

## ALKULAUSE

Opinnäytetyö on tehty Raahessa syyslukukaudella 2011. Työn on tehnyt Mikko Pulli Ruukki Metals Oy:n toimeksiannosta. Opinnäytetyön valvojana toimi Oulun seudun ammattikorkeakoulun Raahen kampuksen laboratorioinsinööri Heidi-Marja Liimatainen ja työelämäkoordinaattorina vanhempi tuotekehitysinsinööri Esa Virolainen Ruukki Metals Oy:ltä. Kiitokset kuuluvat valssaamon ja tutkimuskeskuksen henkilökunnasta erityisesti Esa Virolaiselle, Kalevi Hämäläiselle, Pasi Lehtikankaalle, Pekka Paganukselle, Veli Mattilalle, Ville Yypänaholle, Tero Pisilälle ja Kari Kastellille. Haluan kiittää avusta myös Heidi-Marja Liimataista sekä OAMK:n Raahen kampuksen ja Ruukin tehtaan informaatikoita.

Mikko Pulli

## TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

---

Tekijä: Mikko Pulli

Opinnäytetyön nimi: Peitattujen teräslevyjen korroosiosuojauksen kehittäminen

Työn ohjaajat: Heidi-Marja Liimatainen, Esa Virolainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2012

Sivumäärä: 48 + 3 liitesivua

---

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Ruukki Metals Oy. Peitattujen teräslevyjen korroosiosuojauksen kehitystarpeet tekivät opinnäytetyön tekemisen aiheelliseksi. Työn tavoite oli löytää korroosiota aiheuttavat tekijät teräslevyjen varastoinnin ja kuljetuksen aikana sekä valita tai kehittää tarvittavat parannukset korroosiosuojaukseen ja pakkaamiseen. Käytettävä tietoperusta saatiin Ruukki Metalsin tuotannon ja tutkimuskeskuksen henkilöstöltä, OAMK:n Raahen kampuksen ja Ruukki Metalsin Raahen tehtaan kirjastoilta, alan julkaisuista ja standardeista.

Työssä suoritettiin laboratoriotutkimuksia mahdollisten kloridien löytämiseksi teräslevyiltä ja lopuksi kenttätutkimus, jossa verrattiin eri korroosionestomenetelmien toimivuutta. Klorideja löydettiin melko pieniä määriä SEM/EDS-analyysillä. Kenttätutkimus osoitti tehokkaimmiksi menetelmiksi korroosionestokemikaalilla käsitellyn kiristekreppipaperin ja VCI-paperin (volatile corrosion inhibitor) yhdessä tiiviin muovipakkauksen kanssa.

Opinnäytetyön päätuloksena löydettiin käytössä olevien korroosionestomenetelmien ja pakkaustekniikan merkittävimmät puutteet ja suunniteltiin niille kehitystoimenpiteitä, kuten VCI-ruiskutuslaitteiston siirtäminen taaksepäin tuotantolinjalla ja korroosionestoöljyn määrän lisääminen. Pakkaustekniikassa tärkeimmäksi kehityskohteeksi havaittiin pakkausten tiiviyden parantaminen. VCI-paperin tai toimintaperiaatteeltaan samankaltaisen VCI-kalvon havaittiin olevan lupaavia menetelmiä teräslevyjen väliaikaisessa korroosiosuojauksessa ja näitä tuotteita tulisi testata lisää parhaan vaihtoehdon löytämiseksi.

---

Asiasanat: Korroosio, korroosionesto, peittäminen, teräs, varastointi, kuljetus, pakkaaminen

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree programme in Mechanical and Production Engineering

---

Author: Mikko Pulli

Title of thesis: Developing Corrosion Protection of Pickled Steel Sheets

Supervisors: Heidi-Marja Liimatainen, Esa Virolainen

Term and year of completion: Spring 2012

Number of pages: 48 + 3 appendices

---

This Bachelor's thesis was assigned by Ruukki Metals Ltd. The corrosion protection of pickled steel sheets needed further development and made this thesis necessary. The objective was to find the causes of corrosion that appear on steel sheets during the storage and transportation, as well as to select or develop the needed improvements in corrosion protection. The knowledge base used in this thesis was provided by Ruukki Metals's production and research staff and information specialists of Oulu University of Applied Sciences and Ruukki Metals Ltd. Also, publications and standards of the field were used.

Laboratory studies were performed to find out if chlorides are present on the steel sheets. Finally, a field trial to compare different corrosion prevention methods was performed. Relatively small amounts of chlorides were found using an SEM/EDS analysis. The field study pointed out that a stretch crêpe paper treated with a corrosion preventive chemical and a VCI (volatile corrosion inhibitor) paper used together with a water-proof plastic wrap were the most efficient methods in preventing rust.

As the main result of this thesis the most significant limitations of the currently used corrosion protectives and packaging technology were found and the measures of development were planned. These include moving the VCI spraying unit backwards on the production line and increasing the amount of anti-corrosion oil applied. In the packaging technology the most important target of development discovered was making the packages more water-proof. The VCI paper or the similarly acting VCI film were observed to be promising methods in the temporary corrosion protection of steel sheets and these products should still be tested to find the most suitable option.

---

Keywords: corrosion, corrosion protection, pickling, steel, storing, transportation, packaging

# SISÄLLYS

ALKULAUSE.....	1
SISÄLLYS.....	4
1 JOHDANTO.....	6
1.1 Teräksen peittäus.....	6
1.2 Teräksen arkittaminen ja pakkaaminen.....	7
1.3 Käytetyt korroosionestomenetelmät Ruukki Metalsilla.....	8
2 KORROOSION JA SEN ESTÄMISEN TEORIAA.....	11
2.1 Korroosio yleisesti.....	11
2.2 Kemikaalien ja ilmankosteuden vaikutus korroosioon.....	11
2.3 Työhön liittyvät korroosion esiintymismuodot.....	12
2.4 Yleisesti käytettyjä väliaikaisia teräksen suojaustapoja.....	14
2.5 Korroosionestoinhibiittien toiminta.....	15
3 MÄÄRITELMÄ.....	17
4 TOIMINTAYMPÄRISTÖ.....	18
4.1 Teräslevyjen pakkaukset.....	18
4.2 Varastointiolosuhteet.....	19
4.3 Laitteiston asettamat rajoitukset.....	20
5 STANDARDIT JA SELVITYKSET.....	21
5.1 Aiheeseen liittyvät standardit.....	21
5.2 Kilpailijoiden korroosionestomenetelmät.....	22
6 ANALYYSI NYKYTILANTEESTA.....	23
6.1 Korroosionestoaineiden ja niiden käyttötapojen toimivuus.....	23
6.2 Pakkaustapa.....	25
7 TUTKIMUKSET.....	27
7.1 Kloridimääritykset.....	27
7.1.1 Kloridimääritysten toteutus.....	27
7.1.2 Kloridimääritysten tulokset.....	28
7.2 Levynippujen korroosiotesti.....	31
7.2.1 Korroosiotestin toteutus.....	31
7.2.2 Korroosiotestin tulokset.....	32

8 JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET .....	40
8.1 Pakkaustekniikan parantaminen .....	40
8.2 Suojaöljymenetelmän parantaminen.....	41
8.3 VCI-paperin käyttömahdollisuus .....	42
8.4 VCI-kalvon käyttömahdollisuus.....	43
8.5 Muita kehittymismahdollisuuksia .....	43
9 YHTEENVETO.....	45
LÄHDELUETTELO .....	47
LIITTEET .....	49

# 1 JOHDANTO

Ruukki Metalsin Raahen terästehtaan kuumavalssatuissa ja peitatuissa teräslevyissä on ajoittain esiintynyt korroosiota tuotteiden varastoinnin ja kuljetuksen aikana käytetyistä korroosionestomenetelmistä huolimatta. Levyjä on ollut ruosteessa erityisesti päältä ja reuna-alueiltaan asiakkaalle saapuessaan. Ilmiötä on esiintynyt erityisesti syys- ja talviaikaan. Asiaan liittyy silloin tällöin ulkopuolelta teräslevypakkauksiin pääsevä vesi ja mahdollisesti myös kondenssi-ilmiöstä peräisin oleva kosteus. Tämän työn tarkoitus on tutkia asiaa ja esittää parannusehdotuksia tilanteeseen.

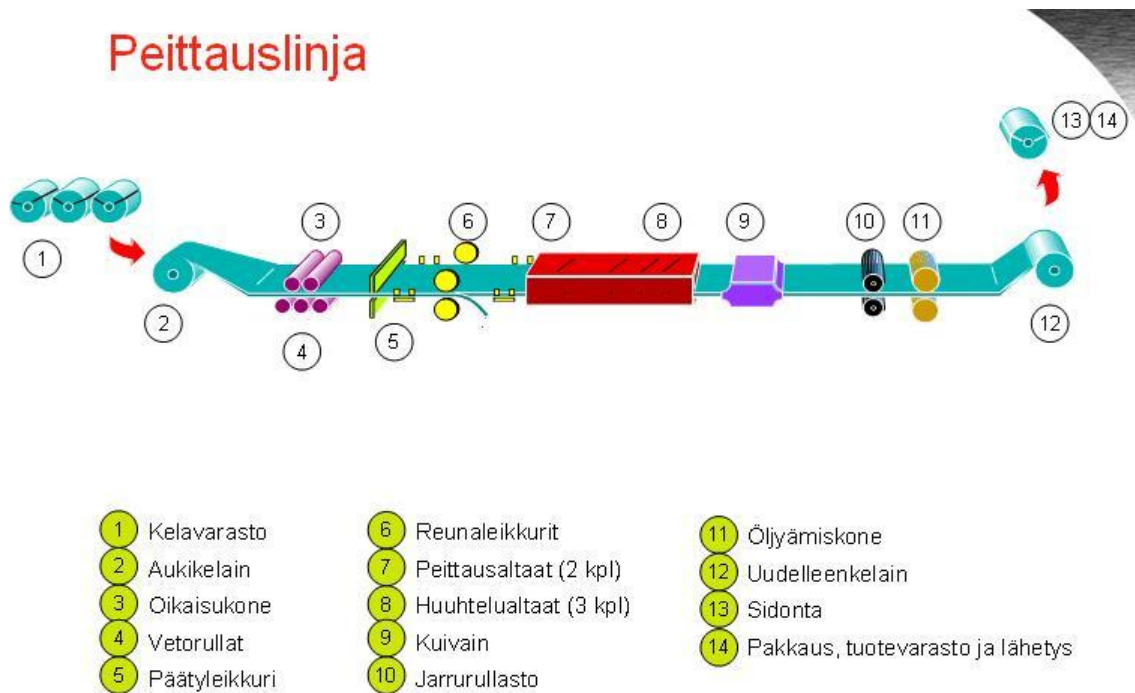
## 1.1 Teräksen peittäus

Valssausprosessissa teräksen pintaan syntyy korkeassa lämpötilassa hapettumisreaktiona raudan oksideja eli hematitiista, magnetiitista ja/tai wüstiitista koostuvaa valssihilsettä (Virolainen 2010, 4). Hilse on poistettava ennen teräksen hitsausta, maalausta tai muuta jatkokäsittelyä. Hilseen poisto terästehtaalla tapahtuu happopeittauksella eli poistamalla valssihilsekerros syövyttämällä suola-, rikki-, kloridi-, fosfori- tai typpihappokylvyssä. Ruukilla ja yleisesti Euroopassa on käytössä suolahappo (HCl), Pohjois-Amerikassa taas rikkihappo ( $H_2SO_4$ ).

Ruukki Metalsin Raahen tehtaalla peittäusprosessissa käytetään 8 - 9 % suolahappoliuosta ja peittäuslämpötila on 85 - 90°C. Teräsnauhan etenemisnopeutta linjalla ja sitä kautta peittäusaikaa voidaan säätää tuotteen laadun ja paksuuden mukaan. Peittäuslinjan huuhteluveteen kertyy mm. rautaa ja muita epäpuhtauksia, joten huuhteluvesi vaihdetaan ja laitteisto huolletaan tiistaisin viikkohuollossa. (Hämäläinen 2011) Myös peittäushappoon kertyy epäpuhtauksia. Esimerkiksi happoon liukeneva rauta nopeuttaa peittäusprosessia ja siten vaikuttaa peittäustulokseen, ellei asiaa huomioida peittäusajassa (Forsén 2010). Prosessi on jatkuva, joten happoa vaihdeta kerralla vaan vähitellen. Liuoksen pH:ta mitataan ja happoa lisätään tarvittaessa. Likaantunut happo lähetetään Ruukin Hämeenlinnan toimipisteeseen, jossa se regeneroidaan uudelleen käytettäväksi.

Peittäushappoon lisätään myös inhibiittainetta (mm. tiokarbamidi, kinoliini tai dietyylinitriamiini), joka estää haitallisen vedyn muodostumisen ja itse teräksen syöpymisen eli ylipaistautumisen

(Virolainen 2010, 20). Raahessa käytettävä peittäusinhibiitti on tuotemerkiltään LUBRO IB 50. Peittauksen jälkeen teräs huuhdellaan vedellä pinnan neutraloimiseksi ja syöpmisen pysäyttämiseksi, sekä lopuksi ajetaan kuivausuunin läpi. Käytettävä vesi on tehtaan kondenssivettä tai yleisen vesijohtoverkon vettä. Vesi vaihdetaan viikoittain. Huuhtelun ja kuivauksen jälkeen teräsnauha ajetaan takaisin kelaksi. Puhdas peitattu teräspinta on välittömästi altis korroosiolle, joten se on suojattava jollakin korroosionestomenetelmällä.



