

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotekehitys

2017

Juhani Vuorinen

KORROOSION ESTO LAIVAN IKKUNAPESULAITTEEN KULKUKISKOSSA

Juhani Vuorinen

KORROOSION ESTO LAIVAN IKKUNAPESULAITTEEN KULKUKISKOSSA

Matkustajalaivojen suunnittelussa käytetään paljon lasipintoja, jotta matkustajille voidaan tarjota esteetön näkymä merelle ja luoda tilantuntua laivojen sisätiloihin. Merellä vallitseva ilmasto asettaa kuitenkin omat haasteensa näiden lasipintojen puhtaanapidolle.

Suola ja muut ilmaston sisältämät epäpuhtaudet sumentavat tehokkaasti näkymän, ja näiden pintojen puhdistamista varten laivan ulkorakenteisiin onkin usein sijoitettu erilaisia kiskoille kiinteästi asennettuja pesureita.

Opinnäytetyö keskittyy näiden pesureiden käyttämiin kulkukiskojärjestelmiin ja niiden korroosioon. Meri-ilmaston ja kulkukiskon sijainti laivan ulkopinnalla luovat otollisen ympäristön erittäin rajulle korroosiolle lyhentäen kiskojen käyttöikää ja kasvattaen ylläpitokustannuksia.

Opinnäytetyössä määritellään tässä applikaatiossa korroosioon vaikuttavat osatekijät, joiden ymmärtämisen kautta luoda perusteet paremman kulkukiskojärjestelmän kehittämiseksi, ja jo olemassa olevan kulkukiskon korroosion hallitsemiseksi.

Opinnäytetyössä annetaan myös ehdotelma jo olemassa olevan kulkukiskon rakenteen korroosiokestävyyden parantamiseen uuden tyyppisellä rakenneratkaisulla ja materiaalivalinnoilla. Ehdotelmassa materiaaleina käytetään haponkestävää terästä ja alumiinia, sekä konstruktiivista erotusta rakenteiden välillä parannetaan. Kiinnitysleveyttä kulkukiskossa kasvatetaan, joka mahdollistaa kiinnityksen alkuperäisiin kohtiin, kuitenkin niin, että kiinnitys tapahtuu kulkukiskon ehjään osaan.

ASIASANAT:

korroosio, laivateollisuus, kulkukisko, ikkunanpesulaite

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree programme

2017 | 34

Instructor Tommi Metso

Juhani Vuorinen

CORROSION PREVENTING IN SHIP'S WINDOW WASHING UNIT'S RAIL

A lot of glass structures are used in the design of a cruise ship to provide a relaxing view to the sea as well to add sense of space. The atmosphere at sea, however, sets its own challenges for cleaning of these structures. Salt and other particles within the air effectively blur these structures ruining this beautiful view. To keep these glass surfaces clean there are usually window washing units permanently placed on the ship's hull.

This thesis focuses on the corrosion problem with aluminum rail used in these window washing units.

Sea climate and the location outside on the ship's hull are a powerful combination to provide an extreme environment for corrosion leading short life-cycle and high service costs.

The aim of the thesis is to define the key elements for corrosion in this application and by understanding these basis, develop tools to make a more corrosion resistant rail and provide aid to prevent corrosion with in the rail system used at present.

In this thesis an idea for a better, more corrosion resistant solution as an update is also provided for the rail system installed at the moment. In this solution more corrosion resistant materials as stainless steel and aluminium are used and constructive isolation between structures is improved. Fastening width to the rail is increased to enable fastening in original locations however so that intact part of the rail can be used.

KEYWORDS:

corrosion, ship industry, rail, window washing unit

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 IKKUNANPESU JÄRJESTELMÄ	7
3 KORROOSIO	8
3.1 Galvaaninen korroosio	9
3.2 Korroosioväsyminen	11
3.3 Pistekorroosio	11
3.4 Rakokorroosio	12
4 KULKUKISKOSSA KÄYTETYT METALLIT JA NIIDEN KORROOSIO- OMINAISUUDET	13
4.1 Alumiini	13
4.1.1 Korroosio-ominaisuudet	13
4.1.2 Muiden metallien vaikutus	14
4.1.3 Pintakäsittely	14
4.2 Hiiliteräkset ja niukkaseosteiset teräkset	15
4.2.1 Korroosio-ominaisuudet	15
4.2.2 Pintakäsittely	16
4.3 Ruostumaton- ja haponkestäväteräs	17
4.3.1 Korroosio-ominaisuudet	18
4.3.2 Pintakäsittely	18
5 NYKYINEN KULKUKISKO	19
5.1 Rakenne	19
5.2 Kulkukiskossa ilmenneet korroosio-ongelmat	21
6 KANNAKKEET	23
6.1 Korroosion syyt	24
7 KULKUKISKO	26
7.1.1 Korroosion syyt	26
8 NYKYISEN KISKOJÄRJESTELMÄN KORROOSION KESTON PARANNUS MAHDOLLISUUDET	29

8.1 Materiaalivalinnat	29
8.2 Galvaanisen korroosion esto	30
9 KORJausehdotus	31
10 Yhteenveto ja päätelmät	33
LÄHTEET	34

1 JOHDANTO

Navaltek Oy on ollut tekemässä useita projekteja laivojen ikkunapesujärjestelmiin. Näissä projekteissa tehtyjen havaintojen ja asiakkailta saatujen palautteiden mukaan kiskojärjestelmä vaatii tällä hetkellä huomattavan määrän työtä, jotta se voidaan pitää käytössä. Korrosio vaivaa etenkin liitoskohtia, joissa kulkukisko on liitetty laivan kylkeen, ja lisäksi eri korroosionmuodot heikentävät kulkukiskon visuaalista ilmettä.

Opinnäytetyön tavoitteena on tarjota apua korroosion vaikutuksien minimoimiseen suunnitteluratkaisuilla mahdollisten uusien kiskojen suunnittelussa, sekä miettiä ratkaisuja olemassa olevien kiskojen korroosiovaikutusten minimoimiseen. Opinnäytetyössä pyritään kartoittamaan ne osatekijät, jotka vaikuttavat korroosioon, ja tarjoamaan keinoja näiden haittojen ehkäisyyn.

Opinnäytetyössä keskitytään eri materiaalivalintojen vaikutukseen rakenneosissa ja liitoksissa sekä kulkukiskon konstruktion, jotta korrosoivien tekijöiden määrä voidaan minimoida.

.

2 IKKUNANPESU JÄRJESTELMÄ

Nykyisistä matkustajalaivoista löytyy usein useita kiinteästi asennettuja pesureita, jotka on suunniteltu pesemään tietty alue laivan rakenteista. Usein laivan yläkansilla seinä voi olla koko laivan mitalta rakennettu lasista, joka vaatii säännöllistä puhdistusta suolan ja muun lian poistamiseksi näiltä pinnoilta. Näiden ikkunoiden pesu on hankalaa ilman erityisesti tähän tarkoitukseen suunniteltua laitetta, sillä ikkunalinjaan käsiksi pääseminen on hankalaa huonon tavoitettavuuden takia.

