

Mikko Saarinen

**ALUMIINIRUNKOISEN SOTA-ALUKSEN
KORROOSIOMEKANISMIIEN
TUNNISTAMINEN JA
ENNALTAEHKÄISY**

Opinnäytetyö
Merenkulkuala

2018



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Mikko Saarinen	Insinööri AMK	Toukokuu 2018
Opinnäytetyön nimi		36 sivua
Alumiinirunkoisen sota-aluksen korroosiomekanismien tunnistaminen ja ennaltaehkäisy		
Toimeksiantaja		
Merivoimat, Rannikkolaivasto		
Ohjaaja		
Joel Paananen, Xamk; Antti Valtanen, Rannikkolaivasto; Marko Tanttu, Rannikkolaivasto		
Tiivistelmä		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää alumiinirunkoisen sota-aluksen yleisimpien korroosimuotojen syntymekanismit sekä keinot niiden ehkäisemiseksi.</p> <p>Työssä käsitellään alumiinin historiaa sekä yleisesti, että sotalaivan rakennusmateriaalina. Suomen Merivoimien alumiinirunkoisten sota-alusten laivatekninen esittely on toteutettu siinä laajuudessa, kuin se on julkisten lähteiden varassa mahdollista. Työssä syvennytään galvaanisen korroosioparin muodostumiseen meriolosuhteissa ja rungon katodisen suojauksen mittaamiseen ja ylläpitoon. Matemaattiset kaavat ovat osana havainnollistamassa sähkökemiallista reaktiota. Lisäksi työssä luetellaan alushenkilöstön suorittamia töitä ja tarkastuksia, joilla laajojen korroosioaurioiden syntyä pyritään ehkäisemään.</p> <p>Opinnäytetyö on kirjallisuuskatsaus, jossa on käytetty lähteinä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja internetmateriaalia. Toimeksiantajan turvaluokiteltu aineisto on korvattu julkisilla lähteillä niin laajalti kuin se on ollut mahdollista.</p> <p>Tutkielmaa tehdessä kävi selväksi, että lisäämällä konehenkilöstön ammattitaitoa alumiinin korroosiosuojauksesta voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä kunnossapitokustannuksissa. Opinnäytetyön tuloksia voidaan käyttää täydentämään STCW-yleissopimuksen mukaista koulutusta henkilöstön perehdytyksessä sota-aluksilla ja soveltuvilta osin muilla alumiinirunkoisilla aluksilla.</p>		
Asiasanat		
alumiini, korroosio, korroosiosuojaus, katodinen suojaus		

Author (authors)	Degree	Time
Mikko Saarinen	Bachelor of Engineering	May 2018
Thesis Title Recognition and prevention of corrosion mechanisms on aluminum hull war ship		36 pages
Commissioned by Finnish Navy, Coastal Fleet		
Supervisors Joel Paananen, Xamk; Antti Valtanen, Finnish Navy, Coastal Fleet; Marko Tanttu, Finnish Navy, Coastal Fleet		
<p>Abstract</p> <p>The objective of this thesis is to explain how the most common forms of corrosion on an aluminum hull emerge and show the means to prevent corrosion.</p> <p>The thesis describes the history of aluminum as a building material for warships in general and presents the aluminum naval warships used by the Finnish Navy. The thesis also discusses the formation of galvanic corrosion pairs in sea conditions and in the measurement and maintenance of the cathodic protection of the hull. In addition, the thesis lists the maintenance work and inspections done by the ship's personnel which are aimed at preventing the occurrence of major corrosion damage. The purpose of the mathematical formulas is to illustrate the related electrochemical reaction.</p> <p>This thesis is a literature review that uses related literature and Internet material as sources. The commissioner's classified material has been replaced by public sources whenever possible.</p> <p>In making the thesis, it became clear that maintenance costs can be reduced by increasing the knowledge of aluminum corrosion protection. The results of the thesis can be used to supplement the STCW training with regard to personnel induction on warships and, where applicable, on other aluminum vessels.</p>		
<p>Keywords</p> <p>aluminum, corrosion, corrosion preventing, cathodic protection</p>		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	ALUMIININ LYHYT HISTORIA ALUNASTA AVOMERELLE	6
3	ALUMIINI SOTALAIVOJEN RAKENNUSMATERIAALINA	7
3.1	Alumiinirunkoiset sota-alukset Suomen merivoimissa	9
3.1.1	Helsinki-luokka	9
3.1.2	Rauma-luokka	9
3.1.3	Hamina-luokka	10
4	RUNGON KUNNOSSAPITO JA TARKASTAMINEN	11
4.1	1-tason työt	11
4.2	2-tason työt	15
4.3	telakoinnin yhteydessä tehtävät tarkastukset	15
5	ALUMIININ KORROOSIOLAJIT JA NIIDEN EHKÄISEMINEN	17
5.1	Yleinen syöpyminen	17
5.2	Galvaaninen korroosio	17
5.2.1	Galvaanisen korroosion ehkäiseminen	21
5.3	Erosio- ja kavitaatiokorroosio	23
5.4	Pistekorroosio	23
5.4.1	Pistekorroosion ehkäiseminen	24
5.5	Hiertymiskorroosio (fretting)	25
5.5.1	Hiertymiskorroosion ehkäiseminen	25
5.6	Rakokorroosio	26
5.6.1	Rakokorroosion ehkäiseminen	26
5.7	Väsymiskorroosio	27
5.7.1	Väsymiskorroosion ehkäiseminen	28
5.8	Kemikaalien aiheuttama korroosio	29
6	KORROOSIONESTOMAALAUUS	30
6.1	Korroosionestomaalit	31

7 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
LÄHTEET	33
KUVALUETTELO	35

1 JOHDANTO

Alumiini on suosittu nopeakulkuisten alusten rakennusmateriaali. Teräkseen verrattuna huomattavasti kevyempi runko pienentää vaadittua konetehoa ja vastaavasti kasvattaa hyötykuorman suhteellista osuutta uppoumasta. Painon lisäksi antimagneettisuus on ominaisuus, jonka vuoksi alumiini valikoituu erityisesti sota-alusten runkomateriaaliksi. Pieni magneettinen heräte on etu varsinkin miinasodankäyntiin soveltuvilla merialueilla, joihin Itämeri suurimmaksi osaksi lukeutuu.

Alumiini ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton materiaali. Se on metallien jännitesarjassa epäjaloimmassa päässä ja siksi sen suojaaminen korroosiolta on aiheuttanut insinööreille päänvaivaa koko historiansa ajan.

2 ALUMIININ LYHYT HISTORIA ALUNASTA AVOMERELLE

Kalialunaa, eli kaliumalumiinisulfaattia on käytetty haavojen puhdistamiseen ja verenvuodon tyrehtyttämiseen ainakin kahdentuhannen vuoden ajan. Alumiinilla on siis ollut roolinsa ihmisten elämässä jo kauan ennen kuin se opittiin tuntemaan metallina. Alumiini on piin ja hapen jälkeen maankuoren kolmanneksi yleisin alkuaine ja yleisin metalli. Sitä ei kuitenkaan esiinny luonnossa puhtaassa muodossa, vaan erilaisina yhdisteinä, ja sen erottaminen elektrolyysin avulla keksittiin vasta 1800-luvun puolivälissä. Alumiini oli kuitenkin kallista elektrolyysin vaatiman suuren sähkövirran takia. Vuonna 1888 Itävaltalaisen Karl Bayerin kehittämä menetelmä erottaa alumiinioksidi bauksiittisavesta teki alumiinin tuotannosta teollisesti kannattavaa. (Runge 2018, 44.)