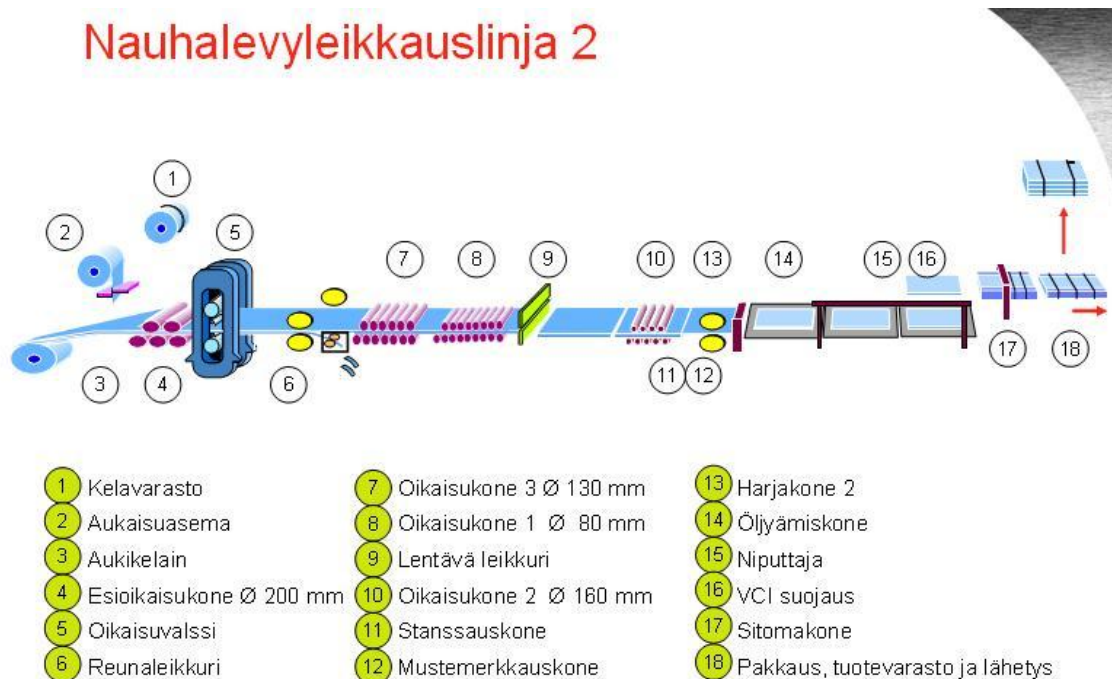
KUVA 1. Peittäuslinjan kaaviokuva. (Paganus 2011)

## 1.2 Teräksen arkittaminen ja pakkaaminen

Peittauksen jälkeen teräskelat, joista halutaan arkkeja, ajetaan Nauhalevyleikkauslinjalle 2 tai 3 (Arkki 2 ja 3). Arkki 2:lla kela ensin avataan ja oikaistaan. Nauhan reunat voidaan ajaa reunaleikkurilla, mikäli tarpeellista. Tämän jälkeen nauhan suoruutta parannetaan oikaisukoneilla, joissa on 130 mm ja 80 mm rullat. Oikaisukoneiden jälkeen linjalla on ”lentävä leikkuri”, joka liikkuu teräsnauhan mukana ja pilkkoo siitä määrätyn pituisia arkkeja. Arkkit oikaistaan 160 mm oikaisukoneella. Sitten arkkeihin tehdään stanssukset ja mustemerkinnät. Arkkilinjojen loppupäässä on vielä öljämiskoneet, joilla arkit voidaan tarvittaessa korroosiosuojata. Tämä tapahtuu rullilla, joiden päälle syötetään öljyä, ja rullat siirretään eteneviä arkkeja vasten.

Valmiit arkit niputetaan, ruiskutetaan VCI:llä, jos näin on haluttu, ja siirretään nippujen paketointiin. Arkkilinjoilla 2 ja 3 on eroavaisuuksia mm. oikaisukoneiden, leikkureiden ja mahdollisten teräksen vahvuuksien osalta.

## Nauhalevyleikkauslinja 2



KUVA 2. Nauhalevyleikkauslinja 2. (Paganus 2011)

### 1.3 Käytetyt korroosionestomenetelmät Ruukki Metalsilla

Nykyisin peitatus teräslevyt suojataan Raahen tehtaalla joko suojaöljyllä tai VCI-aineella. Ulkomaan vientiin menevistä levyistä yhä jopa yli puolet öljytään. Suojaöljynä käytetään Shell Ensis PQ 144:ää. Sopivaksi määräksi tuotannossa ja asiakkaiden toimesta on koettu 0,5 g/m<sup>2</sup> (Hämäläinen 2011). Kaikilla linjoilla tosin öljyn määrää ei ole mahdollista tarkasti säätää. Öljy levitetään koneellisesti. VCI- tai VpCI -aine tarkoittaa vesiliukoista, haihtuvaa inhibiittia (Volatile Corrosion Inhibitor tai Vapor Phase Corrosion Inhibitor). Käytetty aine on tuotemerkiltään Cortec VpCI-389 SF. Valmistaja kertoo sen perusversion tarjoavan parhaan suojan heidän vesipohjaisista tuotteistaan. Se on suunniteltu erityisesti ulkosäilytykseen ja suolaisiin oloihin (Cortec Corporation 2007). SF-versiota on jollakin tavalla modifioitu Ruukki Metalsia varten, eikä sen tarkkaa koostumusta ole tiedossa. Aine laimennetaan Ruukilla noin 30 - 40 % vahvuuteen vedellä ja ruiskutetaan levynipun reunoille. Tämä korroosionestoinhibiitti ja peittauksessa käytetty inhibiitti ovat eri aineita eivätkä liity toisiinsa.



Molemmat menetelmät ovat yleisesti käytettyjä Ruukki Metalsin Raahen tehtaalla. Suojaöljy on yksinkertainen tapa estää korroosiota, mutta kaikki asiakkaat eivät halua tuotteitansa öljyttynä, sillä sen poistaminen vaatii esimerkiksi alkali-, liuotin- tai emulsiopesun. Lisäksi pinnan puhdistuksessa syntyvästä öljyjätteestä on päästävä eroon. Suojaöljyn suosio on nykyään laskussa myös ympäristöhaittojen takia.

Vesiliukoinen inhibiitti sen sijaan on puhtaampi tapa suojata teräslevyt. Sitä ei välttämättä tarvitse pestä pois lainkaan ennen teräksen maalausta, hitsausta, leikkausta tai muuta jatkokäsittelyä. VCI-aineen ruiskutuksesta jäävä paksumpi kerros tulee kuitenkin poistaa. Inhibiitit ovat myös ympäristöystävällisempi tapa mm. pienten hiilivetypäästöjen ansiosta ja työturvallisuus on parempi (Arponen 1994, 4).

Näiden lisäksi käytetään teräskelojen käsinpakkauksessa Walkin RPC-kiristekreppipaperia. Tuotemerkiltään se on Walki@Met 25 R 170 g/m<sup>2</sup>. Tässä numero 25 tarkoittaa, että paperissa on päällä kiristekalvo, välissä hotmelt-kerros ja alla terästä vasten tuleva korroosionestokäsitelty krepattu voimapaperi. Kirjain R tarkoittaa, että tuote sisältää korroosionestokemikaalia 7 g/m<sup>2</sup> (Hytti 2011) ja 170 g/m<sup>2</sup> tuotteen massaa pinta-alayksikköä kohden eli käytännössä paperin vahvuutta. Tuotteen korroosionestokemikaali toimii inhibiitin tavoin, mutta siinä on erilaiset kantoaineet (Pietilä 2011).

Etenkin VCI-aineen käytön yhteydessä on havaittu puutteita korroosiosuojauksessa. Ne näyttävät liittyvän talviolosuhteisiin. Myös öljytyissä levyissä on ollut korroosiota, tosin harvemmin. Öljytyjen levyjen tapauksessa reklamaatioihin näyttää liittyvän yleensä rikkiäinen pakkaus ja sisään päässyt vesi.



*KUVA 3. Avattu VCI-ruiskutuksella suojattu teräslevypakkaus. Asiakas on lähettänyt pakkauksen takaisin. Pakkaukseen on selvästi jäänyt kosteutta ja ruostuminen on alkanut.*

## 2 KORROOSION JA SEN ESTÄMISEN TEORIAA

### 2.1 Korroosio yleisesti

Korroosio on materiaalin tuhoutumista kemiallisesti tai sähkökemiallisesti ympäristön vaikutuksesta. Metalleilla korroosio on yleensä sähkökemiallinen prosessi. Tämä vaatii elektrolyytin eli sähköisten varausten kulkureitin sekä positiivisesti ja negatiivisesti varautuneet kappaleet tai kappaleen osat (anodi ja katodi). Elektrolyytinä voi toimia esimerkiksi vesi. Korroosion tapahtuessa yhden ainoan metallikappaleen pinnalta löytyy siitä sekä anodi- että katodikohtia.

Raudan ja teräksen tapauksessa puhutaan yleisesti ruostumisesta, joka on rauta-atomien yhdistymistä happeen. Korroosiotuotteita ovat oksidit ja suolat. Prosessissa itse materiaali menettää atomejaan, liukenee eli kuluu. Materiaalin tuotantoon käytetty raaka-aine ja energia lopulta menetetään. Tavallisesti suojaamaton teräs on korroosiolle altis, reaktiivinen. Tässä tapauksessa korroosioneston tarkoitus on estää tämän taipumuksen toteutuminen eli saada teräksen pinta passiiviseksi. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2008. 18 - 22)

### 2.2 Kemikaalien ja ilmankosteuden vaikutus korroosioon

Kunnossapitoyhdistys Promaintin Korroosio käsikirjan (2008, 791) mukaan ns. aggressiiviset ionit, kuten kloridit ja fosfaatit, pyrkivät vastustamaan inhibiittien vaikutusta. L. E. Helwig (1980) on tehnyt tutkimuksen kloridien ja ilmankosteuden vaikutuksesta korroosioon. Hän määritteli kloridi- ja sulfaattikontaminaation vähimmäismäärän, joka vaikuttaa korroosiota kiihdyttävästi kosteissa säilytysolosuhteissa, ja suurimman suhteellisen kosteuden, jossa tällä tavalla likaantunutta terästä voidaan säilyttää ilman korroosion esiintymistä. Tutkimuksen tuloksena hän päätteli, että jo 0,4 mg/m<sup>2</sup> klorideja aiheuttaa ruostumista ilman suhteellisen kosteuden ylittäessä 30 %. Sulfaateilla vastaavat luvut olivat 0,7 mg/m<sup>2</sup> ja 55 %. Hän myös osoitti, että kriittinen suhteellinen kosteus kontaminoituneen teräksen ruostumiselle määräytyy rautakloridin tai rautasulfaatin hygroskooppisuudesta. Teräksen syöpyminen kiihtyy suhteellisen kosteuden ylittäessä 60 - 65 %, mikäli ilmassa on rikkidioksidirasitusta. Jos korroosio pääsee alkamaan, riittää sen etenemiseen pienempikin kosteus. Sadevesi on vähemmän haitallista kuin kondenssivesi, sillä se on melko puhdasta ja laimentaa epäpuhtauksia, kun taas kondenssiveden tiivistyessä pintaan syntyy tehokkaasti toimiva elektrolyyttikerros. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2008, 225)

### 2.3 Työhön liittyvät korroosion esiintymismuodot

Kuvamateriaalin perusteella eniten esiintyvä korroosimuoto on yleinen korrosio. Pinnalle muodostuu anodi- ja katodikohtia, joiden vaihtaessa paikkojaan koko metallin pinta syöpyy tasaisesti ilmasto-olosuhteille kuten kosteudelle ja mahdollisesti suoloille ja muille epäpuhtauksille altistuneissa kohdissa (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2008, 102). Pitkään jatkuneena se aiheuttaa seinämäpaksuushäviötä, tässä tapauksessa ongelmat ovat lähinnä ulkonäöllisiä.

Myös niin sanottua lentoruostetta on epäilty mahdollisten kloridijäämien takia. Termi lentoruoste tarkoittaa korroosiota, joka esiintyy paikallisesti ja pistemäisenä ympäristöstä pinnalle päätyneen haitallisen tekijän vaikutuksesta (Legault 1983, 3). Yleisesti ilmiö tunnetaan pistekorrosiona (lähteessä "speckled rust", yleensä kuitenkin "pitting corrosion"). Yksinkertaistettuna positiivisten metalli-ionien liuetessa syntyy positiivisesti varautunut alue, johon negatiivisesti varautuneet kloridi-ionit hakeutuvat. Syntyy metallikloridia, joka reagoi veden kanssa ja muodostaa lisää kloridi- ja vetyioneja, jolloin reaktio kiihtyy entisestään. Samalla syöpymä tavallaan suojaa ympäröivän teräksen katodisesti (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2008, 103). Myös tämä korroosiotyyppi liittyy veden läsnäoloon pakkauksessa, mahdolliset kloridit vain kiihdyttävät korroosiota paikallisesti.

Joskus näyttää esiintyvän myös "mustaa ruostetta" (black rust, storage stain), kuten kuvassa 4. Tätä korroosiolajia voi syntyä, kun ympäröivän lämpötilan lasku aiheuttaa kondenssiveden muodostumista teräksen pinnalle. Vesi imeytyy levyjen tai pakkauksen ja levyn väleihin kapillaari-ilmion takia. (Legault 1983, 5) Korroosiotuote on mustaa magnetiittia,  $Fe_3O_4$ , jota syntyy punaisen ruosteen sijasta ympäristön happipitoisuuden ollessa pieni.  $Fe_3O_4$  ei ole punaisen ruosteen  $Fe_2O_3$  tavoin haitallista, vaan sen eteneminen pysähtyy ja samalla suojaa alla olevaa terästä. Ulkonäköhaittojen takia sitäkään ei silti saisi esiintyä.