Tämä on otettava huomioon jo laivan suunnitteluvaiheessa, ja laivan kylkeen asennetaan kiskoilla liikkuvia pesureita, jotka pystyvät liikkumaan joko tietyn osan laivan pituudesta tai koko kyljen alueella. Pesurit ovat joissakin tapauksissa hyvinkin isokokoisia, ja niihin on liitetty esimerkiksi erilaisia huoltotasoja, jotka voivat olla myös vertikaalisessa suunnassa liikkuvia. Tällaiset isot pesuriratkaisut vaativat myös kestäväen kulkukiskon, jotta niiden liikuttelu on mahdollista.

3 KORROOSIO

Korroosiota käytetään sanana nykyisin kuvaamaan kemiallista tai sähkökemiallista reaktiota, jossa rakennemateriaali palautuu sen alkuperäisiin rakenneseisiin käyttöympäristön vaikutuksesta. Korroosiossa suuria määriä energiaa ja raaka-aineita vaatinut valmistusprosessi ikään kuin kelataan taaksepäin luonnonvoimien johdosta ja korroosiosta käytetäänkin myös nimitystä ”käänteinen metallurgia”. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, p. 17)

Korroosio on maailmanlaajuisesti erittäin suuri ongelma, ja korroosion aiheuttamiksi kustannuksiksi on arvioitu globaalisti noin 2,5 biljoonaa dollaria vuosittain vuonna 2013, mikä on noin 3,4 % koko maailman bruttokansantuotteesta. (NACE International, 2017)

Korroosiota esiintyy useissa eri muodoissa. Korroosiotutkimuksessa keskityttiin kuitenkin 1910-luvulle saakka lähes pelkästään yleiseen ja pistemäiseen korroosioon. Vasta teräsrakenteiden käyttökohteiden määrän kasvun myötä havaittiin myös uusia korroosionmuotoja; esimerkiksi maahan upotetuissa rakenteissa, värähtelevissä koneissa ja laitteissa, korkean lämpötilan käyttökohteissa ja nopeasti virtaavien liuksien sovelluksissa. Vuosien 1910 ja 1920 välillä ilmestyivät ensimmäiset artikkelit, jotka käsittelivät ei-rautametallien korroosiota, mikrobiologista korroosiota, korroosioväsymistä, jännityskorroosiota emäksissä olosuhteissa sekä kavitaatiota. (Aromaa, 2013, p. 127)

SFS-EN ISO 8044 -standardissa luetellaan 37 eri korroosion muotoa seuraavasti:

- Sähkökemiallinen (anodi- ja katodireaktio) ja kemiallinen korroosio

(ei sähkökemiallisia reaktioita)

- Kuusi eri ympäristöissä tapahtuvaa korroosionmuotoa (kaasutila, ilmasto, merivesi, maaperä, vesiraja, saostumien alla)

- Mikrobiologinen korroosio (kaikki mikrobiologinen toiminta) ja bakteerikorroosio

(bakteerit erityisesti)

- Yleinen (korroosio tapahtuu koko pinnalla) ja paikallinen (korroosio

keskittyy tiettyihin kohtiin pintaa)

- Galvaaninen korroosio (korroosiokennossa), elektrolyyttinen korroosio ja hajavirtakorroosio (molemmat ulkoisen virran vaikutuksesta)

- 22 erinäköisen vaikutuksen, vahingon tai vaurion aiheuttavaa korroosimuotoa.

Luettelo on lainattu Aromaan (2013) teoksesta Korroosio ja korroosion eston historia, jossa on referoitu standardia SFS-EN ISO 8044. Standardista on julkaistu päivitetty versio vuonna 2015 (SFS-EN ISO 8044:2015), mutta tähän standardiin ei ole pääsyä opinnäytetyötä kirjoittaessa.

Opinnäytetyössä keskitytään lähinnä rakenteissa esiintyviin galvaaniseen korroosioon, korroosioväsymiseen, sekä piste- ja rakokorroosioon.

3.1 Galvaaninen korroosio

Galvaanista korroosiota tapahtuu, kun kaksi eri jalousasteen metallia ovat samassa elektrolyytissä, ja ne ovat sähköisesti kontaktissa toisiinsa. Korroosio tällaisessa tilanteessa keskittyy epäjalompaan eli alhaisemman elektrodipotentiaalın omaavaan metalliin, joka muodostuu anodiksi ja alkaa syöpyä. Jalomman eli katodiksi muodostuvan metallin korroosio sitä vastoin pysähtyy lähes täysin. Taulukko 3.1 esittää käytännön olosuhteissa määritellyn potentiaalisarjan, josta voidaan arvioida galvaanisen parin syöpmiskäyttäytymistä. Korroosionopeuteen vaikuttavat lähinnä seuraavat tekijät:

1. Elektrodipotentiaali ero. Mitä suurempi elektrodipotentiaali ero on, sitä todennäköisempää on toisen metallin syöpyminen. Elektrodipotentiaali ero ei kuitenkaan suoraan kerro korroosion voimakkuudesta.

2. Metallien pinta-alojen suhde. Vaikein tilanne on silloin, kun katodin pinta-alan suhde on suuri verrattuna anodiin. Tästä syystä esimerkiksi niitti tai pulttiliitoksissa tulee välttää tilannetta, jossa kiinnitin on epäjalompi liitettävään metalliin nähden.

3. Elektrolyytin koostumus. Korkean johtavuuden elektrolyyteillä, kuten merivedellä, korroosio kohdistuu laajemmalle alueelle anodissa, kun taas huonosti johtavilla elektrolyyteillä korroosio on enemmän paikallisuonteista.

Taulukko 3.1 Metallien galvaaninen jännitesarja merivedessä. (Väisänen, 2007, p. 32)

jalo	Grafiitti
	Hopea
	Haponkestävä teräs (passiivinen)
	Ruostumaton teräs (passiivinen)
	Monelmetalli
	Nikkeli (passiivinen)
	Punametalli
	Kupari
	Alumiinipronssi
	Nikkeli (aktiivinen)
	($\alpha + \beta$)-messingit
	Lyijy
	Haponkestävä teräs (aktiivinen)
	Ruostumaton teräs (aktiivinen)
	Valurauta
	Niukkahiilinen teräs
	Alumiini ja sen seokset
	Galvanoitu teräs
	Sinkki
epäjalo	Magnesium ja sen seokset

Passiivisen metallin pinnassa on suojaava oksidikerros.
Aktiivisen metallin pinnasta se vielä puuttuu.