Lukuisista hyvistä ominaisuuksistaan huolimatta puhdas alumiini ei pystynyt pehmeytensä takia kilpailemaan raudan ja teräksen kanssa koneiden ja laitteiden rakennusmateriaalina. Myöhemmin erilaisten alumiiniseosten kehittämisen myötä materiaalille saatiin luotua vaadittuja lujuusominaisuuksia.

Alumiinin ensiaskeleet vesillä otettiin vuonna 1891, jolloin valmistui ensimmäinen alumiinista valmistettu 5,5 metrinen moottorivene *Steam Launch*. Samana

vuonna keksijä Alfred Nobel rakennutti suunnittelemansa alumiiniveneen. Nobelin *Le Mignon* oli 13 metriä pitkä höyrymoottorilla varustettu vene ja se saavutti testeissä kahdeksan solmun nopeuden.

Varsinaiseen alumiinin läpimurtoon laivanrakennuksessa johdatti ensimmäinen uutta materiaalia hyödyntänyt purjeverne *Le Vendenesse*, joka rakennettiin 1893 ranskalaisen aristokraatin, Comte Jacques De Chabannes De La Palicen toimeksiannosta. 17,4 metriä pitkän aluksen purjepinta-ala oli 180 m² ja uppouma 15 tonnia. Veneen runko oli rakennettu 2 mm paksuisesta alumiinilevystä niittaamalla teräskaarille. Alumiinin ansiosta painonsäästö vastaavaan teräsrunkoon verrattuna oli 40 %. *Le Vendenesse* teki vaikutuksen William K. Wanderbildtiin, joka rakennutti purjelaiva *Defenderin* arvostettua purjehduskilpailua, America's Cupia, varten. *Defender* voitti kilpailun ylivoimaisesti ja toi alumiinin mahdollisuudet kaikkien tietoisuuteen. *Le Vendenesen* ja *Defenderin* kohtalot toivat muutamaa vuotta myöhemmin esiin myös alumiinin heikkoudet: vain neljässä vuodessa alusten rungot oli valmiita romutettavaksi. Meriveden toimiessa elektrolyytinä, teräskaaret ja niihin niitatut alumiinilevyt muodostivat sähköparin, jonka seurauksena galvaaninen korroosio teki selvää kummankin aluksen rungosta. (Runge 2018, 44 – 45.)

3 ALUMIINI SOTALAIVOJEN RAKENNUSMATERIAALINA

Eri maiden merivoimien mielenkiinto uutta materiaalia kohtaan heräsi alumiinin teollisen valmistuksen myötä. Korkeasta hinnastaan huolimatta alumiinilla oli haluttuja ominaisuuksia: lujuus suhteessa pieneen tiheyteen mahdollistaisi suuremman hyötykuorman, pienemmän uppouman ja konetehon, sekä ennen kaikkea suuremman nopeuden. Ensimmäiset alumiinirunkoiset sota-alukset valmistettiin vuonna 1895 Britanniassa Yarrow & Co yhtiön telakalla. Ranskan merivoimien torpedovene *Le Foudre* oli 19 metriä pitkä ja sen runko ilman koneita painoi ainoastaan kaksi ja puoli tonnia. Samana vuonna valmistui Venäjän laivastolle 59 metrinen torpedovene *Sokol*, jonka huippunopeus oli 32 solmua. Alun innostus alumiinia kohtaan kuitenkin laantui galvaanisen korroosion aiheuttamien ongelmien tullessa ilmi. Alusten käyttöikä oli lyhyt ja muun muassa Yhdysvaltojen laivastossa alumiinista valmistettuja kansirakennuksia korvattiin teräksellä. (Runge 2018, 44.)

Työstö- ja hitsausmenetelmien kehittyminen yhdessä kestävämpien seosten kanssa nosti alumiinin suosiota sotalaivojen rakennusmateriaalina. Suuri merkitys oli myös merisodankäynnin luonteen muuttuminen toisen maailmansodan jälkeen. Panssarilaivojen tyypiset raskaat ”merilinnoitukset” ei ollut vahvoilla ohjusten vallatessa alaa tykistöaseilta. Tutkien kehittyessä maalit voitiin havaita yhä kauempaa ja niihin voitiin vaikuttaa ohjustulella. Vastaavasti aluksen oma liikenopeus toi suojaa vihollisen tulelta. Pienempi uppouma ja suhteellisen hyötykuorman kasvattaminen lisää toiminta-aikaa merellä ja mahdollistaa suuremman ase- ja polttoainekuorman. Nämä ominaisuudet ovat haluttuja varsinkin sota-aluksissa.

Alumiinin eduiksi rakenneteräkseen, kupariin ja ruostumattomiin teräksiin on:

- **Keveys**
 - o Alumiinin tiheys n. 1/3 teräksen tiheydestä
- **Lujuus**
 - o Eräiden erikoisseosten lujuus on yli 600 N/mm². Lujuus ja sitkeys hyvät myös matalissa lämpötiloissa.
- **Korroosionkestävyys**
 - o Luonnollinen oksidikalvo suojaa alumiinia ilmastollista korroosiota vastaan, sekä vesiliuoksissa (rajallisella) pH-alueella.
- **Työstettävyys**
 - o Alumiinia voidaan muokata, pursottaa, valaa, hitsata juottaa ja lastuta helposti.
- **Johtavuus**
 - o Alumiini johtaa sähköä ja lämpöä hyvin; sen sähkönjohtavuus on noin 60 % elektrolyyttikuparin johtavuudesta.
- **Taloudellisuus**
 - o Keveys ja lujuus sekä hyvät valu- ja muovausominaisuudet tekevät alumiinin edulliseksi materiaaliksi esim. liikennevälineisiin, rakennuksiin ja sähkölaitteisiin.
- **Hygieenisuus**
 - o Alumiinia voidaan käyttää elintarvikkeiden ja lääkkeiden pakkaamiseen.
- **Kipinättömyys**
 - o Alumiini ei kipinöi iskettäessä.
- **Valonheijastuskyky**
 - o Kiillotettu alumiini heijastaa jopa 99 % säteilystä.
- **Antimagneettisuus**

Vastaavasti alumiinilla on seuraavia rajoituksia:

- **Alumiinin korkein käyttölämpötila on alhaisempi kuin teräksen ja kuparin**
 - o Jännityksenalaisten osien maksimikäyttölämpötila on virumisen takia useilla yleisillä seoksilla vain noin 200 - 250 °C.
- **Alumiinimetallien kovuus on pienempi kuin rautametallien**
- **Alumiinin kimmomoduli on pienempi kuin rautametalleilla**

(Tampereen teknillinen yliopisto 2005.)

3.1 Alumiinirunkoiset sota-alukset Suomen merivoimissa

Suomen merivoimilla on kokemusta alumiinirunkoisista sota-aluksista 1980-luvun alusta asti, jolloin saattajien ja Nuoli-luokan moottoritykkiveneiden korvaajiksi tarvittiin uusia iskukykyisiä aluksia. Meritorjuntaohjuksilla varustettavalle uudelle alusluokalle annettiin vähimmäisvaatimus 32 solmun nopeudesta.