*KUVA 4. Asiakkaan ottama kuva. Öljytyt levyt ovat päässeet kastumaan pakkauksessa.*

## 2.4 Yleisesti käytettyjä väliaikaisia teräksen suojaustapoja

Ison-Britannian National Corrosion Service (2003, 4-11) on jaotellut metallien väliaikaiset korroosiosuojaustavat eri ryhmiin (liite 1). Ruukki Metals käyttää tällä hetkellä terästuotteillaan seuraavia suojaustapoja:

- TP 6 a (suojaava ei-liuotinöljy, pehmeä öljykalvo). Toimintaperiaate on yksinkertainen. Pinnalle levitetty öljy muodostaa ohuen mutta tiiviin kalvon, joka pitää kosteuden, hapen ja epäpuhtaudet poissa teräksen pinnalta. Elektrolyyttikerrosta ei pääse muodostumaan.
- TP 9 (haihtuva korroosionestoinhibiitti). Inhibiittien toiminnasta kerrotaan kappaleessa 2.5.
- TP 10 (kontakti-inhibiitit). Kelojen pakkauspaperi Walkimet sopii parhaiten tähän ryhmään. Suojausperiaate sama kuin haihtuvilla inhibiiteillä, mutta kantoaineissa on eroa, joten korroosionestoaine toimii pääasiassa vain suorassa kontaktissa teräksen kanssa.

Tarkoitus olisi parhaassa tapauksessa saada parannettua nykyisten menetelmien käyttötapaa riittävästi, jolloin ei olisi tarpeen kokeilla kokonaan uusia suojausmenetelmiä. Tällöin säästyttäisiin suuremmilta muutoksilta ja kustannuksilta arkkilinjolla. Tietysti on huomattava, että myös siirtyminen saman suojaustaparyhmän sisällä esimerkiksi nestemäisestä VCI:stä inhibiittipaperiin on tuotantoteknisesti suuri muutos. Näiden luokiteltujen tapojen lisäksi on olemassa muita korroosionestotapoja, kuten ilmankosteutta sitovia tuotteita, inertti suojakaasu ympäristö metallituotteelle sekä monikerroksista eristekelmua, joka eristää kosteutta ja toimii yhdessä VCI:n kanssa.



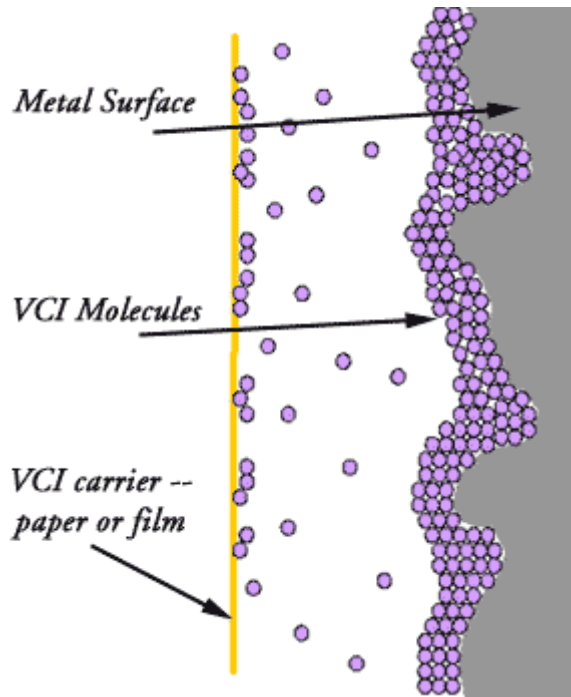
KUVA 5. VCI-paperia. Kuva <http://www.protec-vci.com/Paper.html>. 8.11.2011.

## 2.5 Korroosionestoainhibiittien toiminta

Jotta ainetta voidaan kutsua VCI-tuotteeksi (Volatile Corrosion Inhibitor), vaaditaan siltä kahta ominaisuutta: sen on oltava haihtuvaa ja haihtuvan höyryn on kyettävä estämään korroosiota. Höyryt kuljettavat haihtuessaan levitetystä kerrokselta, paperilta tms. suojamolekyylejä metallin pinnalle. Sähköisesti varautuneet molekyylit hakeutuvat metalli-ioneihin passivoiden korroosiolle alttiin pinnan. Tämän vuoksi pinnan on oltava puhdas, jotta aine tarttuu ja suojaa pinnan mahdollisimman tarkasti. Suojakerros on vain 1-5 molekyylin paksuinen. Se kuitenkin riittää eristämään pinnan hapen ja elektrolyyttien vaikutukselta. Hiiliteräkselle tehokkaita inhibiittejä ovat Korroosioikäkirjan (Kunnossapityöyhdistys Promaint 2008, 789) mukaan kromaatit, nitriitit, bentsoaatit, boraatit ja fosfaatit.

Vuorisen ym. (2004, 281) mukaan VCI vaatii toimiakseen tehokkaasti oikean höyrynpaineen ympäröivässä lämpötilassa. Kun höyrynpaine on liian matala, esimerkiksi  $10^{-6}$  mmHg, tehokkaaseen leviämiseen ja suojaamiseen vaadittava höyrynpitoisuus muodostuu aivan liian

hitaasti ja suojaus jää puutteelliseksi. Jos höyrynpaine on liian korkea (>1 mmHg), suojauksen tehokkuus jää lyhytaikaiseksi, koska ainetta kuluu nopeasti: aine poistuu suojattavalta pinnalta haihtumalla. Höyrynpaine riippuu aineen kemiallisesta koostumuksesta ja on verrannollinen lämpötilaan. Kylmässä höyrynpaine laskee ja inhibiitin leviäminen hidastuu.



KUVA 6. VCI-tuotteiden toimintaperiaate. <http://www.daubercromwell.com/howvciworks.asp>

21.11.2011.



### 3 MÄÄRITELMÄ

Tämän työn tavoitteena on löytää peitatuilla teräslevyillä ajoittain esiintyvän korroosion syyt ja kehittää tarvittavat parannukset tilanteeseen. Metallin suojaaminen korroosiolta on tapahtuma, johon vaikuttavat lukuisat tekijät ja jota on siksi ajateltava kokonaisuutena. Tämän vuoksi työn tekeminen aloitetaan selvittämällä teräslevyihin vaikuttava ilmastollinen ja kemiallinen ympäristö ja tutkimalla nykyisen korroosiosuojauksen soveltuvuutta sitä vastaan. Lisäksi tehtäväksi annettiin tutkia käytössä olevien suojausmenetelmien ohella inhibiittipaperin käyttömahdollisuuksia.

Korroosion esiintymismahdollisuuteen voidaan vaikuttaa parantamalla korroosionestomenetelmiä tai vaihtoehtoisesti poistamalla korroosiota aiheuttavat tekijät ympäristöstä. Siksi tutkitaan myös varastointiolosuhteita ja pakkaustekniikkaa. Lisäksi keskeistä on selvittää, onko teräksen väliaikaiseen korroosiosuojaukseen ja pakkaamiseen olemassa standardeja, joista olisi apua toimintojen parantamisessa ja yhdenmukaistamisessa.

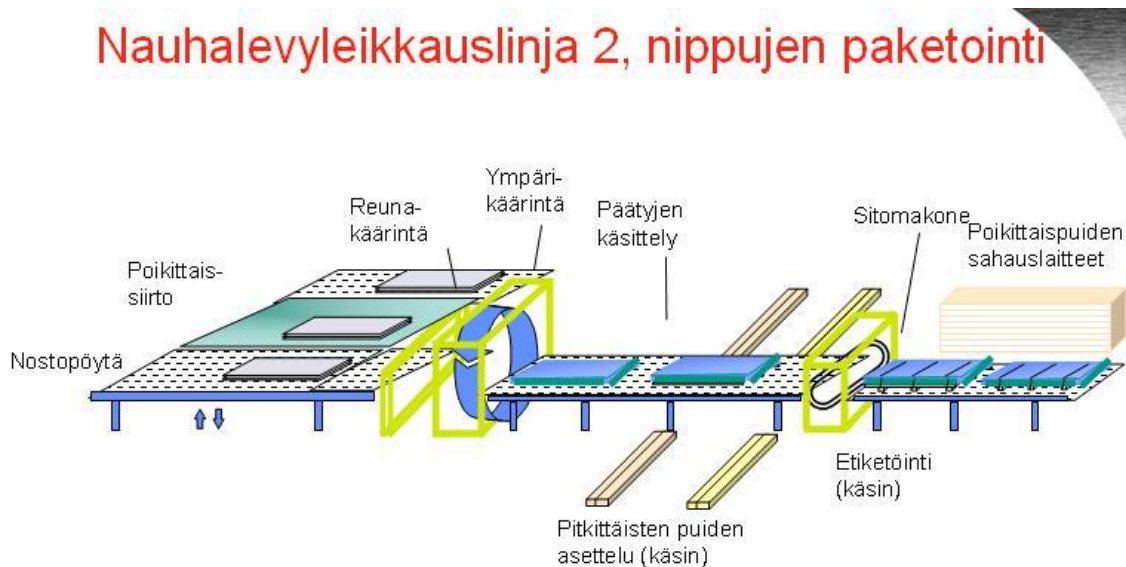
On esitetty, että teräksen pinnassa voi olla peittauksen jäljiltä kloridijäämiä, jotka vaikuttavat korroosioon. Niiden mahdollinen olemassaolo tutkitaan työssä laboratoriotutkimuksin. Tämän jälkeen tehdään käytännön vertailututkimus eri tavoin suojatuilla ja pakatuilla teräslevynipuilla. Tarkoitus on päästä seuraamaan kondenssiveden kertymistä ja korroosion etenemistä todellisissa olosuhteissa. Tavallisesti pakkaukset ovat jo poissa tehtaalta kun korroosio-ongelmia alkaa esiintyä. Tämän kokeen perusteella toivottavasti voidaan varmistaa oikea suunta korroosiosuojauksen kehittämisessä.

## 4 TOIMINTAYMPÄRISTÖ

Korroosiolta suojattava kohde on kuumavalssattu ja peitattu hiiliteräslevy vahvuudeltaan 2 - 12 mm. Leveys ja pituus vaihtelevat tilauksen mukaan. Teräksen seosaineita ei ole tässä määritelty, sillä korroosiota on esiintynyt useissa teräslaaduissa. Työhön liittyvät pakkauskäytännöt, varastointiolosuhteet ja laitteiston asettamat rajoitukset esitellään seuraavissa kappaleissa.

### 4.1 Teräslevyjen pakkaukset

Pakkaustekniikka on osa korroosiosuojauksen kokonaisuutta. Valmiin teräksen matka kohti asiakasta alkaa arkkien latomisella päällekkäin. Niput kääritään ensin sivuilta, sitten ympäri muovikelmuun automaattisella käärintäkoneella. Kelmu on toiselta puoleltaan liimapintaista tarttumisen ja tiiveyden edistämiseksi. Lopuksi paketin päädyt kuumennetaan ja sulatetaan kiinni sähkövastuksilla. Nippu sidotaan teräs- tai PET-muovivanteilla lankkujen päälle. Vanteiden alle tulee levyjen ja pakkausmateriaalin suojaamiseksi pahiset kulmasuojat.



KUVA 7. Nauhalevyleikkauslinja 2:n paketointilaitteisto. (Paganus 2011)

Ennen pakkaamista arkit on mahdollisesti öljytty tai niiden reunoille on ruiskutettu korroosionestoinhibiittia. Pakkauksen sisään voi jäädä kosteutta, jos VCI-ainetta ruiskutetaan liikaa eikä se ehdi kuivua. Kosteutta voi kertyä pakkaukseen myös kondenssi-ilmiön takia tai

ulkopuolelta mahdollisista raoista tai repeytymistä. Siksi pakkausmateriaaleja ja pakkauksen tiivyyttä tulisi tarkastella vähintään osatekijänä korroosion esiintymisessä.



*KUVA 8. Tyypillinen levypakkaus valmiina kuljetukseen.*

#### **4.2 Varastointiolosuhteet**

Levyppakkaukset viipyvät lämpimissä (+5...+10°C talvisin) ja kuivahkoissa valssaamon olosuhteissa vaihtelevan ajan. Hyvin usein pakkaukset joudutaan siirtämään ulos liian pian VCI-aineen kuivumisen ja lämpötilan tasoittumisen kannalta. Levyt ovat peittauksen, huuhtelun ja kuivauksen jäljiltä melko lämpimiä. Hallin sisällä ne nostetaan rekkaan tai siirretään tilanpuutteen vuoksi muualle ulkovarastointiin. Ulkona lämpötila vaihtelee ongelmallisina syys- ja talviaikoina suuresti, noin -30...+5°C välillä. Sisätiloissa pitkään viipyneillä levyillä korroosiota ei ole henkilöstön mukaan esiintynyt. Nopea siirto ulkosäilytykseen aiheuttaa ongelman erityisesti inhibiittillä suojatuille levyppakauksille. Koska suoja-aine on vesiliuoksessa, josta se haihtuu passivoiden teräksen pinnan, tulisi sen saada kuivua ennen ulos siirtämistä. VCI vahingoittuu, jos se jäätyy ennen kunnollista kuivumista.

Suojaustavasta riippumatta tuotteita koskee myös kondenssivesiongelma, kun lämmintä ilmaa sisältävät teräspakkaukset viedään kylmään ympäristöön. Kondensaatio eli tiivistyminen on muutosprosessi, jossa olomuodoltaan kaasumainen aine muuttuu nesteeksi. Ilmankosteus tiivistyy levyjen tai pakkausmateriaalin pintaan ja voi valua pakkauksen pohjalle, josta se ei pääse poistumaan. Myös satamassa levypakkaukset joutuvat seisomaan ilmaston armoilla tarpeettoman pitkiä aikoja, jolloin pakkauksissa mahdollisesti olevat reiät voivat aiheuttaa ongelmia.