Galvaaninen korrosio saattaa olla oikeissa olosuhteissa erittäinkin voimakasta. Esimerkiksi vuonna 1915 Yhdysvalloissa rakennettiin Sea Call -niminen 215 -jalkainen huvijahti, jonka runko rakennettiin Monel-metallista ja raudasta. Rungon liittämiseen käytettiin rautaniittejä, jotka syöpyivät kuudessa viikossa niin pahoin, että alus päätettiin romuttaa. Laboratoriotesteissä ongelma jäi havaitsematta, koska testissä pinta-ala suhteet eivät vastanneet todellista tilannetta, vaan katodin pinta-ala oli huomattavasti pienempi. (Teräsrakenneyhdistys 2017; Aromaa, 2013, p. 132; Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, pp. 109-111)

3.2 Korroosioväsyminen

SFS-EN ISO 8044 -standardin mukaan korroosioväsymisellä tarkoitetaan ilmiötä, jossa korrosio ja vaihteleva venymä aiheuttavat yhdessä ilmiön, joka aiheuttaa murtumia. Korroosioväsymistä voi tapahtua, kun metallia kuormitetaan jaksottaisesti syövyttävässä ympäristössä. Ensimmäistä kertaa korroosioväsyminen huomattiin ensimmäisen maailmansodan aikana 1917, kun merimiinojen raivauksessa käytetyissä vaijereissa huomattiin murtumia, jotka tunnistettiin korroosion ja mekaanisen rasituksen yhteisvaikutuksen aiheuttamiksi. Korroosiomekanismina on plastinen deformaatio suurimman jännityksen kohdalla, mikä johtaa paikalliseen korroosioon ja murtuman alkuihin. Ajan myötä murtuma laajenee ja tuhoaa kappaleen. Korroosioväsyminen on hyvin todennäköistä sellaisissa olosuhteissa, joissa kappale on muutenkin altis paikallisen korroosion erimuodoille. Kaikkein yleisintä korroosioväsyminen on pyörivissä koneen osissa, kuten akseleissa. (Aromaa, 2013, p. 155; Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, pp. 122-123)

3.3 Pistekorroosio

Pistekorroosio (myös pistesyöpyminen) on paikallista korroosiota, joka aiheuttaa pisteitä, toisin sanoen pieniä kuoppia, jotka lähtevät etenemään metallin pinnalta sisälle päin muodostaen syvänteitä. Korrosio lähtee usein liikkeelle erilaisista pinnan heterogeenisuuksista; esimerkiksi urista, pintakalvojen rakennevirheistä tai pinnalla olevista elektrolyttipisaroista. Kloridipitoiset nesteet, kuten merivesi, ovat tyypillisiä pistekorroosion aiheuttajia. (Sandvik Group, 2017; Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, p. 103)

Pistekorroosio aiheuttaa yleensä vain kosmeettista haittaa suuremmilla materiaalin vahvuuksilla, mutta ohutseinämaisissä putkissa ja säiliöissä se voi edetä koko materiaalipaksuuden läpi aiheuttaen reiän. Pistekorroosiota pidetään yleisesti passivoituvien metallien ongelmana, mutta sitä esiintyy muillakin metalleilla tietyissä olosuhteissa esim. teräksillä emäksisissä olosuhteissa. (Aromaa, 2013, p. 135; Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, p. 103)

3.4 Rakokorroosio

Rakokorroosiota esiintyy raoissa (0,025 mm – 0,1 mm), johon neste pääsee tunkeutumaan, mutta se ei pääse vaihtumaan samalla nopeudella kuin metallin muilla pinoilla. Otollisia paikkoja rakokorroosiolle ovat liitoskohdat, esimerkiksi niitti- ja pulttiliitokset, mutta myös esimerkiksi huonosti hitsautunut hitsisauma voi aiheuttaa rakokorroosiota. Rakokorroosio iskee myös metallin ja epämetallin kosketuspintoihin, esimerkiksi tiiviste-liitoksiin tai pinnalla olevien epäpuhtauksien yhteyteen. Rakokorroosio on voimakkaampaa passivoituville metalleille kuin aktiivisesti syöpyville, mikä altistaa esimerkiksi alumiinin ja ruostumattoman teräksen tälle korroosion muodolle. Rakokorroosion voimakkuuteen vaikuttaa raon ympärillä olevan vapaan metallipinnan ala: mitä suurempi vapaa metallipinta on, sitä voimakkaampaa on syöpyminen.

4 KULKUKISKOSSA KÄYTETYT METALLIT JA NIIDEN KORROOSIO-OMINAISUUDET

4.1 Alumiini

Alumiini on maan kolmanneksi yleisin alkuaine. Jo muinaiset kreikkalaiset ja roomalaiset käyttivät Alunaa, joka on alumiinin suola, jossa on alumiinia ja kaliumia. Puhdasta alumiinia valmisti ensimmäisenä tanskalainen Hans Christian Örstedt vuonna 1824. (Janhunen, 2004, p. 10)

Alumiini ei koskaan esiinny luonnossa vapaassa tilassa vaan primaarialumiini valmistetaan bauksiitista, joka koostuu pääasiallisesti alumiinin, raudan ja piin hydroksideista. Suurimmat tunnetut bauksiittiesiintymät sijaitsevat Australiassa, Brasiliassa, Jamaikalla ja Surinamissa. Bauksiittimalmi muunnetaan louhinnan jälkeen aluminaksi (Al_2O_3), josta valmistetaan primaarialumiini elektrolyysiprosessilla. (Carlholt, 2006, p. 1)

Puhdas alumiini on hyvin pehmeää, ja sillä on heikko lujuus. Puhtaan alumiinin käyttö onkin vähäistä lukuun ottamatta muutamia erikoissovelluksia. Yleisimmät seosaineet alumiinissa ovat kupari, pii (silumiinit), magnesium (duralumiinit) ja sinkki. (Tampereen teknillinen yliopisto, 2005; Teknologiateollisuus ry, 2006, pp. 55-56)

4.1.1 Korroosio-ominaisuudet

Alumiinin korroosiokestävyys perustuu sen kykyyn muodostaa ohut, tiivis ja perusaineeseen lujasti kiinnittyvä oksidikalvo sen reagoidessa ilman hapen kanssa. Tavallisilla seostetuilla alumiinilaaduilla tämän kalvon paksuus on 10–20 nm ja puhtaalla Al 99,98 vain noin 6 nm. Oksidikalvo aiheuttaa alumiinin passivoitumisen, jolloin se muuttuu potentiaaliltaan jalommaksi. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, p. 530)

Paras korroosionkestävyys vaihteleviin olosuhteisiin olisi seostamattomalla alumiinilla, mutta lujuusominaisuudet ja hinta eivät yleensä mahdollista sen käyttöä. Yleensä vähän seostetut AlMg-, AlMgSi- ja AlSi-seokset ovat kestävimät, ja ne soveltuvat suojaamattominakin vaihteleviin ilmasto-olosuhteisiin. Runsaasti seostetut, lujat alumiinilaadut ovat korroosio-ominaisuuksiltaan huonompia, mutta ne ovat käyttökelpoisia oikein suojattuina. Magnesiumseostus on poikkeuksellinen korroosion kestävyuden kannalta, sillä se

muodostaa osan oksidikalvosta ja parantaa näin korroosion kestävyyttä merivedessä ja klooripitoisissa liuksissa. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, p. 530)

4.1.2 Muiden metallien vaikutus

Alumiini sijaitsee sähkökemiallisen jännitesarjan alapäässä ja on näin ollen teoriassa heikossa asemassa joutuessaan kosketuksiin muiden metallien kanssa kosteassa ympäristössä. Alumiinin pintaan muodostuva oksidikerros onneksi suojaa alumiinia melko hyvin galvaaniselta korroosiolta normaaleissa käyttöolosuhteissa. Korroosio muodostuu ongelmaksi vain, jos elektrolyyttiä pääsee eri metallien kosketuspintoihin. Meri-ilma aiheuttaa kuitenkin haastavat olosuhteet alumiinin kannalta, koska merivesi toimii tehokkaasti elektrolyytinä. Tällaisissa käyttöolosuhteissa on erittäin suositeltavaa erottaa metallit konstruktiivisesti toisistaan esimerkiksi muovilla tai maalaamalla kauttaaltaan. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, p. 534)