3.1.1 Helsinki-luokka

Ensimmäinen Helsinki-luokan ohjusvene, *Helsinki*, luovutettiin Merivoimille 1.9.1981 ja loput kolme, *Turku*, *Oulu* ja *Kotka* vuosien 1985 ja 1986 aikana. Wärtsilän Helsingin telakalla rakennetuista ohjusveneistä *Oulu* ja *Kotka* myytiin yli kaksikymmentä vuotta kestäneen palveluksen jälkeen Kroatian laivastolle vuonna 2008. (Orell 2008.) *Helsinkiä* ja *Turkua* käytettiin riisuttuina koetoimintaan, jossa tutkittiin taistelualukseen kohdistuvia asevaikutuksia. Koetoinnin päätyttyä alukset romutettiin vuoden 2011 aikana.

3.1.2 Rauma-luokka

Rauma-luokan ohjusveneistä haluttiin Helsinki-luokkaa kevyempiä ja ketterämpiä, jotta uudet alukset voisivat hyödyntää Suomen matalaa ja saaristoista rannikkoa. Suunnittelun lähtökohtana oli rakentaa kokoonsa nähden monipuolinen ja suorituskykyinen sota-alus Itämeren olosuhteisiin. Alusteknisesti vaatimuslistalla oli seuraavat ominaisuudet:

- Nopeus (32 kn)
- Ohjailtavuus (vesisuihkupropulsio)
- Syväys
- Magneettinen heräte
- Akustinen heräte

Vaaditut ominaisuudet puhuvat yksiselitteisesti alumiinin puolesta alusluokan runkomateriaalia valittaessa. Magneettiselle herätteelle asetetun vaatimuksen olisi täyttänyt myös austeniittinen teräs, mutta sekin muiden ominaisuuksien kustannuksella. Vuosina 1990 – 1992 Hollming/Finnyardsin Rauman telakalta

valmistui neljä ohjusvenettä *Rauma*, *Raahe*, *Porvoo* ja *Naantali*. (Merivoimat 2018).

Vuosina 2010 – 2013 toteutuneessa peruskorjauksessa Rauma-luokka modernisoitiin ja alusten käyttöikä pidennettiin. Peruskorjauksen yhteydessä Alusten rungossa havaittiin murtumia ja alusluokalle asetettiin käyttörajoituksia korjaustöiden ajaksi (Huhtanen 2015, A 14).



Kuva 1. Kolme sukupolvea suomalaisia ohjusvenettä. Vasemmalta oikealle: Helsinki-, Rauma- ja Hamina-luokan ohjusvene. (Puolustusministeriö 2008)

3.1.3 Hamina-luokka

Hamina-luokan ohjusveneet rakennettiin Aker Finnyardsin telakalla Raumalla. Alusteknisesti neljännen sukupolven ohjusvene pohjautuu pitkälti edeltäjäänsä, mutta monipuolisempien asejärjestelmien ja paremman valvontakyvyn lisäksi tutkaherätettä haluttiin pienentää. Pääkannen yläpuoliset rakenteet on valmistettu hiilikuituvahvisteisista komposiittimateriaaleista. Tutkasäteitä absorboiva pinnoite yhdessä muotoilun kanssa tekee Hamina-luokan ohjusveneestä vaikeasti havaittavan.

Alusluokan ensimmäinen ohjusvene *Hamina* valmistui jo vuonna 1998 osana Laivue 2000 –hanketta. Yli kaksi vuotta kestäneen testi- ja kehitysvaiheen jälkeen Merivoimat teki tilauksen seuraavasta aluksesta. *Tornio*, *Hanko* ja *Pori* luovutettiin Merivoimille vuosien 2003 – 2006 aikana. (Merivoimat 2018).

Taulukko 1. Ohjusveneet lukuina. (Merivoimat 2018).

Käyttötarkoitus	Ohjusvene	Ohjusvene	Ohjusvene
Alukset	Helsinki 60 turku 61 Oulu 62 Kotka 63	Rauma 70 Raahe 71 Porvoo 72 Naantali 73	Hamina 80 Tornio 81 Hanko 82 Pori 83
Pituus (m)	45	48,5	51
Leveys (m)	8,8	8	8,5
Syväys (m)	3	1,5	1,7
Uppouma (t)	300	210	250
Nopeus (kn)	32	yli 30	yli 30
Koneteho (kW)	9000	6600	6600
Propulsio	Säätölapapotkurit	Vesisuihkupropulsio	Vesisuihkupropulsio
Rakentaja	Wärtsilä Helsingin telakka	Hollming Finnyards Rauma	Aker Finnyards Rauma
Luovutettu Merivoimille	1981 - 1986	1990 - 1992	1997 - 2006
Poistettu Käytöstä	-2007	Operatiivisessa käytössä	Operatiivisessa käytössä

4 RUNGON KUNNOSSAPITO JA TARKASTAMINEN

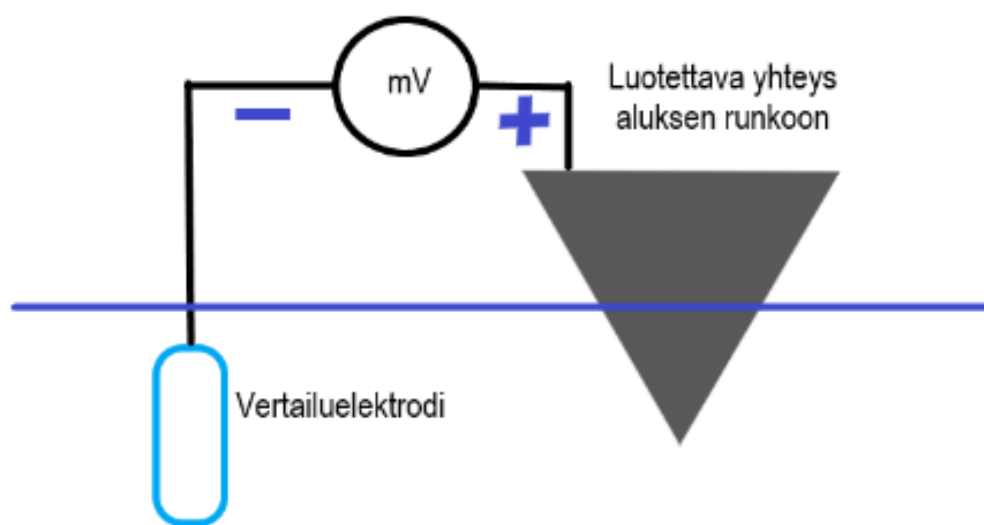
Merivoimien kunnossapitojärjestelmä on jaettu kahteen tasoon. 1-tason työt suoritetaan aluksella alushenkilöstön voimin ja 2-tason työt vaativat ulkopuolisia toimijoita ja resursseja. Alumiinirungon kunnossapidon kannalta aluksen henkilöstö on avainroolissa. Henkilöstön on tärkeä tietää runkoon kohdistuvien rasiusten suhteen kriittiset alueet ja tunnistaa vauriot ja niiden syntymekanismit. Väärällä käytöllä korroosiovaurioita voi syntyä hyvinkin lyhyessä ajassa.

4.1 1-tason työt

Päivittäisessä työskentelyssä tehtyjen havaintojen perusteella huollot voidaan kohdentaa oikeille alueille ja oikea-aikaisesti.