Ilmastorasitus tehtaan alueella on arviolta SFS-EN ISO 12944-2 mukaisesti C3 (kohtalainen rannikko- ja teollisuusympäristö, kohtalainen suola- ja rikkidioksidirasitus). Alueen suola on peräisin merestä ja maanteiden suolauksesta. Rikkidioksidipäästöjä alueella ei synny nykyään paljoa ja ne vähenivät entisestään tämän työn tekemisen aikana, kun sintraamo suljettiin. Ilmastorasitus vaihtelee kuljetuksen aikana. Kosteus- ja suolarasitus on suurta etenkin merikuljetuksissa.

#### **4.3 Laitteiston asettamat rajoitukset**

Peitatus teräksen on oltava suojattavissa mielellään heti kuivauksen jälkeen ilman muita valmisteluita tuotantolinjamuutosten välttämiseksi. Tuotantolinjoilla käytetään öljyämislaitteita, VCI-ruiskutuslaitteita ja automaattista pakkausmuovin käärintälaitteistoa. Työssä pyritään mahdollisimman yksinkertaiseen, edulliseen ja toimintavarmaan ratkaisuun. Koneellisen pakkaamisen muutoksia voidaan harkita, mikäli se osoittautuu tarpeelliseksi.

## 5 STANDARDIT JA SELVITYKSET

### 5.1 Aiheeseen liittyvät standardit

Teräksen pakkaamiseen, varastointiin ja kuljetukseen sekä niiden aikaiseen korroosiosuojaukseen liittyen löytyivät seuraavat standardit:

- ASTM A700 - 05 "Standard Practices for Packaging, Marking, and Loading Methods for Steel Products for Shipment"
- BS 1133:1991, Section 6.1-6.2, "Protection of Metal against Corrosion during Transport and Storage, Temporary Protectives and their Application."
- SFS EN ISO 6270-2 "Maalit ja lakat. Kosteudenkestävyyden määrittäminen. Osa 2: Koekappaleiden altistaminen kondensaatio-olosuhteille."
- Defence Standard 68-10/Issue 4: "Corrosion preventive, water displacing"

Näistä ASTM A700 - 05 on amerikkalainen standardi. Se ei suoranaisesti koske teräksen korroosiosuojakäsittelyä, vaan mm. pakkaustapoja. BS 1133:1991 taas on englantilainen korroosiosuojausta käsittelevä, mutta nykyään jo käytöstä poistettu standardi. BSI ilmoittaa käytöstä poiston syyksi, että standardia ei enää pidetä relevanttina. Uuden vastaavan standardin tekemisestä ei ole tietoa.

Valitettavasti kansainvälistä ISO-standardia väliaikaisista suojaustavoista ei löytynyt. SFS EN ISO 6270 määrittelee erilaisten pinnoitteiden testausta korroosiotekijöitä vastaan. Osa 2 koskee kondensaatio-olosuhteita, jotka tähän työhön liittyvät. Defence Standard 68-10 on brittiläinen puolustusministeriön standardi, joka määrittelee vaatimukset veden syrjäyttävälle korroosionestoaineille. Standardin mukaan näiden aineiden tulee selviytyä mm. vedensyrjäyttämisen- ja korroosionestokykyä mittaavasta IP (Institute of Petroleum) 178 -testistä estämällä täysin kahta kolmesta testikappaleesta ruostumasta sekä syrjäyttämällä kaikki suolaliuos suojattavilta metallipinnoilta.

## 5.2 Kilpailijoiden korroosionestomenetelmät

Kilpailevat teräksenvalmistajat kertovat toimittamiensa terästen korroosionestomenetelmistä Internet-sivuillaan vaihtelevasti. Näyttäisi siltä, että sekä öljyä että VCI:tä käytetään. Tarjonta on kuitenkin ristiriidassa inhibiittiaineita koskevien tutkimusten ja mainospuheiden kanssa; VCI:n vallankumousta uumoiltiin jo parikymmentä vuotta sitten. Öljy on pitänyt pintansa eikä VCI:stä ole ainakaan vielä tullut hallitsevaa väliaikaista korroosionestomenetelmää.

- Voestalpine: peitatut levyt öljytään eri asteisesti, perusteellisesti öljytyille suojauksen kestoksi luvataan 3kk.
- ThyssenKrupp: peitatut tuotteet voidaan öljytää valssiöljyllä tai korroosionestoöljyllä.
- SSAB: teräs saatavana VCI-paperilla suojattuna tai öljyttynä.
- ArcelorMittal: peitatut tuotteet voidaan öljytää. VCI:n käytöstä ei löytynyt tietoja.

## 6 ANALYYSI NYKYTILANTEESTA

### 6.1 Korroosionestoaineiden ja niiden käyttötapojen toimivuus

Tässä tapauksessa inhibiittisuojausten suurin ongelma näyttäisi olevan riittämätön leviämis- ja kuivumisaika. Cortec VpCI-389 SF vaatii valmistajan mukaan 1-3 tuntia olosuhteista riippuen kuivuakseen täysin. Ruukki Metalsin tutkimusten perusteella suoja-aineen tehoa sinänsä ei ole syytä epäillä (Virolainen 2011). Pinnan ehdoton puhtaus ennen suoja-aineen ruiskutusta on kuitenkin tärkeää, sillä kaikenlainen kiinteä tai nestemäinen substanssi perusaineen ja inhibiitin välillä estää niiden välille muodostuvan sidoksen Mikko Arposen kirjoituksen perusteella (1994, 1). VCI:n ruiskuttaminen likaiselle pinnalle on myös inhibiitin valmistajan ohjeiden vastaista.

Viime vuosina käytetty VCI-aineen ja veden laimennussuhde on sopiva (noin 1:3, suositeltu 1:1 - 1:8). Syksyn 2011 aikana laimennusta muutettiin suhteeseen 1:1. Muutoksen mahdollista vaikutusta korroosionestokykyyn ei kuitenkaan ehditty havaita ennen tämän työn valmistumista. Ruiskutettavan seoksen määrää koskien on huomioitava, että karhea pinta vaatii tasaiseen kiiltävään pintaan verrattuna moninkertaisen määrän inhibiittiä (Kunnossapitoyhdistys Promaint. 2004, 791), koska suojattavaa pinta-alaa on enemmän pinnan ollessa mikrotasolla epätasainen. Varsinkin hieman ylipeittautuneen teräksen pinta on epätasainen. Teoreettisesti litra seosta riittää VCI-aineen valmistajan mukaan suojaamaan 14 - 17 m<sup>2</sup> pintaa 25 mikrometrin paksuudella. Ei kuitenkaan ilmoiteta, millä pinnankarheudella tämä saavutetaan.

Ainetta ei saa päästää jäätymään myöskään ennen käyttöä. Joskus ainetta on ruiskutettu levyille liikaa esimerkiksi linjan pysähdyttyä odottamattomasti. Tällöin vesipohjainen VCI ei ehdi kuivua riittävästi ja voi jäätymään pakkasessa. Jäädyttyään se menettää suojausominaisuutensa ja sulaessaan kastelee levyt. Reklamaatioissa on ollut joskus kyse tällaisista tapauksista (Kuva 9).

Öljysuojaus vaikuttaisi toimivan paremmin, mutta suurta suoraa altistusta vedelle se ei kestä. Tästä kertoo mm. mustan ruosteen esiintyminen (kuva 4). Öljysuojauksen kohdalla suurin puute saattaa olla yksinkertaisesti liian ohut tai hajanainen öljykalvo. Tällä hetkellä öljynsyöttö on säädetty minimiin, 0,5 grammaan neliömetrille linjalla, jossa sitä pystytään tarkasti säätämään (Hämäläinen 2011). Muiden linjojen tarkkaa öljymäärää ei ole tiedossa, mutta sen uskotaan olevan hieman suurempi kuin 0,5 g/m<sup>2</sup>. Tähän melko pieneen määrään on päädytty, koska

asiakkaat kokevat öljyä olevan liikaa jos sitä valuu silmämääräisesti pinnalta. Öljylle kuitenkin ilmoitetaan vähimmäiskalvonpaksuudeksi 0,6 g/m<sup>2</sup> ja ideaaliseksi määräksi jopa 0,8 - 2,0 g/m<sup>2</sup> (Houghton 2011). Levityslämpötilaksi suositellaan +30...+50°C. Etenkin talvisin ilma hallissa on huomattavasti kylmempää, mutta peittauksesta tuleva teräs sen sijaan on lämmintä. Öljyn tarjoamaksi suoja-ajaksi luvataan 3-12 kuukautta, jota voidaan pitää riittävänä.



*KUVA 9. VCI-ainetta on ruiskutettu liikaa.*



## 6.2 Pakkaustapa

Pakkaustekniikkaan liittyy selvä ristiriita talviolosuhteissa. Toisaalta pakkauksen tulisi olla mahdollisimman tiivis ilmankosteuden ja sadeveden pitämiseksi poissa teräspinnoilta. Toisaalta taas vaihtelevat lämpötilat aiheuttavat ongelmia tiiviissä pakkauksissa. Tietyissä olosuhteissa, kuten talvella lämpötilan ollessa jatkuvasti pakkasen puolella ja ilmankosteuden ollessa matala, tiiviin pakkauksen sisälle jäävä kondenssikosteus aiheuttaa ehkä jopa pahempia ongelmia, kuin pelkkä ilmankosteus aiheuttaisi avonaisessa pakkauksessa.

Kondenssiveden poistuminen hankalissa olosuhteissa on puutteellista käytetyn muovipakkauksen tiiveydestä ja materiaalin huonosta hengittävydestä johtuen. Pakkaukseen ei jätetä mitään poistumistietä vedelle. Tällainen pakkaus pitää ulkopuolisen veden poissa, mutta eristää kondenssiveden sisään. Periaatteessa onnistuneen VCI-suojauksen jälkeen levyt tarvitsevat suojaa vain sateelta ja muilta runsailta roiskeilta, haihtuva inhibiitti tulee vain saada pysymään tuotteiden ympärillä, kunnes pinnat ovat passivoituneet. Pian VCI:n ruiskutuksen jälkeen tapahtuva tiivis pakkaaminen saattaa myös estää reunoille ruiskutettavan ja haihtuvan VCI-aineen pääsyä nipun päällimmäiselle ja alimmalle pinnalle.

Toisaalta myös pakkausten vedenpitämättömyys on ollut ongelma. Tämä liittyy yleensä levynippuihin, joiden paketointi ei ole onnistunut kunnolla tai pakkaus on vioittunut esim. trukkipiikeistä. Päällimmäisen levyn päällä lainehtiva vesi voi aiheuttaa korroosiota käytetystä öljystä tai VCI-aineesta huolimatta.



*KUVA 10. VCI-suojattuja levyjä. Pakkauksessa reikiä.*

Kuvassa 10 on eräs esimerkki korroosiotapauksesta. Eräässä toimituserässä (tällä kertaa peittaamattomien) nippujen havaittiin kärsineen osittain korroosioaurioita tehtaan satamassa kastuttuaan. Niput oli suojattu ruiskuttamalla VCI:tä levyjen reunoille. Pakkausmuoveissa oli ilmeisesti kuljetuslinjastolla tai trukkipiikeistä syntyneitä reikiä. Reiät sijaitsivat pakkauksen päädyissä eivätkä olleet erityisen suuria, joten kaikki kosteus tuskin oli peräisin sadevedestä. Sen sijaan suuri ilmankosteus ja yöpakkaset olivat todennäköisemmin aiheuttaneet kondensiota pakkauksen sisällä. Tiivis pakkaus olisi pitänyt ilmankosteutta ulkopuolella, mutta täytyy huomioida, että käytetty VCI-suojaus ei riittänyt tässä tapauksessa. Reiistä sisään satava vesi voi mahdollisesti huuhtoa VCI-molekyylejä pois metallipinnalta, jolloin syntyy paikallisia korroosiosuojattomia kohtia. Jatkokehitysmahdollisuudet-kappaleessa esitetään parannusehdotuksia korroosiosuojaukseen ja pakkaustekniikkaan.

## 7 TUTKIMUKSET

### 7.1 Kloridimääritykset

Peitatusta arkkilinjolle ajettavasta teräksestä haluttiin ottaa näytteitä, joista voidaan tutkia, jääkö pintaan mahdollisesti peittauksen ja huuhtelun jälkeen klorideja, jotka voivat aiheuttaa paikallista korroosiota. Tämä on mahdollista SEM/EDS-analyysillä. SEM tarkoittaa pyyhkäiselektronimikroskooppia ja EDS siihen liitettyä röntgenanalysointia. Tarkka pintatutkimus on mahdollista suurten suurennosten avulla. Kappaleen pinnasta voidaan paikallistaa eri alkuaineita.

Laboratoriotyötilauksessa määriteltiin työvaiheet seuraavasti: tuotannosta otetaan 20 x 20 cm näytepalat, joihin merkitään näytteenottopäivämäärä, teräslaatu ja sulatusnumero. Huuhteluviesien vaihto tehdään tiistaisin. Siksi näytteitä otetaan keskiviikkona, perjantaina ja maanantaina, sillä halutaan tutkia huuhteluviesien likaisuuden vaikutus mahdollisten kloridijäämien määrään. Näytteitä otetaan kolme kappaletta päivässä. Niiden puhtaana pitämiseen kiinnitetään erityistä huomiota tulosten luotettavuuden varmistamiseksi. Tämän jälkeen näytepalat kuljetetaan tutkimuskeskuksen C-halliin, jossa niistä leikataan kolme kappaletta 2 x 2 cm näytteitä kustakin. Näille pienille näytteille tehdään SEM/EDS-analyysi. Havaitut kloridijäämät dokumentoidaan.