Alumiinin korroosioriski kasvaa merkittävästi, jos se joutuu ulkokäytössä kosketuksiin kuparin tai noen partikkeleille. Nämä partikkelit muodostavat pienoiskatodeja alumiinin pinnalle johtaen korroosioreaktioon ja alumiinin karhenemiseen. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, p. 534)

4.1.3 Pintakäsittely

Alumiinin omaa oksidikerrosta voidaan kasvattaa anodisoimalla, jolloin saavutetaan 500 – 1000 kertaa paksumpi oksidikerros luontaiseen kerrokseen verrattuna. Anodisoinnissa alumiini upotetaan tavallisesti rikkihappoliuokseen anodiksi ja siihen johdetaan tasavirtaa. Näin käsittelemällä alumiinin oksidikerroksen paksuudeksi saadaan 5–25 µm. Anodisoinnin jälkeen kappale upotetaan 99 ± 1 °C veteen, jossa oksidikerros hydrolysoituu, kerroksen huokokset täyttyvät ja kerros paisuu. Tiivistynyt kerros toimii erinomaisena suojana alumiinille, sillä se estää syöpmistä sekä suojaa alumiinia naarmuilta ja mekaaniselta kulumiselta. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, p. 535)

Alumiinia voidaan myös maalata, mutta se vaatii hyvän pohjakäsittelyn, sillä useat maalit tarttuvat huonosti sileään alumiinipintaan. Alumiinin pinta voidaan karhentaa joko kemiallisesti tai mekaanisesti, joka parantaa maalin tarttumista merkittävästi. Alumiini voidaan myös kromatoida, jolloin alumiinin korroosiokestävyys paranee ja maalipinnan adheesio

on parempi. Kromatoinnissa alumiinin pintaan muodostuu ohut, vain 0,12-3 µm paksuinen sinkkikerros. (Aromaa, 2013, p. 194; Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, p. 536)

4.2 Hiiliteräkset ja niukkaseosteiset teräkset

Teräkseksi luokitellaan yleensä rauta, jossa on hiiltä alle 1,7 %. Tätä suuremman hiilipitoisuuden rautaa kutsutaan valuraudaksi. Ensimmäiset rautaesineet ovat peräisin noin 6000 vuoden takaa, jolloin rautaa on kerätty meteorien jäännöksistä. Varsinainen raudan valmistus keksittiin noin 3400 vuotta sitten, jolloin sitä alkoivat tuottaa Lähi-idässä asuneet heetiläiset. (Väisänen, 2007, p. 6)

Rauta on maankuoren toiseksi yleisin alkuaine, joten sitä on runsaasti saatavilla teollisuuden tarpeisiin. Se onkin teollisuudessa ylivoimaisesti merkittävin metallien ryhmä, ja terästen, ja valurautojen yhteenlaskettu vuosituotanto on yli 1,2 miljardia tonnia. (Tampereen teknillinen yliopisto, 2005)

Teräksen etuja rakenteissa ovat hyvä muokattavuus, hitsattavuus, hinta ja saatavuus. Tavallisen teräksen korroosio-ominaisuudet ovat heikot, lukuun ottamatta kuivia sisätiloja. Seostamalla terästä sen korroosio-ominaisuuksia voidaan parantaa, mutta korroosiolle altistavissa olosuhteissa on teräksen suojaaminen pinnoittamalla aina suositeltavaa.

4.2.1 Korroosio ominaisuudet

Sähkökemiallinen korroosio alkaa vaikuttaa teräkseen sen ollessa ilmastossa, jonka suhteellinen kosteus ylittää 60-80 %. Raja-arvoa ei voida tarkasti esittää, koska myös muut tekijät vaikuttavat korroosion ilmenemiseen, kuten kiinteät ja kaasumaiset partikkelit. Useimmiten voidaan kuitenkin olettaa, että alle 60 % suhteellisessa kosteudessa korroosiota ei tapahdu. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, p. 447)

Hiiliteräksen ohjeellisena korroosionopeutena voidaan pitää meri-ilmastossa ensimmäisen kymmenen vuoden aikana alle 0,5 mm/10 a. COR-TEN-tyyppisillä teräksillä korroosionopeus on noin kaksinkertainen ensimmäisen kymmenen vuoden aikana, mutta hidastuu tämän jälkeen huomattavasti, sillä teräksen pintaan muodostuvasta korroosiotuotteesta syntyvä suojakerros tiivistyy entisestään suojaten sen alla olevan materiaalin. Upporasituksessa COR-TEN-tyyppiset metallit menettävät kykynsä muodostaa

suojaavan kerroksen, joten tällaisten rakenteiden kanssa tulee olla erityisen tarkkana ja vältettävä rakoja, joihin kosteus pääsee kerääntymään. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, p. 447)

4.2.2 Pintakäsittely

Teräksille on olemassa useita pinnoitusmenetelmiä, koska niiden ylläpitokustannukset ovat korkeat ja elinikä lyhyt ilman suojaavia toimenpiteitä. Seuraavassa on lueteltu yleisimmät teräkselle käytetyt suojatoimenpiteet:

- orgaaniset pinnoitteet (maalaukset, muovipinnoitus, kumitus)
- epäorgaaniset pinnoitteet (metallipinnoitteet, hitsauspinnoitus, valu betoniin)
- sähkökemiallinen suojaus (anodinen ja katodinen suojaus)
- inhibiittien tai hapenpoistokemikaalien annostelu

(Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, p. 454)

Maalausmenetelmiä on kymmeniä erilaisia, ja niitä voidaan soveltaa moniin erikäyttökohteisiin. Maalauksen korroosionestokyky perustuu kolmeen erilaiseen metodiin:

- Katodireaktion estäminen – katodireaktio estyy, kun hapen ja veden pääsy katodille estetään. Esimerkiksi epoximaalit ja sinkkiä sisältävät korroosionestopigmentit
- Anodireaktion estäminen – Anodisen reaktion estämiseksi rautaionien liukeneminen katodisen suojauksen tai anodisen inhiboinnin avulla. Esimerkiksi lyijymönjä, sinkkikromaatti ja sinkkifosfaatti. Kromaatti- ja lyijypigmenttejä ei työterveydellisistä syistä enää käytetä.
- Sähkövirran kulun estäminen – Maalit, jotka muodostavat riittävän suuren vastuksen korroosioparin välille.