Potentiaalieromittauksella tarkastetaan kiinteän katodisen suojauksen taso. Suojapotentiaali mitataan aluksen rungon ja mereen lasketun vertailuelektrodin väliltä. Mittauksessa käytetään korkean sisäisen resistanssin (>10 Mohm) omaavaa yleismittaria ja sen mV jännitealuetta. Vertailuelektrodi sijoitetaan lähemmäs runkoa kuin magnesiumanodia ja lukema kirjataan ylös 30 sekunnin

kuluttua mittarinäyttämän vakiinnuttua. Ag- tai AgCl-vertailuelektrodia käytettäessä suojapotentiaalin tulee pysyä $-900 \dots -1150$ mV välillä. Zn-vertailuelektrodilla vastaava väli on $+150 \dots -100$ mV. Mikäli potentiaaliero on alle -900 mV (tai $+150$ mV), on runko alisuojaattu ja magnesiumanodeja tulee lisätä. Anodien asentamisen jälkeen mittaus voidaan suorittaa uudelleen n. tunnin kuluttua. Vastaavasti potentiaalieron ylittäessä raja-arvon -1150 mV (tai -100 mV), kyseessä on ylisuojaus. Tällöin anodeja vähennetään ja niiden välit tasataan. Anodien vähentämisen jälkeen mittaus voidaan suorittaa uudelleen välittömästi.



Kuva 2. Suojapotentiaalimittaus aluksen rungon ja vertailuelektrodin välillä. (Suojapotentiaalimittausohje 2003).

Ylisuojaus on alisuojausta vaarallisempaa ja sitä tulee ehdottomasti välttää. Ylisuojauksessa aluksen runkoon muodostuu voimakkaasti katodisia ja anodisia alueita, mikä aiheuttaa aggressiivista syöpymistä.

Suojapotentiaalimittaukset suoritetaan kuusi tuntia laituriiin kiinnittämisen jälkeen. Aikaisempaa mittauksia voidaan pitää vain suuntaa-antavana. Tarkan ja kattavan suojauksen saavuttamiseksi mittaukset tehdään:

- kuukausittain
- kiinnitettäessä vieraaseen laituriiin
- toisen aluksen kiinnittäessä aluksen kylkeen
- aluksen jäädessä pidemmäksi aikaa laituriiin

Vedenalaisen rungon suoja-potentiaalimittaukset voidaan suorittaa tarkemmin sukeltajien toimesta. Mittauksessa sukeltaja kuljettaa mittausanturin mittaus-pisteeseen ja pitää anturia tuntupuoli runkoon päin n. 20 cm:n päässä aluksen rungosta. Mittauspisteet on merkitty aluksen pohjaan valkealla maalilla. Sukel-tajamittauksella päästään tarkempiin ja luotettavampiin tuloksiin mitä laidan yli mittaamalla. (Suoja-potentiaalimittausohje 2003).

Rungon käytönaikainen kunnon-seuranta on alushenkilöstön rutiinomaisten huolto- ja tarkastustöiden vastuulla. Taulukossa 2 on esitetty tarkastustyöt ja niiden suoritustiheys.

Taulukko 2. Töiden suoritusajuuksu P = päivittäin, kk = kuukausittain, a = vuosittain ja T = tarvittaessa suoritettava työ.

Päivittäisessä työskentelyssä havaitut poikkeamat ja muutokset korjataan ja raportoidaan konepäällikölle.	Mikäli alushenkilöstön omat resurssit (aika, henkilöstö, menetelmät tms.) ei riitä, tehdään vikailmoitus ja tilataan työ ulkopuolelta.	P
Tarkastetaan pilssit silmämääräisesti	Irtoroskat, lika, vesi, öljy poistetaan ja puhdistetaan ja pilssit kuivataan. Erytishuomioina metalliroskat ja kemikaalit	V
Pilssien puhdistus	Konehuoneet. Pestään ja kuivataan.	T/a
Rungon ja komposiittirakenteen liitos	Silmämääräisesti ja koputellen. Etsitään liitoskohdasta poikkeamia ja delaminaatioita	1/2 a
VT-ovien ja luukkujen tiiveys	Tiiveyskoe ylipaineistuksella ja liitukoe. Samalla tarkastetaan luukkujen istuvuus karmiin (muodonmuutokset)	a
Kalusteovien tarkastus	Pienetkin muodonmuutokset väliseinärakenteissa voi aiheuttaa ongelmiakemyiden kalusteovien istuvuudessa.	P
Potentiaalieromittaukset	Potentiaalieromittauksella mitataan aluksen rungon ja veteen lasketun anturin välinen potentiaaliero. Varmistetaan katodisen suojauksen riittävyys aluksen seistessä laiturissa.	T
Maavuodot (rungon kannalta erityisesti	Maavuodot paikallistetaan ja korjataan	T
Maalipinnan tarkastus	Kannet ja veden yläpuolinen runko. Etitään silmämääräisesti vaurioita rakenteesta ja maalipinnasta. Puhdistus, paikkamaalaus tai tarvittaessa vikailmoitus.	kk
Pesutilat ja WC:t	Lattiapinnoitteen tarkastus, pinnoitteen ja seinän välinen saumaus.	kk
Kemikaalien säilytys	Kemikaalien oikean säilytyksen ylläpito, käyttöturvallisuustiedotteitten päivitys	T
Putkistojen tarkastus	Käytön yhteydessä toiminnallinen tarkastus. Palo- viemäri-, vö-, PÖ-, hydraulikka-, paineilma ja makeavesiputkistot, kiinnitykset ja kannakkeet	T
Jäänpoisto rakenteista	Kansien ja komposiittirakenteiden jäänpoisto	T

4.2 2-tason työt

2-tason töillä tarkoitetaan tarkastuksia ja huoltoja, jotka suorittaa muu kuin alushenkilöstö. Tällaisiin töihin lukeutuvat mm. laiteasennukset, vuosi- ja luokituskatsastukset telakointeineen, sekä hitsaus- ja laajemmat korjausmaalaukset.

Ulkopuolisen toimittajan suorittamat tarkastukset ovat usein aikaa vieviä ja kalliita, joten tarkastusten ajankohdat ja kohteet on syytä suunnitella huolellisesti. Ne tarkastukset, joita ei rakenteen tai vaaditun tarkastusmenetelmän vuoksi voida suorittaa alushenkilöstön toimesta (1-tason työnä) tilataan ulkopuolelta. NDT-menetelmillä suoritettavia tarkastuksia on syytä kohdistaa rakenteisiin,

- jotka ei ole muilla menetelmillä tarkastettavissa
- joihin kohdistuu suuria voimia
- joissa voidaan huoltohistorian tai kokemuksen myötä olettaa olevan vaurioita

(Ship Structure Committee 2012, 80 - 81).

Merivoimissa on selvitetty ja tutkittu automaattisten menetelmien ja järjestelmien toimivuutta kunnossapidon kannalta. Koneiston kunnan seurantaan käytetyt venymäliuska- ja värähtelymittaukset on valjastettavissa myös rungon seurantaan ennustamaan kunnossapitotarpeita.

4.3 Telakoinnin yhteydessä tehtävät tarkastukset

Sota-alukset telakoidaan yleensä vuosittain, siviilialuksia huomattavasti useammin. Vuositelakoinnin yhteydessä päästään tarkastamaan ja huoltamaan rungon vedenalaiset osat. Muiden huoltotöiden lisäksi telakassa suoritetaan rungon katsastus. Ennen telakkaan nousua sovitaan katsastusajankohta ja määritetään, missä työvaiheessa ja kuinka laajasti katsastus suoritetaan. Taulukossa 3 on esitelty telakassa suoritettavien tarkastus- ja huoltotoimenpiteiden lyhyt kuvaus ja suoritusväli.