#### 7.1.1 Kloridimääritysten toteutus

Ensimmäiset koelevyt oli peitattu tiistaina 4.10. iltavuorossa ("puhtaat näytteet") ja maanantaina 10.10. ("likaiset näytteet"). Perjantain näytteiden sijasta saatiin vielä maanantaina 17.10. peitattuja koelevyjä verrokiksi ensimmäisille maanantain näytteille. Niiden avulla voitiin tutkia, onko kloridien määrissä suuria viikoittaisia vaihteluita. Kaikki kloridimääritysten näytteet olivat 355 MPa -lujuusluokan rakenneterästä, vahvuudeltaan 5, 6 tai 8 mm. Viimeiset näytteet olivat perillä tutkimuskeskuksella 27.10. Leikatut näytepalat saatiin mikroskoopille 9.11. ja niitä tutkittiin 10.11. ja 11.11.2011.

Analyysin tulosten selventämiseksi listattiin prosessissa mukana olevia alkuaineita:

- Testattava teräs sisältää raudan lisäksi seosaineina tai epäpuhtauksina enintään 0,12 % hiiltä, 0,03 % piitä, 1,50 % mangaania, 0,02 % fosforia, 0,015 % rikkiä ja mahdollisesti pieniä määriä niobia, vanadiinia, titaania ja booria.
- Peittausinhibiittejä ovat mm. tiokarbamidi (SC(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>), kinoliini C<sub>9</sub>H<sub>7</sub>N ja dietyylinitriamiini C<sub>4</sub>H<sub>13</sub>N<sub>3</sub>. (Virolainen 2010, 20). LUBRO IB 50:n sisältämää inhibiittia ei ole tiedossa.
- Suolahappo sisältää vetyä ja klooria (HCl). Mahdolliset kloridijäämät voivat olla peräisin haposta.

### 7.1.2 Kloridimääritysten tulokset

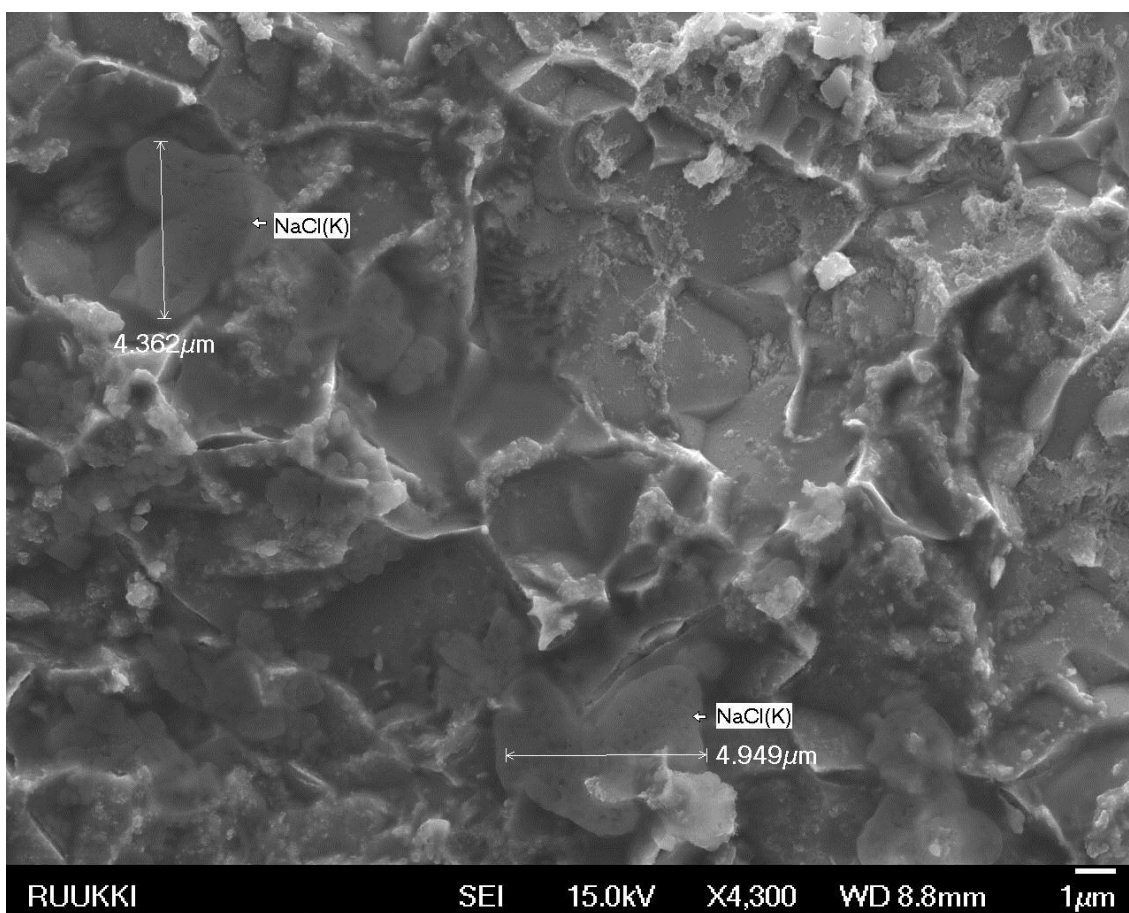
Ensimmäisenä tutkitut näytteet olivat 4.10. peitattuja eli juuri vaihdetulla vedellä huuhdeltuja ("puhtaita") näytteitä yhdestä sulatuserästä sekä 10.10. peitattuja likaisemmalla eli pidempään kierrossa olleella vedellä huuhdeltuja kahdesta eri sulatuserästä. 4.10. peitatuista näytteistä klorideja löytyi satunnaisesti pieniä pitoisuuksia. 10.10. peitatuista näytteistä klorideja löytyi erillään tai mahdollisesti rautakloridina jonkin verran pinnalta havaittujen syöpyneiden alueiden laitamilta ja raoista sekä erillisinä kiteinä yhdessä natriumin (NaCl) ja kaliumin (KCl) kanssa, kyseessä olivat siis suolat. Tämä selittyy mahdollisesti ympäristöstä näytteisiin päätyneillä suoloilla, eli näytteet olisivat kontaminoituneet kuljetuksessa tai käsittelyssä. Peittaukseen menneessä teräsnauhassa on myös saattanut olla natriumia tai kaliumia sisältäviä yhdisteitä, jotka ovat reagoineet suolahapon kanssa ja muodostaneet natrium- ja kaliumsuoloja.

Tasaiselta näyttävät, vähiten syöpyneet alueet olivat käytännössä pelkkää rautaa eli puhtaita. Kuitenkin myös tasaisilta alueilta löytyi tummia laikkuja, jotka sisälsivät happea eli osoittautuivat ruosteeksi. Näillä alueilla oli myös hieman klorideja. Kokoluokaltaan sekä kidejäämät että ruostealueet olivat muutamia mikrometrejä. Kaliumia näytti esiintyvän myös erillisinä kiteinä. Todennäköisesti tässä yhteydessä kalium oli kuitenkin sitoutunut johonkin analyysilaitteilla näkymättömään kevyeen alkuaineeseen, kuten vetyyn. Kloridien määrissä puhtaalla ja likaisemmalla vedellä huuhdeltujen näytteiden välillä ei ollut kuitenkaan huomattavia eroja.

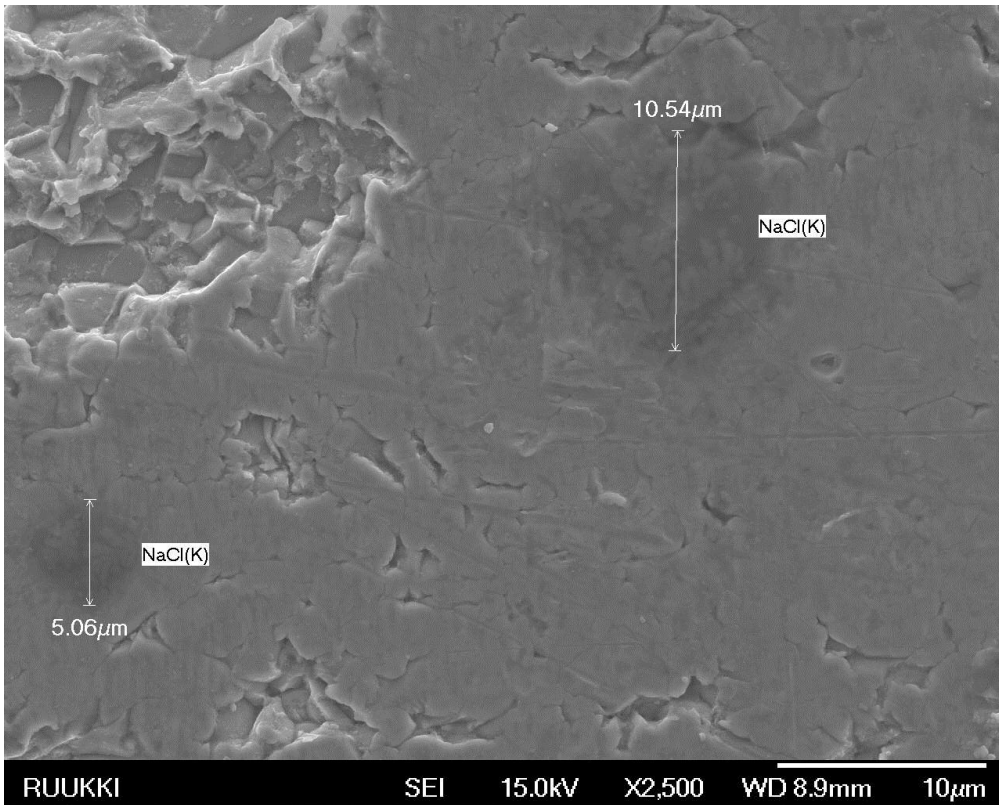
Merkillepantavaa olivat magnesiumin ja piin määrät. Niitä oli erittäin runsaasti erityisesti toisella likaisemmalla vedellä huuhdelluista näytteistä syöpymäalueiden reunoilla, ja ne esiintyivät aina yhdessä. Seosaineena teräksessä on korkeintaan 0,03 % piitä, joka saattaa kerääntyä teräksen

pinta-alueelle. Magnesiumin läsnäololle sen sijaan ei keksitty mitään selitystä. Nämä aineet ovat kuitenkin korroosion kannalta harmittomia. 11.11. tutkittiin lisää näytteitä. Ne olivat kaikki 8 mm vahvuisia, nyt mukana oli myös 17.10. peitattuja. Niiden huomattiin olevan paljon tasaisemmin syöpyneitä kuin edellisten näytteiden. Klooria löytyi jälleen erillisistä laikuista yhdessä natriumin ja kaliumin kanssa. Havaittiin, että kaikilla näyte-erillä, mutta etenkin 4. ja 10. päivien näytteillä oli tapahtunut ylipeittautumista. Teräksen pinta hilsekerroksen alta oli syöpynyt jonkin verran mahdollisesti peittausinhibiitin puutteen vuoksi.

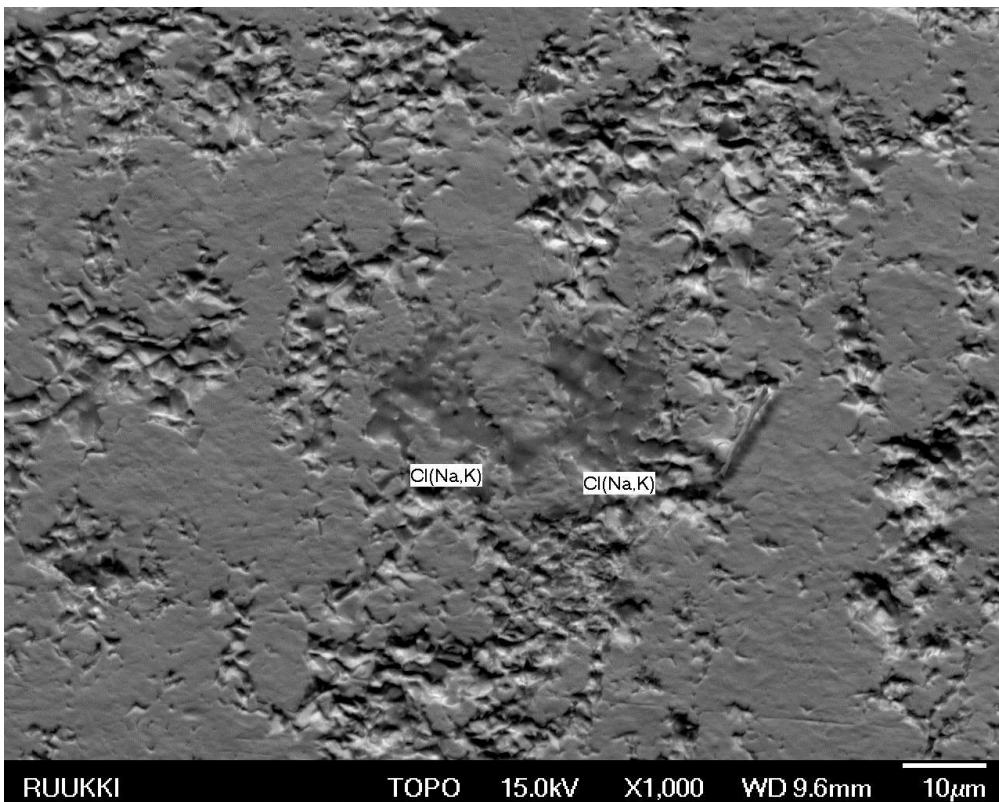
Testin tuloksena löydettiin klorideja ja sen johdosta havaittiin myös peittautukseen vaikuttavan inhibiittiaineen määrän säätötarve. Tuloksista voidaan päätellä, että normaalitilanteessa, kun peittautus on tasaisempi, myös klorideja todennäköisesti jäisi huuhtelun jälkeen pinnalle vähemmän. Jatkotoimenpiteenä peittausliuoksen inhibiittipitoisuutta nostettiin ja tilanne otettiin seurantaan uusilla näytteenotoilla.