(Tikkurila Oy, 2009, p. 3)

Maalauksen jälkeen yleisin pinnoitusmenetelmä teräksille on sinkitys. Sinkitystä käytetään usein myös esikäsitteilynä ennen maalausta parantamaan maalin adheesiota. (Sorsa, 2015, p. 92)

Sinkitys voidaan suorittaa joko sähköön tai lämmön avulla. Sähkösinkityksessä eli galvanoinnissa kappale upotetaan elektrolyyttialtaaseen ja teräskappale asetetaan katodiksi. Näin anodiksi muodostuneesta sinkistä muodostuu katodin päälle suojaava kerros, jonka paksuus on noin 10 µm. Sähkösinkitys kestää huonosti iskuja ja kolhuja, eikä sovellu ankariin korroosio-olosuhteisiin, kuten meri-ilmastoon. (Sorsa, 2015, p. 92; Väisänen, 2007, p. 44)

Kuumasinkityksessä teräs upotetaan sulaan sinkkiin, jossa teräs ja sinkki reagoivat keskenään. Kuumasinkityksestä ei muodostu tasaista kerrosta teräksen pinnalle, vaan pinta on kuviollinen ja epätasainen. Kuumasinkityksellä teräksen päälle saadaan paksumpi kerros kuin sähkösinkityksellä, ja sinkkikerroksen paksuus vaihtelee välillä 60-150 mikrometriä. (Sorsa, 2015, p. 93)

4.3 Ruostumaton- ja haponkestäväteräs

Ruostumattoman teräksen keksi Harry Brearley, joka vuonna 1912 havaitsi että yli 12 % kromia sisältävä teräs kestää hyvin sekä korroosiota että hapettumista. Ruostumattomat teräkset jaetaan mikrorakenteensa perusteella kolmeen pääryhmään:

- austeniittiset
- ferriittiset
- martensiittiset

Lisäksi mikrorakenne voi koostua edellä mainittujen yhdistelmistä.

Ruostumattoman teräksen tärkeimmät seosaineet ovat kromi ja nikkeli, joista kromi suosii ferriittistä mikrorakennetta ja nikkeli austeniittista. Muita seosaineita ovat tyypillisesti hiili, typpi, mangaani, pii ja molybdeeni. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, p. 455; Euro Inox, 2011)

Yleisin ruostumatonteräs laatu on austeniittinen AISI304, josta löytyy useita variaatioita eri seosaineilla. Seostettaessa molybdeenillä saadaan paremmin korroosiota kestävää niin sanottua haponkestävää AISI316-laatua, josta myös löytyy useita variaatioita. (Euro Inox)

4.3.1 Korroosio ominaisuudet

Ruostumattoman teräksen korroosionkestävyys perustuu sen kykyyn muodostaa passiivi kerros teräksen pinnalle samoin kuin alumiinilla. Teräksen pintaan syntyy ohut, muutamia kymmeniä nanometrejä paksu kromioksidivaltainen oksidikalvo. Kalvon vahvuuteen vaikuttaa voimakkaasti teräksen sisältämän kromin määrä ja ympäristön hapettavuus. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, p. 459)

4.3.2 Pintakäsittely

Ruostumatonta- tai haponkestävää terästä pintakäsitellään harvoin sille ominaisen korroosiosietokyvyn takia. Teräksen suojaus voi kuitenkin olla tarpeen liitettäessä se muiden metallien kanssa yhteen, jotta metallien välille syntyvä galvaaninen sähköpari saadaan estetyksi.

5 NYKYINEN KULKUKISKO

Tässä opinnäytetyössä keskitytään kulkukiskotyyppiin, jossa kulkukisko on tehty alumiiniprofiilista. Kiskotyypin ongelmana on ollut voimakas korroosio sekä kulkukiskossa että kannakkeissa, ja se johtaa kiinnityskohtien syöpymiseen käyttökelvottomiksi pahimmillaan estäen pesurivaunun käytön. Kuvassa 5.1 näkyvät selvästi korroosion aiheuttamat vauriot kulkukiskon kannattimessa.

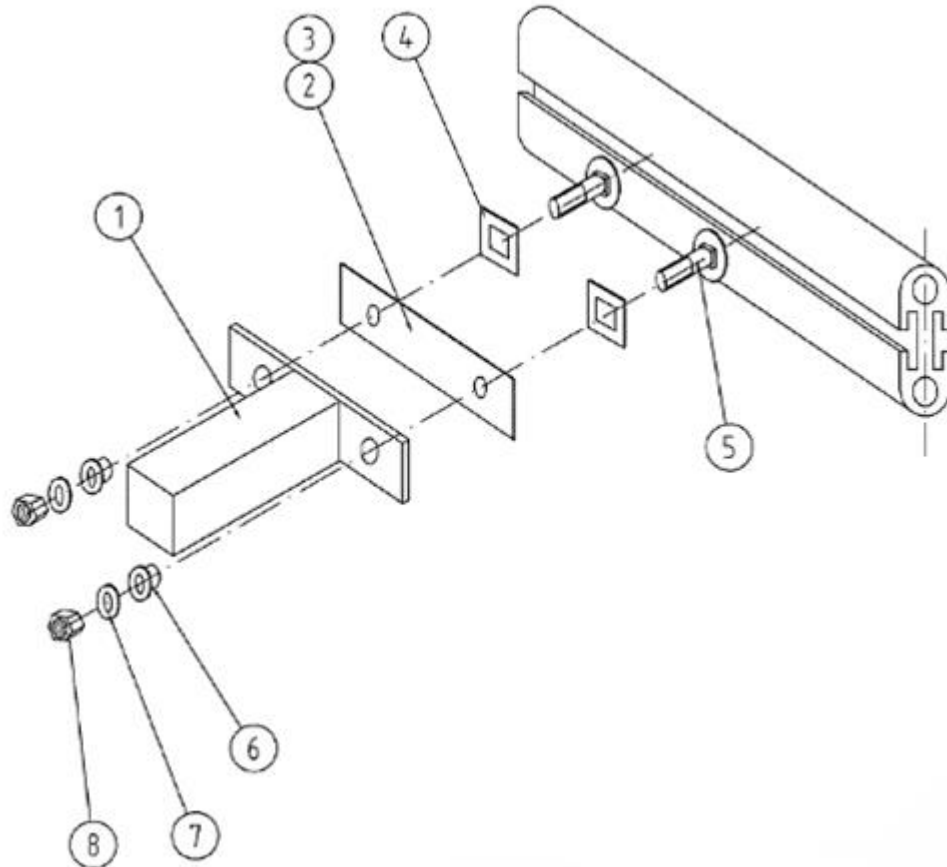


Kuva 5.1 Korroosion vaikutukset kulkukiskon kannattimessa.

5.1 Rakenne

Kulkukisko on kiinnitetty laivan kylkeen teräksisillä kannakkeilla noin kahden metrin välein. Kannakkeen päässä on poikittain hitsattu teräspala, johon kisko kiinnittyy kahdella A4-luokitellulla ruuvilla. Ruuvien pää on muotoiltu siten, että se menee kulkukiskossa olevaan uraan, eikä kiskoon tarvitse tehdä erillisiä kiinnitysreikiä.

Ruuvi ja kannatin on eristetty kulkukiskosta Robalon®-eristeellä (kuvassa 5.2 numerot 2,4 ja 7), joka erottaa materiaalit toisistaan galvaanisesti. Robalon on kaupp nimi PE-UHMW-muoville (ultrasuurimolekyylinen polyeteeni). Ruuvit on erotettu myös laivan runkoon hitsatusta teräksisestä kannakkeesta eristinkauluksella (Kussa 5.2 numero 6).



Kuva 5.2 Nykyisen kulkukiskon konstruktio.