Taulukko 3. Telakoinnin yhteydessä suoritettavat tarkastukset ja työt.

Työ	Menetelmä	Lyhyt kuvaus	Työn taajuus
Venttiilien eristysvastusmittaukset	Suoritetaan ennen telakkaan nousua työhohjeen mukaan ja aina venttiilien vaihdon jälkeen	Huolletaan / vaihdetaan, mikäli eristysvastusmittauksessa havaitaan tarvetta	a
Pohjakaivojen avaaminen	Ritilöiden irroitus	Irroitetaan, tarkastetaan ja puhdistetaan kiertteet	a
Pohjan puhdistus	Korkeapainepesu	Pohja pestään puhtaaksi näkistä, levästä ja irtonaisesta maalista	a
Anodien tarkastus	Anodit tarkastetaan silmämääräisesti	Vaihdetaan jos kuluneisuus yli 50%	a
Venttiilien tiiveystarkastus	Ennen telakkaan nousua suljettujen venttiilien tulee pidättää vesi putkistossa.	Huolletaan / vaihdetaan, mikäli tiiveyskokeessa havaitaan vuotoja	a
Pohjakaivojen tarkastus	Anodien ja pohjakaivon silmämääräinen tarkastus, ellei laajempia tarkastuksia ole ennalta määrätty	Tarkastelussa etsitään syöpymiä tai muita poikkeavuuksia rakenteessa	a
Pohjaventtiilien laippojen tarkastus	Puhdistus ja silmämääräinen tarkastus	Tarvittaessa hionta, pinnoitus tai vaihto	a
Pohjan tarkastus	Vähintään silmämääräinen tarkastus.	Tarvittaessa ultraääni- tai rtg-tutkimus.	a
Venttiilien vaihto	Normaalin huoltokierron mukaisesti		L/T
Pohjan hiekkapuhallus		Suoritetaan vain niiltä osin kuin tarkastelussa ilmenee tarvetta	T
Pakoputkien ja läpivientien tarkastus	Silmämääräinen tarkastus		a
Pakoputkien ja läpiviennit	Läpivientien avaaminen, puhdistus, korjaus	Tarvittaessa hionta, pinnoitus tai vaihto	T
Vesisuihkuvetolaitteiston imukanavat	Silmämääräinen tarkastus	Tarkastelussa etsitään syöpymiä tai muita poikkeavuuksia rakenteessa	a
Polttoainetankkien puhdistus ja tarkastus	Silmämääräinen tarkastus, tarvittaessa tunkeumaväri- ultraääni- tai rtg-tarkastus	Tarkastelussa etsitään syöpymiä tai muita poikkeavuuksia rakenteessa	L/T
Pilssien puhdistus ja tarkastus	painepesu	Tarkastelussa etsitään syöpymiä tai muita poikkeavuuksia rakenteessa	a

5 ALUMIININ KORROOSIOLAJIT JA NIIDEN EHKÄISEMINEN

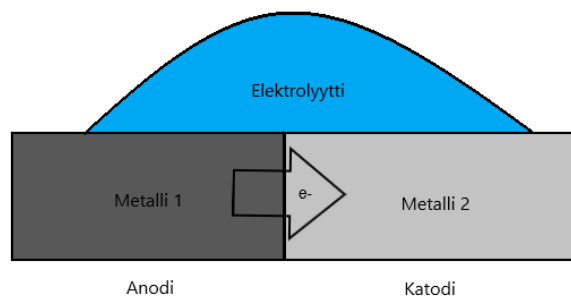
Ohjusveneissä käytetyillä levy materiaaleilla (AlMg4Mn ja AlMg4,5Mn) on yleisesti ottaen hyvä korroosionkestävyys merivedessä. Nämä alumiiniseokset ovat yleisiä nopeakulkuisten siviili- ja sota-alusten rakennusmateriaaleja ja niiden pinnalle syntyy nopeasti tasalaatuinen, ilmaa läpäisemätön oksidikerros joka pysäyttää hapettumisen. Merivesi, koneistot ja lukuisat muut laivoissa käytetyt materiaalit tekevät kuitenkin ympäristöstä korroosion kannalta haastavan. (Alumiinisten ohjusveneiden korjaushitsausohjeet 1993).

5.1 Yleinen syöpyminen

Materiaalin koko pinta syöpyy tasaisesti anodisten ja katodisten alueiden vaihtaessa paikkaa (Opetushallitus 2018). Yleisen syöpymisen nopeus riippuu paljon olosuhteista, eikä se yleensä aiheuta ongelmia, sillä sen etenemistä voidaan seurata mittaamalla seinämävahvuuksia.

Yleinen syöpyminen voidaan pitää mahdollisimman pienenä oikealla pintakäsittelyllä. Pohjan maalipinnan säännöllinen huolto sekä pilssien pitäminen puhtaana ja kuivana antaa riittävän suojan yleiseltä syöpymiseltä. Aluksen rungon materiaalivahvuksissa on huomioitu pieni yleinen syöpyminen aluksen koko elinkaaren aikana.

5.2 Galvaaninen korroosio



Kuva 3. Galvaanisen korroosion elementit. (Suojapotentiaalien mittausohje 2003).

Galvaanista korroosiota esiintyy silloin, kun samassa elektrolyytissä on kaksi eri metallia sähköisessä kosketuksessa toisiinsa. Tällöin elektrodipotentiaaliltaan alemmasta (epäjalommasta) metallista muodostuu anodi ja se syöpyy. Vastaavasti elektrodipotentiaaliltaan korkeammasta (jalommasta) muodostuu katodi ja sen pinnalla tapahtuu pelkistymistä. Merivesi toimii hyvin elektrolyytinä ja metalliparien käyttäytymistä voidaan arvioida määritellyn potentiaalisarjan avulla (taulukko 4). Mitä suurempi metallien välinen potentiaaliero on, sitä voimakkaampaa ja todennäköisempää on galvaanisen korroosion reaktio. (Opetushallitus 2018). Galvaanisen korroosion nopeus on suoraan verrannollinen metallien väliseen virrankulkuun. Virtaa tai virrantiheyttä voidaan siis käyttää laskennallisesti ennustamaan korroosion voimakkuutta.

$$I_{el} = \Delta U / (R_{el} + R_{pa} + R_{pc})$$

jossa	I_{el}	virrantiheys
	ΔU	metallien välinen potentiaaliero
	R_{el}	elektrolyytin resistanssi
	R_{pa}	anodin polarisaatioresistanssi
	R_{pc}	katodin polarisaatioresistanssi

Polarisaatioresistanssi selvittämiseksi mitataan ensin materiaalin korroosipotentiaali. Tämän jälkeen korroosipotentiaalia poikkeutetaan ulkopuolisella virtalähteellä. Syötettävä jännite on millivoltteja ja virta milliampeereita. Suuremmilla arvoilla metallien polarisaatiokäyrä ei ole enää lineaarinen ja mitaustulos vääristyy. Polarisaatiovastus lasketaan yhtälöstä

$$R_p = \Delta E / \Delta I$$

jossa	R_p	polarisaatiovastus
	ΔE	potentiaalinen muutos
	ΔI	virran muutos

Metallien paljaana olevien pinta-alojen suhde vaikuttaa sähköparin muodostumiseen ja korroosionopeuteen. Mitä pienempi anodin pinta-ala on suhteessa katodiin, sitä voimakkaampi on korroosioreaktio. Yksinkertaistettu anodin ja katodin pinta-alojen suhteen vaikutus korroosionopeuteen käy ilmi kaavasta:

$$i_{el} = I_{el} \times (A_c / A_a)$$

jossa	i_{el}	pinta-alaan suhteutettu virrantiheys
	I_{el}	virrantiheys
	A_c	katodin pinta-ala
	A_a	anodin pinta-ala

(Euro Inox 2011, 4 – 9.)