KUVA 11. Lehtimäisiä suolakiteitä syöpyneellä pinnalla.



KUVA 12. Suolalaikkuja ehjällä pinnalla.



KUVA 13. Klooria sekä hieman natriumia ja kaliumia jäänyt syöpyneisiin kohtiin. Mahdollinen korroosion alkukohta.

## 7.2 Levynippujen korroosiotesti

Korroosiotestin toteutus suunniteltiin aloituspalaverissa. Vertailtaviksi nipuiksi valittiin seuraavat:

1. Korroosiosuojaton verrokinippu. Pakattu muovikäreeeseen nykyisellä menetelmällä.
2. Öljytty nippu, paketoiti nykyään käytetty.
3. VCI-ruiskutettu nippu, paketoiti nykyään käytetty.
4. VCI-ruiskutettu nippu, pakkauksen päädyt jätetään avoimiksi.
5. Walkimet 25 R 170 -pakkauspaperiin kääritty nippu (käytössä Ruukilla kelojen käsipaketoinnissa)
6. VCI-paperiin kääritty nippu, päälle tiivis muovikäre kuten nykyään.
7. VCI-paperiin kääritty nippu, pakkauksen päädyt jätetään avoimiksi.

Nipulla 4 tutkittiin pakkaustapojen eroa käyttäen nykyistä korroosionestoainetta. Walkimetia luvattiin testiä varten levyvalssaamolta. VCI-paperiksi tilattiin Cortecin VpCI-144 -paperia nipuille 6 ja 7. Testiniput päätettiin sijoittaa vierekkäin ulos kentälle. Testiajaksi sovittiin noin viikko riippuen erojen syntyemisestä nippujen välillä. Testinippuja varten päätettiin ottaa ulkovarastoinnista ylimääräinen kela, joka peitattaisiin ja ajettaisiin arkeiksi. Kela oli S355J2 (Fe52D) -terästä vahvuudeltaan 4 mm.

### 7.2.1 Korroosiotestin toteutus

Kela peitattiin 30.11. ja leikattiin arkeiksi 1.12. Valmiit testiniput vietiin ulos kentälle 2.12.2011, ensimmäiset viisi nippua noin klo 10 ja VCI-paperiin käärityt klo 12. Niput suojattiin pressulla enimmältä sateelta ja lumelta. Testin aloitusajankohtana ilman lämpötila oli noin +4 °C ja suhteellinen kosteus 81 %. Testiajan lämpötila- ja ilmankosteustiedot ovat liitteessä 2.

Testinippujen tilaa käytiin katsomassa ensimmäisen kerran 7.12. Viiden vuorokauden aikana lämpötila oli pudonnut pakkasen puolelle ja niput olivat altistuneet suurelle ilmankosteudelle. Myrskysään vuoksi pressu oli osittain siirtynyt ja joidenkin testinippujen päälle oli päässyt hieman räntää. Erot pakkausten sisään päätyneen veden määrissä johtuvat tästä ja osittain mahdollisesti pakkausten vaihtelevasta tiiviydestä. Korroosion havaittiin alkaneen eräissä testinipuissa.



Testiniput päätettiin ottaa takaisin sisätiloihin perjantaina 9.12. ja avata ne maanantaina tutkittavaksi. Loppusäilytys lämpimissä sisätiloissa sulattaa nippuihin kertyneen jään ja kiihdyttää korroosiota. Samalla se simuloi niiden saapumista asiakkaalle ja testi vastaa siten melko tarkasti todellista toimitusta alkutalven aikana. Testin kokonaiskestoksi tuli näin ollen 10 vuorokautta.

### 7.2.2 Korroosiotestin tulokset

Testiniput tutkittiin ja kuvattiin aluksi päällimmäisen levyn ja reunojen osalta. Tämän jälkeen siirrettiin nosturilla päältä pois joitakin levyjä, jotta levyjen väleihin mahdollisesti imeytyneen kosteuden vaikutus voitiin tutkia. Jokaisesta testinipusta on tässä yksi esimerkkikuva. Korroosiokohtia on merkitty kuvissa punaisella ympyrällä.

#### 1. Korroosiosuojaton verrokinippu

Pakkaus oli pitänyt veden poissa ja levyt olivat yllättävän hyvässä kunnossa. Päällimmäisellä levyllä oli hieman tahramaista ruostetta ja levyjen reunoilla satunnaisia ruostepisteitä. Nipun sisäosat olivat käytännössä ruosteettomia.



KUVA 14. Korroosiosuojaton verrokinippu.



## 2. Öljytty nippu

Nippu oli altistunut kosteudelle, ja levyjen päälle oli päässyt hieman vettä pakkausmuovista huolimatta. Levyjen yläpinnat olivat kuitenkin pysyneet lähes ruosteettomina. Öljykalvo oli siis näiltä osin riittävä. Alin levy oli kärsinyt korroosiosta ilmeisesti alas valuneen veden takia.



KUVA 15. Öljytty nippu. Alimmaisella levyllä korroosiota.

### 3. VCI-ruiskutettu nippu, suljettu

Tämä nippu oli kastunut eniten. Päällimmäinen levy oli kauttaaltaan märkä, joten tulokset eivät ole suoraan verrattavissa muihin nippuihin. Ruostetta oli kaikkialla kastuneilla pinnoilla ja reunoilla satunnaisesti. Vettä oli myös imeytynyt levyjen väleihin.



*KUVA 16. VCI-ruiskutettu, suljettu nippu. Kastunut.*

#### 4. VCI-ruiskutettu nippu, avoin

Avoimissa reunoissa oli ruostetta melkein kauttaaltaan, päällimmäisellä levyllä joitakin läiskiä.



*KUVA 17. VCI-ruiskutettu, avoin nippu.*

## 5. Walkimet 25 R 170 -nippu

Walkimet toimi testissä hyvin. Pakkauksessa oli hieman vettä, mutta korroosiota ei löytynyt siitä huolimatta. Myös levyjen välit olivat moitteettomassa kunnossa.

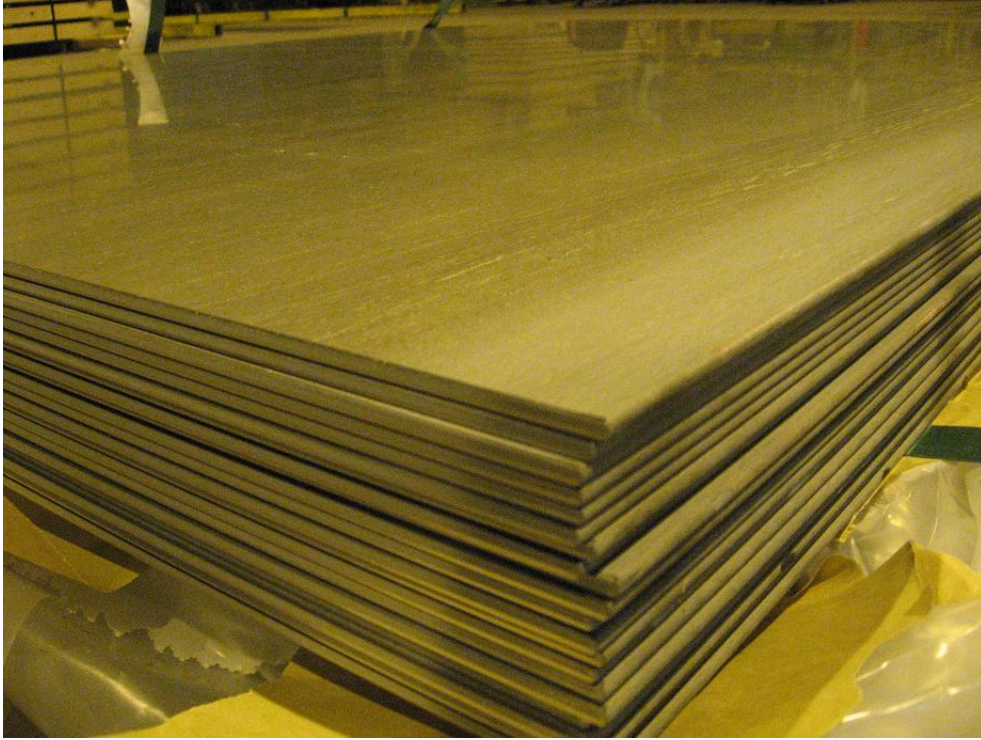


*KUVA 18. Walkimet-paperiin pakattu nippu.*



6. VCI-paperiin kääritty nippu, suljettu

Myös VCI-paperi suojaasi suljetussa pakkauksessa levyt hyvin. Pakkaukseen ei tosin ollut päässyt lainkaan vettä, joten pressu oli todennäköisesti suojannut sitä sateelta kaiken aikaa. Kaikki levyt olivat uudenveroisessa kunnossa.



*KUVA 19. VCI-paperiin pakattu, suljettu nippu.*

## 7. VCI-paperiin kääritty nippu, avoin

Avoin pakkaustapa ei toiminut myöskään VCI-paperin kanssa. Reunat olivat ruostuneet. Paperia vasten olevat pinnat sen sijaan olivat kunnossa. Levyjen väliin oli myös imeytynyt kosteutta, joka oli synnyttänyt mustan ruosteen näköisiä tahroja.



*KUVA 20. VCI-paperiin pakattu, avoin nippu.*

Testiä voidaan pitää onnistuneena, sillä suuria eroja saatiin aikaan. Pakkausten vaihteleva tiiviys kuitenkin vaikeuttaa tulosten arviointia. On kuitenkin hyvä muistaa, että korroosiosuojauksen tulisi kestääkin pieni vedelle altistuminen, sillä pakkaukset kastuvat väistämättä silloin tällöin. Öljysuojauksen osalta vahvistettiin havainto, että korroosionestokyky on riittävä, mikäli levyt eivät päädy suoraan kontaktiin veden kanssa. Sama pätee myös VCI-ruiskutukseen. Se on herkkä nestemäiselle vedelle pakkauksessa.

VCI-paperi suljettuna ja Walkimet tarjosivat testin parhaan korroosiosuojan, sillä niput olivat silmämääräisesti täysin ruosteettomia. Walkimet suojasi jopa suoralta veden vaikutukselta, ja sisäosatkin olivat ruosteettomia, vaikka tuotteen korroosionestokemikaali ei saatujen tietojen perusteella ilmeisesti juuri leviä paperin pinnalta. VCI-paperin osalta vedenkestävyyttä ei testin perusteella vielä tiedetä, mutta tulokset ovat lupaavia. Testissä käytetyn perusmallin paperin,

Cortec VpCI-144:n, havaittiin olevan tähän käyttöön liian herkkää repeytymiselle, joten jos VCI-paperi otettaisiin tehtaalla käyttöön, tulisi valita vahvempi paperilaatu.

Havainnot korostavat tiiviin pakkauksen merkitystä. Vastakkainen näkökulma eli päädystään avoimet pakkaukset sen sijaan epäonnistuivat täysin korroosiotestissä. Tällä kertaa ulkopuolinen vesi oli suurin korroosion aiheuttaja. Kondenssiveden muodostumista ei havaittu, sillä tiiviit ja parhaassa suojassa olleet pakkaukset näyttivät olevan sisältä täysin kuivia. Ainakin tämänkaltaisia olosuhteita koskien voidaan vetää johtopäätös, että mitä tiiviimpi pakkaus, sitä parempi. Keskitalven jatkuvassa pakkasessa avoin pakkaus saattaisi toimia, mutta suuri ilmankosteus ja lämpötilan vaihtelut plus-asteista miinukselle ja takaisin näyttävät olevan sille liikaa.

## 8 JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET

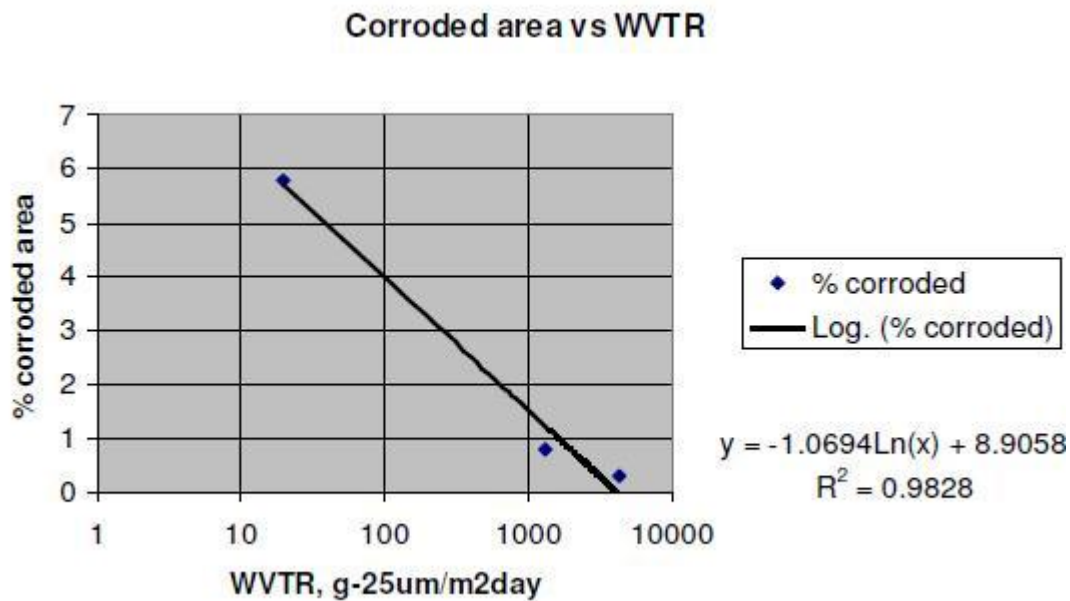
### 8.1 Pakkaustekniikan parantaminen

Ideaalinen ratkaisu olisi täysin tiivis pakkaus, jonka sisälle jäänyt ilma ei sisältäisi yhtään kosteutta. Näin kondenssivettä ei voisi muodostua lainkaan lämpötilanvaihteluista huolimatta. Täysin kuivaa pakkauspaikkaa tai tyhjiötä tietysti on lähes mahdotonta järjestää, mutta ilmankosteuteen tulisi kiinnittää huomiota tiivistä pakkaustapaa käytettäessä.