Alumiiniprofiili on muotoiltu symmetriseksi, mikä mahdollistaa sen asentamisen kahdessa eri orientaatiossa, ja kummankin puolen kiinnityksen kannakkeeseen. Kulkukiskon ylä- ja alapuoli on muotoiltu puolikaaren muotoon, ja näiden osien päällä pesurivaunu liikkuu alumiinipyörien varassa. Kuvassa 5.3 on esitetty pesurivaunun kiinnittyminen kulkukiskoon.



Kuva 5.3 Pesurivaunun toisen kannattimen kiinnittyminen kulkukiskoon.

Kulkukiskon ylä- ja alapäähän on tehty kevennysreiät, joilla kiskon painoa ja materiaali-
menekkiä on vähennetty. Kulkukiskon pintakäsittelystä ei ole varmuutta, sillä tästä ei
löydy tietoa käytettävissä olevasta dokumentoinnista, mutta todennäköisesti pinta on
anodisoitu, kuten tällaisessa käyttöympäristössä kuuluu.

5.2 Kulkukiskossa ilmenneet korroosio ongelmat

Suurin ongelma kiskon kestävyudessa, on kiinnitys kannakkeisiin. Kiinnityskohdat ovat
paikoin korrosoituneet pahoin aiheuttaen vakavan turvallisuusriskin. Kiskoja on paikoin

jouduttu kääntämään, jotta kiinnitys on voitu toteuttaa uuteen kohtaan. Myös laivan kylkeen kiinnitettyjen kannakkeiden päitä on jouduttu vaihtamaan vanhojen syövyttyä käytökelvottomiksi. Osaan kannakkeista on hitsattu uusi kiinnitys kulkukiskolle haponkestävästä teräksestä, jolloin korroosion vaikutuksia on saatu vähennettyä kannakkeen osalta.

Matkustaja-aluksissa myös laivan ulkonäkö on tärkeä, ja nykyisissä kannakkeissa korroosiotuotteet ovat osin voimakkaasti värjänneet kannakkeita, kiskoa ja laivan kylkeä pilaten siistin vaikutelman. Kiskon pinta on myös paikoitellen hyvin pilkukas rakokorroosion johdosta. Nämä ilmiöt haittaavat matkustajien risteilykokemusta tekemällä ympäristöstä epämiellyttävän ja heikentäen asiakastytyvääisyyttä, joka on varustamoiden välisen kilpailun ollessa kovaa tärkeä tekijä asiakkaiden saamiseksi.

6 KANNAKKEET

Kannakkeet on valmistettu teräksestä, ja ne on kiinnitetty laivan kylkeen hitsaamalla. Ongelmia kannakkeissa on tuottanut pääasiassa galvaaninen korroosio ja rakokorroosio. Kuvassa 6.1 on nähtävissä korroosion aiheuttamia ruostepisteitä. Kuvasta voidaan myös havaita, että kannakkeita on maalattu, todennäköisesti useita kertoja, korroosion hallitsemiseksi.



Kuva 6.1 Kiskon kannattimen korroosio.

Pahimmillaan kannakkeiden korroosio on kuitenkin ollut niin voimakasta, ettei kannakkeiden lujuus enää vastaa suunniteltua. Kuvassa 6.2 voidaan havaita kannakkeesta syöpyneen materiaalia niin, ettei sen enää voida olettaa täyttävän alkuperäisiä rakennevaatimuksia.



Kuva 6.2 Syöpynyt kannake.

6.1 Korroosion syyt

Kannakkeiden ja rungon välisessä kiinnityskohdassa esiintyy hitsausseaman ympärillä yleistä korroosiota, joka on todennäköisesti peräisin maalipinnan alle jääneistä epäpuhtauksista, hitsauksessa syntyneistä hitsausvirheistä tai maalipinnan rikkoutumisesta.

Mikäli esikäsitely ennen maalausta on ollut vaillinainen tai maalausta ei ole suoritettu heti esikäsitelyn jälkeen, on maalattavalle pinnalle saattanut päästä epäpuhtauksia. Nämä epäpuhtaudet alkavat vaikuttaa maalipinnan alla ja syövyttävät metallia ja rikkovat ajan myötä myös pinnalla olevan maalikerroksen. Maalikerros suojaa korroosioreaktiota niin, että mahdolliset korroosiota aiheuttavat partikkelit eivät pääse poistumaan pinnalta, vaan vaikuttavat kunnes maalikerros rikkoutuu.

Hitsauksen aikana hitsiin on saattanut jäädä huokosia ja rakoja, jotka mahdollistavat kosteuden pääsyn saumaan synnyttäen rakokorroosiota. Hitsauksessa raerajoille voi myös muodostua epäpuhtaita vyöhykkeitä, jotka herkistävät metallin raeraja korroosiolle.

Kannakkeiden päät ovat paikoin syöpyneet voimakkaasti. Näissä kohdissa kannakkeeseen vaikuttavat voimakkaimmin luultavimmin galvaaninen korrosio ja rakokorrosio. Vaikka kulkukisko ja kannake on eristetty toisistaan konstruktiivisesti, on todennäköistä, että tämä eristys on ajan saatossa pettänyt ainakin joistakin kannakkeista. Galvaanisen parin muodostumiseen riittää metallien välisen sähkönjohtavuuden syntyminen muuallakin kuin korrosiokohdan välittömässä läheisyydessä, joten myös etäämmällä rikkoutunut eristys voi vaikuttaa galvaanisen parin syntyyn tietyssä pisteessä.

Kulkukiskon ja kannakkeen välissä oleva tiiviste ei puristu koko alaltaan pintojen väliin, vaan kulkukiskossa olevan uran kodalta kontakti on ainoastaan kannakkeen puolella. Näin asennettuna kannakkeen ja tiivisteiden väli ei ole täysin tiivis, vaan muodostaa taskun, johon kosteus ja merivesi pääsevät tunkeutumaan. Ilmassa olevan kosteuden ja suolan toimiessa loistavana elektrolyytinä voimakas korrosioympäristö on valmis. Myös ruuviliitoksien väleihin ja niissä käytettyjen eristeholkkien rakoihin syntyy helposti rakokorrosiolle otollisia paikkoja.

Vaikka kannakkeet onkin maalattu ennen asennusta, saattaa asennusvaiheessa tulla helposti pieniä naarmuja maalipintaan. Nämä naarmut laajanevat ajan myötä korroosion vaikutuksesta ja korrosio reaktio voimistuu entisestään.

7 KULKUKISKO

Kulkukisko rakentuu 6 m pituisista alumiiniprofiilitangoista, jotka on liitetty toisiinsa Kuva 5.1 mukaisesti. Profiiliin on tehty kiinnityskohtiin aukko alumiinikiinnitintä varten, ja profiilin läpi on porattu reikä. Profiilien väliin on asennettu alumiininen kiinnityspala, ja tämä on läpiruuvattu kummastakin päästä profiiliin.



Kuva 7.1 Kulkukiskoprofiilien liitos.

Laivan kylkeen kulkukisko on kiinnitetty kuten edellä esitetty (Kuva 5.2 ja Kuva 6.1). Osissa kiinnityskohdissa korroosio on ollut niin voimakasta, että kisko on jouduttu kääntämään korroosion tuhottua alkuperäisen kiinnitys kohdan (Kuva 7.2).