Galvaaninen korroosiopari voi muodostua myös silloin, kun metalli on kosketuksissa ei-metallisen sähköä johtavan materiaalin kanssa (esim. grafiitti). Myös hiilikuitukomposiittiosat voivat muodostaa rungon kanssa galvaanisen parin.



Kuva 4. Ylisuojauksen seurauksena syntynyt syöpymä. (Tanttu s.a.)

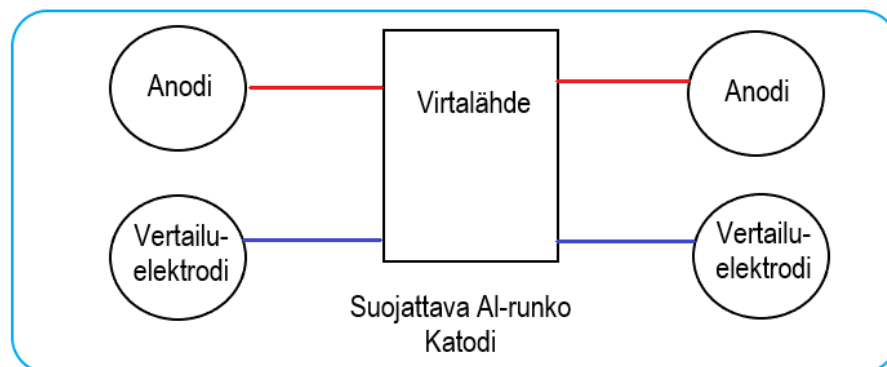
Taulukko 4. Metallien potentiaaliero Calomel-elektrodiin nähden. (Tampereen teknillinen yliopisto 2005a).

Metalli	Jännite-ero Calomel-elektrodiin nähden (V) 20°C merivedessä		
Magnesium	-1,45	-	-1,5
Sinkki	-0,97	-	-1,02
Beryllium	-0,94	-	-1
Alumiini	-0,77	-	-1
Cadmium	-0,7	-	-0,73
Hiiliteräs	-0,65	-	-0,7
Harmaa valurauta	-0,6	-	-0,67
Vähän seostettu teräs	-0,56	-	-0,63
Austen. Ni-valurauta, 18-25Ni	-0,44	-	-0,54
Al-pronssi 85-93Cu + 6-8Al	-0,33	-	-0,41
Laivastomessinki, punamess. 60-80Cu + Zn	-0,3	-	-0,39
Tina	-0,32	-	-0,35
Kupari	-0,29	-	-0,36
Pb-Sn-seos 50+50%	-0,27	-	-0,34
Amiraalimessinki, Al-mess. 70-76Cu + Zn + 1 Sn tai 2Al	-0,25	-	-0,34
Mangaanipronssi 55-56Cu + 36-42Zn + 1,5Mn + Sn, Al, Ni	-0,25	-	-0,31
Piipronssi 95Cu + 1Mn + 3-4Si	-0,23	-	-0,27
Tinapronssi 86-90Cu + 4Zn + 6Sn + 1,5Pb + Ni	-0,22	-	-0,3
Ruostumaton martensiittinen teräs 12-14Cr (Type 410)	-0,23	-	-0,34
Nikkelihopea 65Cu + 25Zn + 10Ni	-0,22	-	-0,27
90-10 Kuparinikkeli 90Cu + 10Ni	-0,2	-	-0,28
80-20 Kuparinikkeli 80Cu + 20Ni	-0,19	-	-0,27
Ruostumaton teräs 16-18Cr (Type 430)	-0,18	-	-0,23
Lyijy	-0,18	-	-0,24
70-30 Kuparinikkeli 70Cu + 30Ni	-0,16	-	-0,23
Ni-Al-pronssi 80Cu + 9Al + 5Ni	-0,13	-	-0,21
Ni-Cr-seos 76Ni + 16Cr (Alloy 600)	-0,12	-	-0,16
Hopeamessinki -0,1...-0,2 Nikkeli 99Ni	-0,1	-	-0,2
Hopea	-0,1	-	-0,16
Ruostumaton austeniittinen teräs 18Cr + 8Ni (Type 304, 321)	-0,06	-	-0,1
Ni-Cu-seos Monel 63-70Ni + 30Cu (+3Al) (Alloy 400(K500))	-0,02	-	-0,12
Ruostumaton austeniittinen Mo-teräs 18Cr + 12Ni + 2,5Mo	0,02	-	-0,08
Alloy 20 30Cr + 20Ni + 3,5Cu + 2,25Mo	0,06	-	-0,03
Ni-Fe-Cr-seos 42Ni + 22Cr + 3Mo + 2Cu + 30Fe (Alloy 825)	0,04	-	-0,01
Ni-Cr-Mo-Cu-Si (Hastelloy B)	0,02	-	0
Titaani	0,06	-	-0,05
Ni-Cr-Mo-teräs 62Ni + 17Cr + 15Mo (Hastelloy C)	0,1	-	-0,02
Platina, kulta, grafiitti	0,3	-	0,24

5.2.1 Galvaanisen korroosion ehkäiseminen

Galvaaninen korrosio muodostaa merkittävän riskin alumiinirunkoisissa aluksissa. Varsinkin propulsiojärjestelmän vedenalaisten osien läheisyydessä korrosiovaara on ilmeinen: Potkuri- ja jettiakselit tuottavat pyöriessään staattisen sähkövarauksen, joka purkautuessaan aiheuttaa vaurioita akseliläpivienteihin ja/tai kannatinlaakereihin. Tämän vuoksi niitä ei voida eristää sähköisesti rungosta, vaan ne tulee olla maadoitettu.

Vesisuihkuvetolaitteiston imukanavaa ja sen ympäristöä suojataan galvaaniselta korroosiolta ulkoisella virtalähteellä tuotetulla sähkövirralla (kuva 5). Imukanavan titaanipinnoitteisiin anodeihin tuotetaan korroosiosähkövirralla vastakkainen sähkövirta, jolloin suojattavan metallin potentiaali siirtyy sellaiselle tasolle, että korrosio pysähtyy tai ainakin hidastuu siedettävälle tasolle. Aktiivinen suojausjärjestelmä mittaa vertailuelektrodin (Ag/AgCl) ja rungon välistä potentiaaliero ja säättää runkoon oikean suojavirran. Vertailuelektrodin jännitearvon tulee olla alumiinilla välillä -900...1150 mV. Oikealla jännitealueella meriveden resistanssi riittää pysäyttämään korroosiovirran. (Suojauspotentiaalimittausohje 2003). Ylisuojaaminen aiheuttaa rungon voimakasta paikallista syöpmistä, kuten kuvasta 4 voidaan havaita.