Kondenssivedestä mahdollisesti aiheutuvien haittojen takia muovikäreen jättämistä avoimeksi nipun päädyistä VCI-suojatuilla nipuilla pidettiin mahdollisesti järkevänä muutoksena. Se olisi parantanut levyjen väleihin kertyvän kondenssiveden poistumista pakkauksesta haihtumalla. Testitulokset kuitenkin osoittivat toisin, sillä avoimien nippujen päädyt ruostuivat alkutalven olosuhteissa. Siksi tämä ajatus on hylättävä.

Pakkaustekniikassa on silti eräs mahdollinen kehityskohde. Pakkausmateriaalina voitaisiin kokeilla kalvoa, jonka kosteudenläpäisykyky (moisture permeability) on suurempi. Tällä tavalla kosteus pääsisi haihtumaan myös pakkauksen läpi. Parhaassa tapauksessa pakkausmateriaali hengittäisi vain yhteen suuntaan, eli päästäisi kosteuden ulos paketista, mutta ei päästäisi sitä sisään. Pakkausmateriaalin kosteudenläpäisykyvyn vaikutusta korroosioon kosteuden läsnä ollessa pakkauksen sisällä on tutkittu. Kosteutta lähes läpäisemättömällä PE-muovilla (polyeteeni, jota käytetään myös Ruukilla) käärittynä koekappaleen pinnasta ruostui keskimäärin 5,8 %, kun korkean läpäisykyvyn kalvolla luku oli vain 0,3 % (Kuva 21. Visioli, Chen & Zhang. 2010, 3-20). Tämä perustuu tutkimuksen mukaan kosteuden parempaan poistumiseen pakkauksesta. Korroosiota ei käytännössä esiintynyt, kun pakkausmateriaalin kosteudenläpäisykyky oli vähintään 1360 g/m<sup>2</sup>/vrk. Hyvin hengittävässä pakkauksessa myös VCI-aine todennäköisesti kuivuisi paremmin. Hyvin hengittäviä kalvomateriaaleja ovat mm. polyeetteriamidi (PEI) ja polyeetteri-esteri. Näiden lujuus- ym. käyttöominaisuudet sen sijaan ovat puutteellisia, joten toimivan pakkausmateriaalin löytäminen voi olla vaikeaa.





KUVA 21. Pakkausmateriaalin vesihöyrynläpäisykyvyn korrelaatio korroosion esiintymiseen koeolosuhteissa. WVTR = Water vapor transmission rate. (Visioli, Chen & Zhang. 2010)

## 8.2 Suojaöljymenetelmän parantaminen

Vedenkestävyyttä ajatellen levitettävää öljymäärää voisi kokeilla lisätä aluksi vähintään 0,8 grammaan, tarvittaessa jopa 1,0 grammaan neliometrillä suositusten mukaisesti ja tarkkailla vähenevätkö korroosio-ongelmat. Öljy on joka tapauksessa lopulta poistettava levyiltä, joten määrän lisäämisestä ei koituisi asiakkaille merkittäviä haittoja. Öljymäärän kasvaessa levyt saattavat tosin tarttua voimakkaammin toisiinsa, mikä tekee käsittelystä hieman hankalampaa. Ruukin puolella kustannukset nousisivat, mutta vaakakupin toisella puolen ovat jälleen laaturvirhekustannukset. Kuvan 4 tapaus osoittaa, että öljyäminen ei ainakaan nykyisillä määriillä riitä estämään korroosiota täysin veden päästessä pakkauksiin. Pakkausten pysyessä ehjänä öljysuojaus näyttäisi toimivan riittävän hyvin, joten pakkausten hellävaraiseen käsittelyyn tulee kiinnittää enemmän huomiota tai parantaa niiden suojaa trukkipiikeiltä esimerkiksi vahvoilla ja pidemmällä pahvikulmilla. Yleisesti öljysuojauksen ongelmana on, että öljyä on levitettävä tarkasti koko pinnalle. Pienikin öljyttä jäänyt kohta on altis korroosiolle. Tämän vuoksi suurempi öljymäärä olisi parempi, jotta öljyä leviäisi varmemmin kaikkialle.

Vaarana on myös öljyn loppuminen tai öljynlevityslaitteiston vikaantuminen, jota ei välttämättä huomata. Tällaisia tapauksia ei ole kuitenkaan tietävästi tähän mennessä sattunut. Sekä

suojaöljy- että inhibiittiruiskutusmenetelmää koskien laitteistojen ennakoivan kunnossapidon merkitystä tulee silti korostaa korroosiosuojauksen laadun ylläpitämiseksi.

Tulevaisuutta ajatellen levyjen korroosiosuojauksessa näyttäisi kuitenkin järkevältä panostaa enemmän VCI-korroosiosuojaukseen. Kiristyvien ympäristömääräysten maailmassa suojaöljyn rooli tulee todennäköisesti pienenemään, ja asiakkaiden mahdolliset ennakkoluulot VCI-suojausta kohtaan hitaasti hälvenevät, eikä öljysuojausta vaadita vanhasta tottumuksesta.

### **8.3 VCI-paperin käyttömahdollisuus**

VCI-paperi on lupaavalta vaikuttava vaihtoehto terästuotteiden korroosiosuojaukseen. Tämän puolesta puhuvat VCI-paperien ominaisuudet, kuten nopea suojauskyky (Adcoat Co., Ltd., 2011). Paperi toimii hyvin myös käytännön kokeessa tiivistä muovipakkausta käytettäessä. Paperilta haihtuva VCI kohtaa välittömästi sitä vasten olevan teräspinnan. Koko paperia vasten oleva pinta-ala saadaan passivoitumaan nopeasti, eikä kuivumista tarvitse odotella. Tämän ansiosta etenkin pakkauksen päällimmäisellä teräslevyllä ja reunoilla useimmin esiintyvä korrosio saataisiin todennäköisesti estettyä. Myös ruiskutusta koskevat epävarmuustekijät jäisivät pois, ja suojaus olisi tasalaatuisempi paperia käytettäessä.

Paperi on kuivaa, minkä ansiosta vähintään ylimääräisistä VCI-tahroista jääneen veden aiheuttama korrosio (ks. kuva 9) jäisi pois, vaikka itse pinnan passivoituminen jostain syystä häiriintyisikin. Samoin tiivistä pakkaustapaa käytettäessä pakkauksen sisältämä ilmankosteus vähentyisi, kun levyille ei ruiskutettaisi vesipohjaista VCI:tä. Paperit kykenevät myös jossain määrin imemään kosteutta itseensä, pois teräksen pinnalta. Tämä johtaisi suoraan pienempiin kondenssivesiongelmiiin. Tämän toimivuus riippuu kuitenkin paperin suunnittelusta, sillä mikäli paperi ei kykene siirtämään imemäänsä kosteutta ulkopinnalle, jää kostea paperin sisäpinta terästä vasten ja mahdollisesti aiheuttaa korroosiota.

Huono puoli paperin käytössä on sen sijaan paperin asettelemisen ja pakkaamisen työvoimaintensiivisyys, tai vaihtoehtoisesti investoinnit uuteen pakkauslaitteistoon. Molemmat vaihtoehdot aiheuttaisivat huomattavia lisäkustannuksia. Toisaalta uusi pakkauslaitteisto todennäköisesti maksaisi itsensä nopeasti takaisin reklamaatioiden ja siten laatuongelmista johtuvien kustannuksien laskemisen kautta.

Järkevin ja koneellisesti toteutettavissa oleva käyttötapa on paperin kääriminen nipun ympärille. Huono puoli on mahdollisesti haihtuvan VCI-aineen liian pieni määrä paksun levynipun tapauksessa, sillä paperia tarvitaan vähintään suhteessa 1:3 suojattavaan metallipintaan nähden, siis esimerkiksi 1 m<sup>2</sup> VCI:tä haihduttavaa paperipintaa 3 m<sup>2</sup> teräslevypintaa kohden (Siefert 2011). Tämä ohje on ilmeisesti yleispätevä eikä tuotekohtainen, mutta varmuutta asialle ei saatu. Näistä syistä tehokkaampi tapa olisi paperiarkkien asettaminen teräslevyjen väleihin. Tämä olisi kuitenkin aivan liian hankalaa ja kallista. Ympärille käärittäessä voidaan käyttää oletettavasti edullisempaa yksipuolista VCI-paperia.

#### **8.4 VCI-kalvon käyttömahdollisuus**

Eräs mahdollisuus ja vaihtoehto VCI-paperille on myös VCI-kalvo, jota on saatavissa eri ominaisuuksin ja eri tarkoituksiin. Pääsääntöisesti sen edut ovat samat kuin VCI-paperilla. Sitä kuitenkin voitaisiin kääriä myös nykyisellä pakkauslaitteistolla, joten taloudellisesti se olisi järkevä ratkaisu. Paperin käytön tavoin VCI-ruiskutuksesta voitaisiin luopua kokonaan. Etu paperiin nähden on vedenpitävyys, joten erillistä pakkausmuovia ei tarvittaisi lainkaan. Toisaalta myös paperia on saatavilla jossain määrin vettä pitävällä kerroksella. Kalvoja on olemassa myös kiristettäviä ja lämmöllä kutistettavia, joten sopiva vaihtoehto Ruukin pakkauslaitteistolle löytyisi varmasti.

VCI-kalvon eduksi voidaan laskea myös läpinäkyvyys, jolloin teräslevyjen tilaa, merkintöjä ja sisälle mahdollisesti kertyvää kosteutta voidaan helpommin seurata. Toisaalta se ei kuitenkaan ime kosteutta itseensä kuten paperi, mikä voi olla tilanteesta riippuen hyvä tai huono asia. Haittapuoli on myös paperia hieman hitaampi suojausnopeus (Adcoat Co., Ltd. 2011).

#### **8.5 Muita kehitysmahdollisuuksia**

Jos VCI-ruiskutuksessa halutaan pysyä, tulisi linjastolle lisätä automatiikka, joka lopettaa aineen ruiskutuksen muun linjan pysähtyessä. Nykyään näin ei ole, jolloin levyille voi joutua liikaa ainetta. Tämä johtaa levyjen kastumiseen ja ylimääräisen VCI-seoksen jäätymiseen talvella. Pelkästään toimiva automatiikka ja ruiskutettavan VCI-aineen määrän valvonta estäisivät todennäköisesti monet korroosiotapaukset. Tulisi käyttää VCI-ainetta, jonka höyrynpaine hallin lämpötilassa on sopiva eli aine haihtuu sopivalla nopeudella. Tilojen lämpötila saattaa olla talvisin liian matala nykyisin käytettävälle aineelle.

Epäpuhtauksien suhteen paras tapa on estää kloridien pääsy teräspinnalle kokonaan tai poistaa ne mahdollisimman nopeasti. Katodisten inhibiittien käyttöä suositellaan, mikäli se on taloudellisesti mahdollista. Anodisilla inhibiiteillä oikea annostus on avainasemassa, sillä väärä annostus voi nopeuttaa korroosiotä entisestään (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2008, 183).

Viime vuosina on kehitetty myös VCI-aineita, jotka ruiskutetaan koko teräspinnalle. Ne on tarkoitettu lähinnä suojaöljyn korvaajaksi. Etuja ovat, kuten muillakin VCI-tuotteilla, öljyn verrattuna oikein käytettynä parempi korroosiosuoja, vähäisempi pinnan puhdistustarve ennen jatkokäsittelyä sekä yksinkertaisempi tehtaan ylläpito sekä tuottajalle että asiakkaalle. (Legault 1983, 5) Arkkituotteiden tapauksessa tällainen ruiskutuslaitteisto olisi kohtuullisen helppo järjestää. Ruiskutettava määrä jakaantuisi tasaisesti pinta-alalle, joten aineen pitäisi kuivua nopeammin lämpimältä teräspinnalta. Myös kriittisen päällimmäisen levyn korroosiosuoja paranisi reunoille ruiskutettavaan inhibiittiin verrattuna. Tämä olisi yksi vaihtoehto nykyiselle systeemille ja VCI-paperille tai -kalvolle.

Yleisiä ohjeita korroosio-ongelmien vähentämiseksi (Legault 1983, 6):

1. pinnalle pääsevien epäpuhtauksien määrän minimointi
2. lämpötilojen hallinta kondenssiveden vähentämiseksi
3. ympäristön ilmankosteuden hallinta
4. haitalliselle ympäristölle altistumisen estäminen
5. korroosionestoaineiden kontrolloidun ja järkevän määrän käyttö.

Kohtaan 2 liittyen on Japanissa ollut käytössä eräs teräslevyjen jäähdytystekniikka. Menetelmän ovat alun perin keksineet Evans ja Taylor (1974, 26). Siinä puhalletaan teräslevyt huoneenlämpöiseksi käyttäen litiumkloridilla alle 25 prosentin suhteelliseen kosteuteen kuivattua ilmaa. Tekniikkaa käyttämällä teräslevyt todennäköisesti myös kuivuvat. Jonkinlainen levyjen jäähdytys ennen pakkaamista voisi olla tarpeen Ruukillakin talviaikaan, samoin ilman kuivaaminen pakkausympäristössä.

