: OHJE QM9-VAIHTEDEN RUOSTESUOJAUKSEEN

KONECRANES
Lifting Businesses™

QM9-vaihteiden ruostesuojausohje
KHC vaihdemallistus
Tekijä: Janette Lankoski
Revisio ja päiväys: 01 / 9.3.2015

QM9-vaihteiden ruostesuojausohje

- Nyökkisääntönä ruostesuojauksessa on, että kaikki koneistetut pinnat ruostesuojataan ennen pakkaamista. Aineena käytetään CRC SP400:sta.
- Ennen ruostesuojauksen aloittamista on tarkistettava, että pinnat ovat mahdollisimman puhtaat. Mikäli irtolikaa tai ruostetta esiintyy, tulee ne ensin polstaa.



- Ensioaksella ympäröivät koneistetut alueet suojataan ja itse aksellin laitetaan rasvaa.



- Köysipyörän koneistetut osat suojataan. Lisäksi tulee huolehtia, että akseli, johon köysipyörä kiinnitetään, on myös suojattu.
- Vaihteeseen köysipyörän puolelle tulee lukkorengas ja köysipyörän vastakkaiselle puolelle kansli. Ennen kuin kansli kiinnitetään paikalleen, sen sisäpuoli (maalaaamaton pinta) suojataan ruostesuojainaineella.

LIITE 6: OHJE QM10-VAIHTEIDEN RUOSTESUOJAUKSEEN

KONECRANES
Lifting Businesses™

QM10-vaihteiden ruostesuojausohje
KHC vaihdeväimistys
Tekijä: Janette Lankoski
Revisio ja päiväys: 01 / 9.3.2015

QM10-vaihteiden ruostesuojausohje

- Nyrkkisääntönä ruostesuojauksessa on, että kaikki koneistetut pinnat ruostesuojataan ennen pakkaamista. Aineena käytetään CRC SP400:sta.
- Ennen ruostesuojauksen aloittamista on tarkistettava, että pinnat ovat mahdollisimman puhtaat. Mikäli irtolikaa tai ruostetta esiintyy, tulee ne ensin poistaa.
- Toisioakseli ruostesuojataan tiivisteiden huuleen tai vaihteen runkoon asti.
 - Toisioakselin ulostulevaan osa suojataan ensin kokonaan, jonka jälkeen siihen asennetaan puristajakiekko (shrink disc), joka tulee myös suojata. Maalattu lukkorengas kiinnitetään viimeisenä akselin päähän.



- Ensioakseli ja sen yhteydessä olevat koneistetut pinnat suojataan myös kevyesti.



LIITE 7: RTG:N SÄHKÖHUONEEN SUOJAUSOHJE (BASIC)

KONECRANES®
Lifting Businesses™

RTG:n sähköhuoneen korroosiosuojausohje (basic)
KHC laatu
Tekijä: Janette Lankoski
Revisio ja päivämäärä: 01 / 31.3.2015

RTG:n sähköhuoneen korroosiosuojausohje (suojaustaso: basic)

- Sähköhuoneen sisään sijoitetaan yhteensä 16 kappaletta Zerustin VC2-1-kapselia niin, että 4 kappaletta on REG-kaapin sisällä ja loput avoimessa osassa mahdollisimman tasaisesti koko seinän matkalla.
- Vihreää ZerustExcor-kalvoa laitetaan tauluseinälle koko pituudelle (noin 6 metriä) ja se kiinnitetään joko teippaamalla tai magneeteilla. Teippauksessa tulee käyttää pakkasenkestävää teippiä. Ala-putoli jätetään teippaamatta, jolloin se työnnetään taulun alle mahdollisimman tiiviisti.
- Huoneen sisään sijoitetaan 4 kappaletta konttikulvalmia niin, että molempiin päihin tulee 1 kappale ja tauluseinän vastakkaiselle puolelle keskele 2 kappaletta.



LIITE 8: RTG:N SÄHKÖHUONEEN SUOJAUSOHJE (HEAVY)

KONECRANES®
Lifting Businesses™

RTG:n sähköhuoneen korroosiosuojausohje (heavy)
KHC laatu
Tekijä: Janette Lankoski
Revisio ja päivämäärä: 01 / 31.3.2015

RTG:n sähköhuoneen korroosiosuojausohje (suojaustaso: heavy)

- Sähköhuoneen sisään sijoitetaan yhteensä 16 kappaletta Zerustin VC2-1-kapsella niin, että 4 kappaletta on REG-kaapin sisällä ja loput avoimessa osassa mahdollisimman tasaisesti koko seinän matkalla.



- Vihreää ZerustExcor-kalvoa laitetaan tauluseinälle koko pituudelle (noin 6 metriä) ja se kiinnitetään joko teippaamalla tai magneeteilla. Teippauksessa tulee käyttää pakkasen kestävästä teippiä. Ala-osa jätetään teippaamatta, jolloin se työnnetään taulun alle mahdollisimman tiiviisti.



- Huoneen sisään sijoitetaan 4 kappaletta konttikalvoja niin, että molempiin päihin tulee 1 kappale ja tauluseinän vastakkaiselle puolelle keskele 2 kappaletta.



Kun tarvittavat suojaukset on tehty sisäpuolelle, ulkopuoli vii-
melletään Zerust Valeno Campo
-lakana ja -hupulla. Lakana levit-
etään kontin alle niin, että ylitulevat
reunat teipataan kontin seiniin, ja
huppu laitetaan päälle. Lopuksi
lakana ja huppu liitetään yhteen
kalvoa lämmittämällä, ja myös koko
ulkopuolinen suojaus kutistetaan
kontin ympärille tiiviiksi
lämmittämällä.