7.1.1 Korroosion syyt

Kulkukiskon voimakas korroosio johtuu todennäköisesti pääosin rakokorroosiosta ja galvanisesta korroosiosta samoin kuin kannakkeessa. Kulkukiskon ja laivan kyljessä ole-

van kannakkeen välissä olevan tiivistematon väliin on päässyt merivettä, joka on synnyttänyt edulliset olosuhteet voimakkaalle rakokorroosiolle. Todennäköisesti myös galvaanisella korroosiolle on ollut osuutta syöpymiseen, sillä vaikka kappaleet on erotettu toisistaan rakenteellisilla eristeillä, on kontaktipintoja todennäköisesti päässyt muodostumaan ainakin joissain kiinnityskohdissa, kuten edellisessä kappaleessa mainittiin.

Kiskon sisälle jäävät ruuvin kannat ovat todennäköisesti vaurioittaneet alumiinia suojannutta passivaatiokerrosta asennuksen yhteydessä johtuen kiinnitystavan mekaniikasta, jossa ruuvin neliönmallinen kantaosa estää ruuvin pyörimisen tukeutumalla kiskon uran reunaan.



Kuva 7.2 Korroosio kiskonkannakkeen kohdalla.

Kuvissa on myös näkyvissä, miten tiiviste tulee metallien kosketusalojen yli niin, että sen reunat eivät tiivisty metallia vasten. Myös nämä paikat ovat otollisia keräämään kosteutta.

Kulkukisko kulkee osittain parvekkeiden alla suojassa auringon valolta, ja näillä alueilla kiskossa on havaittavissa voimakasta pistekorroosiota. Pistekorroosiota on havaittavissa myös muualla kulkukiskossa, mutta korroosion voimakkuuteen näillä alueilla saattaa vaikuttaa ylhäällä olevien rakenteiden varjostus, joka hidastaa elektrolyyttinä toimivan veden haihtumista pinnoilta.



Kuva 7.3 Pistesyöpymistä kulkukiskon pinnassa.

8 NYKYISEN KISKOJÄRJESTELMÄN KORROOSION KESTON PARANNUSMAHDOLLISUUDET

8.1 Materiaalivalinnat

Kulkukiskon valmistukseen on käytetty pursotettua alumiinia, joka mahdollistaa kiinnitykseen tarvittavan profiilin valmistuksen. Alumiinin ominaisuudet sopivat korrosoiviin olosuhteisiin sen luontaisen passivoitumisen ansiosta. Todennäköisesti profiili on käsitelty anodisoimalla korroosion keston parantamiseksi, mikä on vallitsevissa olosuhteissa välttämätöntä materiaalin kestoiän pidentämiseksi.

Paremmen korroosiosuojan omaava materiaali kulkukiskoon olisi haponkestävä teräs, jonka luontainen passivaatio on alumiinia voimakkaampi ja sen korrosio-ominaisuudet ovat paremmat. Haponkestävää terästä ei kuitenkaan ole taloudellisesti mahdollista valmistaa tässä kiskotyypissä käytettyyn profiiliin. Kulkukiskoja on valmistettu myös haponkestävästä teräksestä muissa laivoissa erilaisella konstruktiolla, ja näissä galvaanista korroosiota on havaittavissa vähemmän.

Näissä tapauksissa kiskon konstruktio on myös sellainen, ettei ruuviliitoksia ole käytetty, vaan osat on hitsattu toisiinsa. Tällaisella kulkukiskojärjestelmällä on omat ongelmansa, mutta niihin ei tässä opinnäytetyössä pureuduta syvällisemmin.

Kulkukiskon materiaalina on todennäköisesti käytetty joko 6063-sarjan alumiinia, joka on yleisin pursotusmenetelmässä käytetty alumiini, tai 5083-sarjan alumiinista, jonka lujuusominaisuudet ovat hieman heikommat, mutta korroosion kestävyys hieman parempi.

Alumiinin suojaksi tulisi tehdä kova anodisointi, jossa passivaatiokerros kasvatetaan mahdollisimman paksuksi, jolloin saadaan paras suojaus korroosiota vastaan.

Kannakkeet on tähän saakka valmistettu kokonaan teräksestä, mutta joitakin kannakkeita on korjattu vaihtamalla päätyosa haponkestävään teräkseen. Tämä on huomattavasti parempi ratkaisu kokonaan teräksiseen versioon verrattuna, sillä haponkestävä teräs kestää rakokorroosiota ja galvaanista korroosiota huomattavasti paremmin. Vaikka

tällainen haponkestävä teräsosa on valmistuskustannuksiltaan ja asennukseltaan kalliimpi kuin tavallisesta teräksestä valmistettu versio, on koko elinkaarta ajatellen se huomattavasti edullisempi vaihtoehto.

Eristeenä käytetty polyeteeni on sopiva materiaali tarkoitukseen, mutta tiivisteiden muotoa ja asettelua voisi parantaa.

8.2 Galvaanisen korroosion esto

Käytettäessä nykyistä kiskojärjestelmää, olisi ensiarvoisen tärkeää huolehtia siitä, että teräksisten osien maalaus on tarpeeksi vahva, eikä siihen ole päässyt syntymään naarmuja tai muita vaurioita. Liitoksia tehdessä polyeteenisten eristeiden rikkoutumista tulisi varoa, jottei liian suurella voimalla kiristetty pultti murra eristeholkkia. Jos eristeholkki pääsee murtumaan, se saattaa vaarantaa galvaanisen erotuksen ja päästää vettä liitoksen sisään, jolloin rakokorroosio mahdollistuu.