Kuva 5. Katodinen suojaus toteutettuna ulkoisella virtalähteellä. (Suojauspotentiaalimittausohje 2003)

Alumiini, myös 5xxx- ja 6xxx-sarjan seokset, ovat metallien potentiaalisarjassa epäjaloimmassa päässä ja siksi aluksella käytettyjen materiaalien valinnassa tulee noudattaa huolellisuutta. Tämä on huomioitava erityisesti tilattaessa ja valvottaessa asennustöitä ulkopuolisilta toimittajilta. Ruostuvia kiinnitystarvikkeita ei saa missään tapauksessa käyttää.

Kiinteässä katodisessa suojauksella runkoa suojataan aluksen pohjaan, pohjakaivoihin, peräpeiliin ja vesisuihkuvetolaitteisiin (Rauma- ja Hamina-luokat) hitsatuilla magnesiumipaloilla. Alumiinia epäjalompana magnesiumi muodostuu anodiksi ja syöpyy. Teräsrakenteisissa aluksissa käytettävien sinkkianodien elektrodipotentiaali ei ole riittävän korkea pysyäkseen aktiivisena Itämeren vähäsuolaisessa vedessä. Anodien oikean sijoittelu ja lukumäärän riittävyys varmistetaan rakennusvaiheessa vesillelaskun yhteydessä potentiaalimittauksella ja magnesiumianodien kunto tarkastetaan telakoinnin yhteydessä. Palat vaihdetaan, mikäli anodi on kulunut yli 50 % alkuperäisestä koostaan.

Aluksen ollessa kiinnitettynä laituriin, runko muodostaa sähköparin laiturin teräsrakenteiden kanssa ja katodinen pinta-ala kasvaa merkittävästi. Veteen lasketaan magnesiumtangot ”pilkit”, jotka on kytketty johtimilla runkoon. Pilkit kasvattaa anodien kokonaispinta-alaa ja nostaa potentiaalieron turvalliselle alueelle. (Suoja potentiaalimittausohje 2003.)

Tasajännitteiset maavuodot voi aiheuttaa hyvin voimakasta korroosiota, jolloin vaikutus on päinvastainen ulkoisella virtalähteellä suojaamisen kanssa. Maavuotojen syyt tulee tutkia ja korjata viipymättä.

Alusten putkistot putkistojen eri metalliseokset muodostavat merkittävän riskitekijän korroosion suhteen. Putkistoissa käytetyt metalliseokset ovat poikkeuksetta runkoa jalompaa materiaalia, ja ne tulee olla galvaanisesti erotettu rungosta. Käytännössä tämä toteutetaan asentamalla venttiililaipan kiinnityspulteihin nyloniset eristeholkit. Varsinkin jos käytetään ulkopuolisia urakoitsijoita, aluksen perehdytetyn henkilön on valvottava ja varmistettava kaikki putkistoihin kohdistuvat työt ja työmenetelmät. Laippakiinnityksissä pohjaventtiilien tiivisteet ei saa vettyä eikä johtaa sähköä. Esimerkiksi nitrilikumi ja erilaiset PTFE-tiivisteet ovat hyviä eristemateriaaleja. Tiivisteiden asennuksen yhteydessä rakokorroosion mahdollisuus tiivisteiden ja laipan välillä on poissuljettava oikealla kiinnitystavalla. Galvaaninen erotus todetaan eristysvastusmittauksella rungon, putkiston ja laitaventtiilin välillä määrääjain ja aina venttiilin vaihdon jälkeen.

5.3 Eroosio- ja kavitaatiokorroosio

Eroosikorroosiota esiintyy paikoissa, joissa voimakas nestevirtaus ja sen mukanaan kuljettamat kiinteät partikkelit rikkovat metallin oksidikerroksen. Tyypillisiä esiintymispaikkoja voivat olla pohjakaivot ja vesisuihkuvetolaitteiston osat, joissa pinnan epäjatkuvuuskohdat voivat aiheuttaa virtaukseen voimakasta pyörteilyä. Vesisuihkuvetolaitteiden imukanavat ovat alttiita kavitaatiokorroosiolle.

Kavitaatiokorroosio syntyy potkurin tai impellerin lapojen jättöpuolella tai pumpun imupuolella. Paineen laskiessa riittävän alhaiseksi nesteeseen muodostuu kaasukuplia, jotka romahtaessaan aiheuttavat paineiskuja. Paineiskut ovat pienelle pinta-alalle kohdistuessaan riittävän voimakkaita rikkomaan passiivikerroksen. (Häkkinen 2002, 25 – 26.)

Eroosio- ja kavitaatiokorroosion ehkäisyyn tehoaa samat keinot: kanavien ja pintojen oikea muotoilu, mitoitus, maalaus tai tarvittaessa pinnoittaminen.

5.4 Pistekorroosio

Pistekorroosio ilmenee nimensä mukaisesti pistemäisenä kuoppana tai reikänä metallin pinnalla. Alkunsa se saa usein materiaalin pinnassa olevasta naarmusta tai maalissa olevasta vauriosta, jossa veden virtaus on muuta pintaa hitaampaa. Tällöin meriveden kloridi-ionit pääsevät liuottamaan oksidikerrosta ja liuos happamoituu voimistaen edelleen syöpymistä. Syntynyt kuoppa muodostuu anodiksi geometrisen poikkeavuutensa ja liuoksen pH:n laskemisen johdosta. Pistekorroosio syntyy usein vedenalaisiin osiin silloin, kun veden virtaus on vähäistä tai sitä ei ole laisinkaan. Pinnan yläpuolella pistesyöpymän aiheuttaja on todennäköisimmin jokin alumiinia syövyttävä kemikaali (ks. 3.7 kemikaalien aiheuttama korroosio). (Häkkinen 2002, 25).



Kuva 6. Piste-, rako- ja kemiallisen korroosion yhteisvaikutus pakoputken laitaläpiviennissä.(Tanttu s.a.)

Pakoputken laitaläpivienni on puhdistettu hiekkapuhalluksella. Avattaessa läpiviennin maalipinta oli paikoin irronnut ja syöpymistä oli jonkin verran havaittavissa, mutta vaurion laajuus paljastui vasta perusteellisen puhdistuksen jälkeen. Pitkälle edenneen vaurion tarkkaa syntymekanismia voi olla vaikea selvittää.

5.4.1 Pistekorroosion ehkäiseminen

Tehokkain keino ehkäistä pistekorroosion syntymistä on oikea pintakäsittely. Ehjä maalikerros suojaa alumiinia tehokkaasti. Telakointien yhteydessä pohja tulee tarkastaa huolellisesti jo syntyneiden pistesyöpymien paikallistamiseksi. Mikäli pistekorroosiota havaitaan, alue puhdistetaan huolellisesti hiekka- tai lasikuulapuhalluksella ja maalataan uudelleen. Jos syöpymät ovat syvempiä, voidaan ne paikata soveltuvalla täyteaineella. Pitkälle edennyt ja laaja-alainen vaurio voi edellyttää koko rakenteen uusimista.



Kuva 7. Hiekkapuhalluksella puhdistettu pistesyöpymä vesirajan yläpuolella. Syvyys n. 5 mm. (Tanttu s.a.)

5.5 Hiertymiskorroosio

Hiertymiskorroosio (fretting) syntyy silloin, kun kaksi toisiinsa puristettua kappaletta pääsee värähtelyn ansiosta liikkumaan toisiinsa nähden. Pintojen epätasaisuus kiihdyttää korroosiota profiilihuippujen murtuessa värähtelyn ja kosketusjännityksen yhteisvaikutuksesta. Irtoavat metallipartikkelit oksidituvat ja toimivat hioma-aineen tavoin aiheuttaen hiertymiskulumista. Tasaisemmilla pinoilla kappaleiden värähtely voi kuluttaa oksidikerrosta, mikä johtaa uudelleenoksidoitumiseen.