## 9 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli parantaa tietämystä peitattujen teräslevyjen varastoinnin ja kuljetuksen aikaisesta korroosiosuojauksesta. Keskeiset päämäärät saavutettiin. Korroosiota aiheuttavat tekijät kartoitettiin ja nykyisten korroosionestomenetelmien sekä teräslevypakkausten heikkoudet löydettiin. Niille keksittiin myös parannusehdotuksia teoreettisesti ja käytännön tutkimusten perusteella.

Kehitettävää on sekä pakkaustekniikassa että korroosionestomenetelmissä. Pakkausten osalta tärkeintä olisi maksimoida niiden vesitiiviyys eli kehittää pakkauslaitteistoa tai -materiaalia ja myös säilyttää se siirtovaiheessa suojaamalla pakkaukset iskulta ja hankaukselta kattavammilla pahvisuojilla ja hellävaraisella käsittelyllä. Korroosionestoaineiden osalta öljyämismenetelmästä ei löytynyt suurempia puutteita, mutta sen herkkyyttä kosteudelle voitaisiin vähentää öljyn suuremmalla annostelulla, jolloin mahdollinen pakkaukseen päässyt vesi pysyisi todennäköisemmin öljykalvolla eikä pääsisi kosketukseen teräksen kanssa. VCI-ruiskutusmenetelmälle kiireellisin parannus olisi automatisoitu ruiskutuksen lopettaminen muun linjan pysähtyessä. Tällä estettäisiin liiallisen VCI-aineen jäätymisestä ja sulamisesta aiheutuvat korroosiotapaukset talviaikana. Toinen mahdollinen suurempi muutos olisi ruiskutuslaitteiston muuttaminen siten, että inhibiittia ruiskutettaisiin tasaisesti levyjen päälle jo ennen niputtamista. Tämä parantaisi erityisesti päällimmäisen levyn korroosiosuojausta.

Monet asiat, kuten korroosiosuojauksen tasalaatuisuus ja korroosiolle kriittisen nipun päällimmäisen levyn suojaaminen, puoltavat kuitenkin siirtymistä nykyisestä VCI-aineen reunaruisutuksesta muihin inhibiittimenetelmiin. Eri korroosionestomenetelmien kenttäkokeessa saatiin hyviä kokemuksia sekä VCI-paperista että korroosionestokemikaalilla käsitellystä kiristekreppipaperista. Samalla periaatteella toimiva VCI-kalvo tai -muovi toimisi todennäköisesti kutakuinkin yhtä hyvin. Lisäksi teräksen pakkaaminen siihen jättäisi tuotantoprosessista yhden vaiheen pois korroosioneston ja pakkaamisen tapahtuessa samanaikaisesti yhdellä materiaalilla. Pakkaaminen voitaisiin ehkä suorittaa jopa nykyisellä pakkausmuovin käärintälaitteistolla. VCI-papereita ja -kalvoja tulisi testata vielä lisää kenttäkokeilla parhaan ratkaisun löytämiseksi. Vaakakupeissa painavat toisaalta korroosionestokyky ja toisaalta tuotantotekniset ja taloudelliset

vaatimukset. Tämän työn päätelmänä jompikumpi näistä inhibiittituotteista on paras ja realistinen ratkaisu peitattujen teräslevyjen väliaikaiseen korroosionestoon.

## LÄHDELUETTELO

1. Adcoat Co., Ltd. Character Comparison: VCI Paper vs. VCI Film vs. Rust Preventive Oil.  
[http://www.adpack.jp/files/Characters\\_comparison.pdf](http://www.adpack.jp/files/Characters_comparison.pdf) 22.11.2011.
2. Arponen, M. 1994. Korroosionesto varastoinnin, kuljetuksen ja seisokkien aikana.  
Rautaruukki Oyj. Esitelmä 16.3.1994. Marina Congress Center.
3. Cortec Corporation. 2007. VpCI-389/VpCI-389 D. 8.11.2011.  
<http://www.cortecvci.com/Publications/PDS/389-389D.pdf>
4. Daubert Cromwell, LLC. How VCI Works. 8.11.2011.  
<http://www.daubercromwell.com/howvciworks.asp>
5. Evans, U. R., Taylor, C. A. 1974. British Corrosion Journal, Vol. 9, p. 26 (1974)
6. Forsén, O. 2010. Metallien peittäminen. Aalto-yliopisto, Materiaalitekniikan laitos. Terästen peittäminen 5.-6.5.2010 Pohto, Oulu.
7. Helwig, L. E. 1980. Metal Finishing, Vol. 78, No. 7, p. 41
8. Houghton. 2011. Ensis PQ 144 - Rostskyddande olja för metallytor. 8.11.2011.  
[http://www.univareurope.com/uploads/documents/se/Ensis%20PQ%20144\\_Datablad\\_SE.pdf](http://www.univareurope.com/uploads/documents/se/Ensis%20PQ%20144_Datablad_SE.pdf)
9. Hytti, A., myyntijohtaja, Walki Oy. Sähköpostikeskustelu 7.11.2011.
10. Hämäläinen, K., kehitysteknikko, Ruukki Metals Oy. Suullinen tiedonanto 15.9.2011.
11. Kunnossapitoyhdistys Promaint. 2004. Korroosiokäsikirja. Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 12. 4. painos. KP-media Oy.
12. Legault, R. A. 1983. The Protection of Flat-Rolled Steel Products From Corrosion in Storage and Transit. 8.11.2011.  
<http://www.cortecvci.com/Publications/Papers/VCIProducts/CTP-27.PDF>
13. Ministry of Defence. 1995. Defence Standard 68-10/Issue 4. Corrosion Preventive, Water Displacing. 8.11.2011.  
<ftp://217.17.192.66/mitarb/lutz/standards/dstan/68/010/00000400.pdf>
14. National Corrosion Service. 2003. Guide to Temporary Corrosion Protectives.
15. Nor-Maali Oy. 2005. SFS-valintataulukko. 8.11.2011. [http://www.nor-maali.fi/js/tiny\\_mce/uploaded/SFS%20VALINTATAULUKKO%202005.pdf](http://www.nor-maali.fi/js/tiny_mce/uploaded/SFS%20VALINTATAULUKKO%202005.pdf)
16. Paganus, P., tuotantopäällikkö, Ruukki Metals Oy. 2011. LKT tuotannon esittelymateriaali.

17. Pietilä, A.-P., myyntijohtaja, Walki Oy. Sähköpostikeskustelu 28.11.2011.
18. Siefert, W. 2011. A Complete Guide to Rust Prevention Using VCI.
19. Väänänen, M. 2010. VpCI Metallin käsittely. Teknoma Oy.
20. Virolainen, E. 2010. Hiiliterästen peittauksen kemialla. Ruukki Metals Oy. Luentomateriaali 28.4.2010.
21. Virolainen, E., vanhempi tuotekehitysinsinööri, Ruukki Metals Oy. Suullinen tiedonanto 21.12.2011.
22. Visioli, D. L., Chen, J. C. & Zhang, S. H. 2010. Effect of Polymer Film Permeability on Retarding or Preventing Corrosion. 8.11.2011.  
<http://www.tappi.org/content/events/10PLACE/papers/visioli.pdf>
23. Vuorinen, E., Kálmán, E. & Focke, W. 2004. Introduction to Vapour Phase Corrosion Inhibitors in Metal Packaging. Surface Engineering, Vol. 20 No. 4.



## LIITTEET

### LIITE 1. Väliaikaisia teräksen korroosiosuojamenetelmiä. (National Corrosion Service, 2003)

#### A. Liuotinpohjaiset nesteet. Suoja-aine jää pinnalle liuottimen haihduttua.

TP 1 a	Kova kalvo, nopeasti kuivuva.
TP 1 b	Kova kalvo, hitaasti kuivuva
TP 1 c	Kova kalvo, hitaasti kuivuva - poistaa myös kosteuden märältä pinnalta
TP 2 a	Pehmeä kalvo liuottimen haihduttua
TP 2 b	Pehmeä kalvo - poistaa myös kosteuden märältä pinnalta

#### B. Pehmeä kalvo, rasvamainen, ei-haihtuva.

TP 3	Vaseliini tai vastaava petrolipohjainen. Lisätään upotuksella tai sivelemällä pintaan.
TP 4 a	Mineraaliöljypohjaiset rasvat. Usein lisätään paksu kerros sivelemällä tai levittämällä pintaan.
TP 4 b	Synteettiset tai kasviöljypohjaiset rasvat. Sivellään tai levitetään pintaan. Käytetään kun yhteensopivuus liimojen tai tiivisteaineiden kanssa on tarpeen.
TP 5	Puolinesemäiset yhdisteet. Korkea viskositeetti, yleensä tiksotrooppisia. Lisätään upotuksella tai sivelemällä pintaan.

#### C. Suojaöljyt, pehmeä kalvo, ei-haihtuva.

TP 6 a	Suojaavat, ei-liuotinöljyt, pehmeä öljykalvo. Lisätään suihkuttamalla tai upottamalla.
TP 6 b	Varastosuojaöljy laitteiden sisälle, kuten vaihteistoihin, moottoreihin tai kompressoreihin.

#### D. Muovimaiset, repäisemällä irtoavat suojakalvot.

TP 7	Yleensä kuumana sulia hartseja tai muoveja, johon suojattava kappale upotetaan.
TP 8	Nopeasti kuivuvat liukset, joista jää hartsikerros. Lisätään suihkeena, siveltimellä tai upotuksella.

E. VCI:t eli haihtuvat korroosioinhibiittorit.

TP 9	Paperi	Saatavana rullina ja arkkeina. Eripaksuisia ja -laatuksia. Kääritään tuotteen ympärille. Inhibiittia joko toisella tai molemmilla puolilla.
	Polymeerikalvo	Rullina, arkkeina tai useimmin kuumasuljettavina pusseina. Voidaan suojata pienistä osista suuriin konekokonaisuuksiin ja ajoneuvoihin saakka.
	Jauheet	Käytetään putkien ja säiliöiden suojaukseen. Voidaan levittää paineilmalla tai liuottimen kuten alkoholin välityksellä.
	Jauhepusit	Pusseja käytetään tiiviiden tuotepakkausten sisäilmatilan kyllästämiseen inhibiittillä.
	Tabletit	Kuten jauhepusit. Käytetään yleensä muiden suojaustapojen lisänä.
	VCI-öljyt	Öljyliukoiset VCI:t, sekoitettu mineraaliöljyyn. Voidaan suojata esim. hydraulijärjestelmiä.
	Vesiliukoiset VCI-tuotteet	Perustuvat yleensä vesiliukoisiin VCI-jauheisiin, jotka sekoitetaan esim. jäähdytysjärjestelmään.

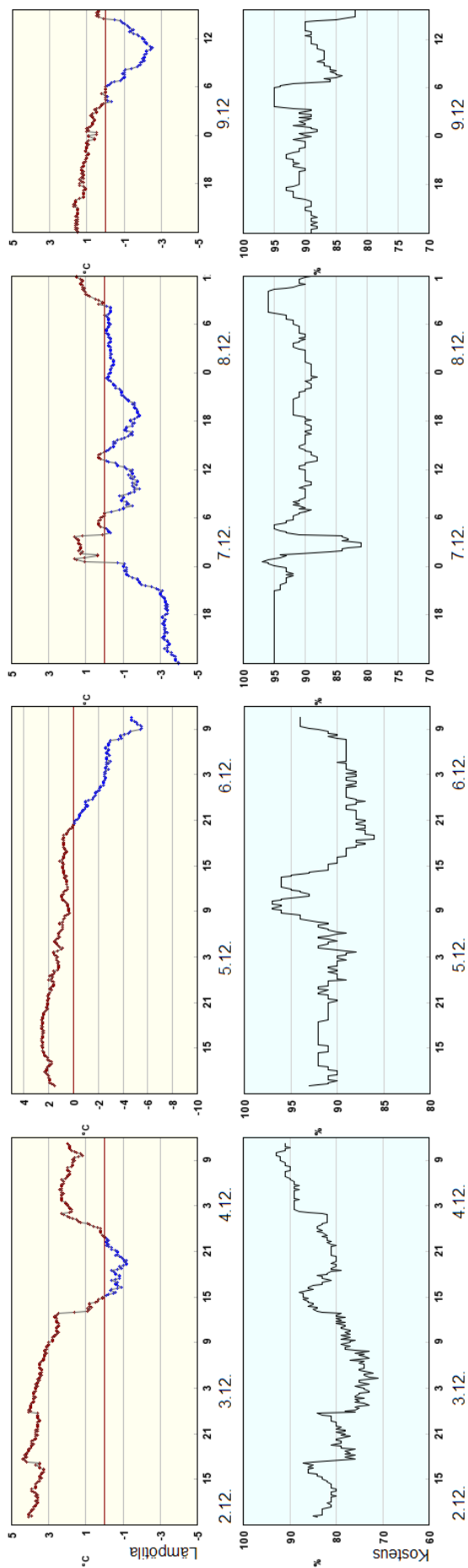
F. Kontakti-inhibiittorit.

TP 10	Kemikaalit, jotka toimivat korroosioinhibiitteina suorassa kosketuksessa metallikappaleen pintaa vasten.
-------	--

G. Vesipohjaiset ja emulsoituvat suoja-aineet. Sekoitetaan veteen ja ruiskutetaan tai sivellään metallin pintaan tai kappale upotetaan emulsioon.

TP 11 a	Öljymäisen kerroksen jättävät aineet
TP 11 b	Vahamaisen kerroksen jättävät aineet

LIITE 2. Korroosiotestin olosuhdekaavio.  
(Ilmatieteen laitos)



2.12. 3.12. 4.12.  
Havaintoasema Raahen Lapaluoto. Kaaviot Ilmatieteen laitos.