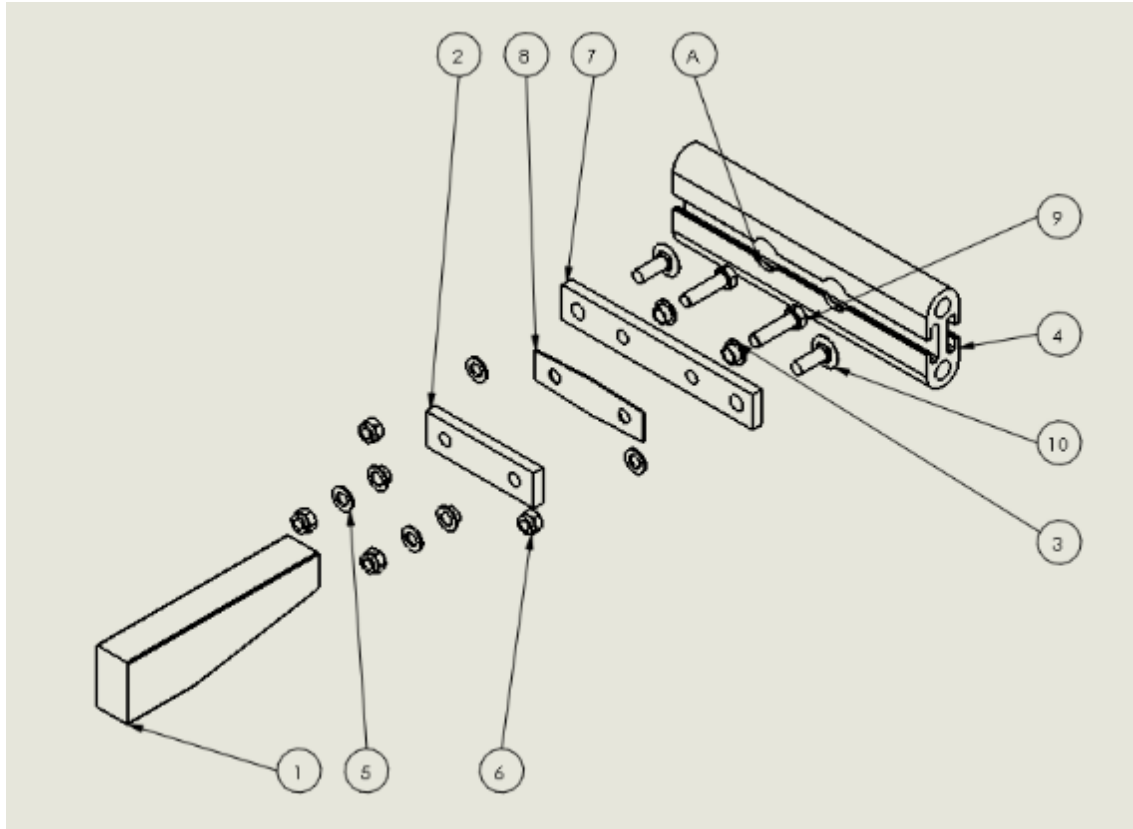
9 KORJausehdotus

Kulkukisko ei nykyisessä kunnossaan mahdollista sen täysimääräistä käyttöä. Toimivuuden ja turvallisuuden takaamiseksi, kiinnityskohdissa olevat korrosoituneet osat pitäisi vaihtaa uusiin.

Korroosion keston parantamiseksi kannakkeen ja kulkukiskon väliin voitaisiin asentaa haponkestävästä teräksestä tehty adapterilevy (Kuva 9.1 numero 7). Levy olisi alkupestä kannaketta leveämpi, jolloin kulkukiskosta voitaisiin poistaa vanhan kannakkeen kohdalla oleva korroosion syövä materiaali kuten kuvassa 8.1 kohdassa A.

Adapterilevyn ja kannakkeen väliin asennettaisiin vastaavaa materiaalia oleva eriste (Kuva 9.1 numero 8), kuin aiemmin käytetty, mutta uudessa konstruktiossa se puristuisi tasaisesti koko alaltaan kappaleiden väliin. Eristeen yläosa on myös muotoiltu niin, että se viettää sivuille avustaen veden valumista pois tiivisteiden päältä. Näiden kappaleiden ruuviliitoksessa käytettäisiin polyeteenisia kauluksia (Kuva 9.1 numero 3) ruuvien eristämiseksi materiaaleista. Tällä konstruktiolla ruuvien reiän pitäisi teoriassa olla täysin vesitiivis, jolloin reikään ei pääse tunkeutumaan elektrolyyttiä.

Kulkukiskon ja adapterin välissä ei ole välttämätöntä käyttää galvaanista eristystä edullisen katodi – anodi pinta-alasuhteen vuoksi, jolloin galvaanisen korroosion ei pitäisi olla erityisen voimakasta, eikä siis galvaanista erotusta tarvita. Olemassa olevaa kupukantaista ruuvia (Kuva 9.1 numero 10) voitaisiin käyttää kiskoon kiinnityksessä, ilman erillisiä eristeitä.



Kuva 9.1 Havainne kuva korjaus ehdotelmasta.

Korjauksen tekeminen on aikaa vievä prosessi, mutta jos se mahdollistaa kulkukiskon käytön jatkamisen, ilman kaikkien osien vaihtamista, olisi se todennäköisesti taloudellisesti kannattavin ratkaisu.

Korroosion keston pitäisi tällä konstruktiolla myös parantua oleellisesti, mutta täyttä varmuutta asiasta ei saada, ilman ratkaisun käyttöönottoa ja tätä kautta tapahtuvaa testaamista todellisessa käyttöympäristössä.

10 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa kulkukiskojärjestelmässä vaikuttavat korroosion olomuodot, ja korroosion syntyyn vaikuttavat tekijät, ja näitä myös pystyttiin opinnäytetyön aikana erittelemään. Näiden osatekijöiden määrittämisessä tukeuduttiin vahvasti erilaisiin kirjallisiin lähteisiin, eniten Kunnossapitoyhdistyksen julkaisemaan Korroosiokäsikirjaan, joka tarjosi laajan materiaalin korroosioon liittyen yhdessä paketissa.

Oppimisprosessina opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoinen matka materiaalitekniikan ja korroosion luonteeseen ja tietotaito näiltä aloilta karttui työn aikana suuresti. Opittua on myös helppo hyödyntää opinnäytetyön ulkopuolella, sillä nämä asiat ovat vahvasti läsnä kaikessa suunnittelutyössä.

Opinnäytetyössä tehtyjä havaintoja voitaisiin hyödyntää myös kokonaan uuden kiskotyyppin suunnitteluun, mikäli vanhan kiskon korjaaminen osoittautuu kustannusteknisistä tai rakenteellisista syistä johtuen kannattamattomaksi.

Opinnäytetyössä todettu korjausehdotus olisi myös hyvä asettaa kestopäätelmään, joko asentamalla se olemassa olevaan kulkukiskoon tai testaamalla se laboratoriossa. Näin voitaisiin varmistua systeemin todellisista ominaisuuksista korrosoivassa ympäristössä.

LÄHTEET

Aromaa, J., 2013. Korroosion ja korroosioneston historia, Helsinki: s.n.

Carlholt, E., 2006. Alumiiniseokset. Tampere: Swecast AB / Tampereen Teknillinen yliopisto.

Euro Inox, 2011. Ruostumattomat teräkset kosketuksissa muiden metallisten materiaalien kanssa. Belgia: Euro Inox.

Euro Inox, ei pvm Mikä on ruostumaton teräs?, s.l.: s.n.

Janhunen, K., 2004. 13Al. Kuopio: Teknologiateollisuus ry.

Kunnossapitoyhdistys ry, 2006. Korroosiokäsikirja. Helsinki: s.n.

NACE International, ei pvm NACE International. [Online]
Available at: <http://impact.nace.org/economic-impact.aspx>
[Haettu 14 04 2017].

Sandvik Group, ei pvm Materials center. [Online]
Available at: <http://smt.sandvik.com/en/materials-center/corrosion/wet-corrosion/pitting/>
[Haettu 03 05 2017].

Sorsa, J., 2015. Materiaalitekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Tampereen teknillinen yliopisto, 2005. MOL-1210 Materiaalit. [Online]
Available at: http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_2_1.php
[Haettu 30 04 2017].

Teknologiateollisuus ry, 2006. Raaka-ainekäsikirja: Alumiinit. Helsinki: Teknologiateollisuus ry.

Teräsrakenneyhdistys, ei pvm [Online]
Available at: http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/152/89718ce/teras_kosketuksissa_muiden_materiaalien_kanssa_1703_2015.pdf
[Haettu 17 04 2017].

Tikkurila Oy, 2009. Maalipintojen teollinen maalaus. s.l.:Tikkurila Oy.

Väisänen, P., 2007. Teräs - Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle. s.l.:TKK Arkkitehtiosastp.