Hiertymiskorroosio johtaa syntymekanismistaan riippumatta materiaalivahvuuden pienenemiseen uudelleenoksidoitumisen kautta. Tyypillisimmillään hiertymiskorroosiota esiintyy puristusovitteissa ja löystyneissä pultti- tai niittiliitoksissa. (Tampereen teknillinen yliopisto 2005a.)

5.5.1 Hiertymiskorroosion ehkäiseminen

Hiertymiskorroosiota voidaan ehkäistä huolehtimalla liitosten riittävä tiukkuus ja tarpeeksi tiheä kiinnitysväli. Kummallakin tavalla estetään pintojen liike toi-

siinsa nähden. Mikäli liikettä ei voida estää, liitospintojen väliin voidaan asentaa kuminen tai muovinen aluslevy tai elastinen tiivisteliima, värähtelyvaimennin tai vähentää muulla tavoin liikkeen aiheuttamaa kitkaa.

5.6 Rakokorroosio

Rakokorroosiota tapahtuu nimensä mukaisesti ahtaissa alle 0,1 mm:n raoissa, joihin liuos (erityisesti merivesi) pääsee tunkeutumaan, mutta ei vaihdu yhtä nopeasti kuin muilla metallisilla pinnoilla. Raossa seisova liuos happamoituu ja edistää syöpymistä. Tyypillisiä paikkoja rakokorroosiolle ovat:

- Niitti- pultti- tai hitsaussaumamat
- Tiivistepinnat silloin, kun tiivistemateriaali vettyy tai ei ole koko pinta-alaltaan kiinni alumiinissa
- Irronnut maali tai muu pinnoite, jonka alle pääsee kosteutta
- Pinttynyt lika, oksidipöly tai vastaava epäpuhtaus, joka pidättää kosteutta tai muodostaa liitokseen riittävän raon.

(Häkkinen 2002, 25)

5.6.1 Rakokorroosion ehkäiseminen

Rakokorroosion syntymistä ehkäistään poistamalla jokin sen syntymekanismiin vaikuttava tekijä. Meriolosuhteissa kosteuden ollessa aina läsnä, tulee korroosiolle altistavien liitosten syntymistä välttää. Esim. pultti- tai niittiliitoksen tekeminen hitsaamalla tai liitospintojen välissä käytetty tiivistemassa estää veden pääsemisen kappaleiden väliin. Rakokorroosiota voi syntyä tiivistepinnoille, vaikka liitos olisi oikein tehty (kuva 7). Tällöin tiivisteiden liimaaminen paikalleen tai tiivistemateriaalin vaihtaminen voi korjata tilanteen.



Kuva 8. Rakokorroosio venttiilirungossa.(Tanttu s.a.)

Vasemmalla: voimakas rakokorroosio on edennyt alumiinisen venttiilirungon ja kiinteään kumitiivisteeseen välissä. Epämuodostunut tiiviste estää sulkemasta venttiiliä eikä venttiili pidä. Oikealla uusi vastaavarakenteinen venttiili.

5.7 Väsymiskorroosio

Käytön aikana aluksen rakenteisiin kohdistuu suunnaltaan ja voimakkuudeltaan vaihtelevaa kuormitusta. Koneiden ja voimansiirron värähtelyt, aaltojen iskut ja aseiden rekyylivaikutukset välittyvät aluksen runkoon. Jännitystason ollessa riittävän suuri ja kuormituskertojen lukumäärän kasvaessa rakenteeseen saattaa syntyä säröjä, vaikka jännitystaso ei ylittäisikään myötölujuutta. Säröt voivat edelleen kuormitettuna kasvaa murtumiksi. Koneiden ja voimansiirron aiheuttamat väsymiskorroosiovauriot syntyvät todennäköisimmin sellaiseen rakenteen osaan, johon kohdistuu muusta kuormasta johtuva jännitys tai jonka ominaisvärähtelytaajuus on jokin koneiston aiheuttaman värähtelyn kerrannaisista. Säröjen alkupisteinä ovat erityisesti muodon poikkeamat, jäykkäajien ja kaarien hitsaussaumot tai levyn pinnan vauriot.

Vasta-aalokkoon ajettaessa aaltojen keulaan tuottamat paineiskut (slamming) aiheuttavat rungon värähtelyä. Paikalliset korroosiovauriot tai muodon epäjatkuvuuskohdat toimivat jännitysten keskittäjinä ja vauriot syntyvät niillä alueille, joilla jännitysvoimat ovat suurimmat. (Alumiinisten ohjusveneiden korjaushitsausohjeet 1993)

5.7.1 Väsymiskorroosion ehkäiseminen

Väsymisvaurioiden ennustettavuus on vaikeaa. Ennaltaehkäisevä työ tehdään jo suunnittelu ja rakennusvaiheessa, jolloin runkoon kohdistuvia voimia voidaan ennustaa tietokonemallinnuksen ja väsytykskokeiden avulla. Väsytykskoikeissa rakenteen osasta valmistetaan malli ja sitä kuormitetaan aidon kaltaisilla voimilla.



Kuva 9. Tunkeumaväritarkastuksessa paljastunut murtuma kaaren ja pitkittäisjäykkääjän hitssaussaumassa. (Merivoimat s.a.)

Jo syntyneiden väsymisvaurioiden korjaaminen vaatii huolellista suunnittelua. Tilapäiskorjauksena murtuma voidaan hitsata, mutta on hyvin todennäköistä että värähtelystä johtuva vaurio syntyy uudestaan, kuten kuvassa 8 on tapahtunut. Kestävämpi tulos saadaan joko vähentämällä värähtelyä tai muuttamalla rakennetta. Rakennetta muutettaessa on huomioitava, että pelkästään murtuma-aluetta vahvistamalla vaurio voi syntyä toisaalle samaan rakenteseen. Mikäli vaurion syntyyn vaikuttavat voimat tunnetaan, voidaan rakenne suunnitella uudelleen. (Alumiinisten ohjusveneiden korjaushitsausohjeet 1993)

Aluksen oikeanlainen, olosuhteet huomioiva käyttö rauhanajan operatiivisessa toiminnassa ja erityisesti slammingin välttäminen ehkäisee tehokkaasti väsymismurtumien syntymistä.

5.8 Kemikaalien aiheuttama korrosio

Alumiinin pinnalle muodostuva oksidikerros suojaa alumiinia olosuhteissa, joissa syövyttävän ympäristön pH on 4 – 8,5. pH:n ollessa liian matala tai korkea, oksidikerros lakkaa suojaamasta materiaalia. Erityisesti happamuus kiihdyttää syöpymistä. Jotkin yleisesti aluksilla käytettävät kemikaalit reagoivat voimakkaasti alumiinin kanssa. Esimerkiksi pesuaineita tai vedenkäsittelyaineita käytettäessä henkilöstön on tunnettava niiden ominaisuudet. Uuden työntekijän perehdytyksessä on syytä tuoda ilmi esimerkiksi tavanomaisten viemärinavausaineiden tuhoisa vaikutus alumiinille. Taulukossa 5 on esitetty eräiden kemikaalien korrodoiva vaikutus alumiiniin. (Tampereen teknillinen yliopisto 2005b.)

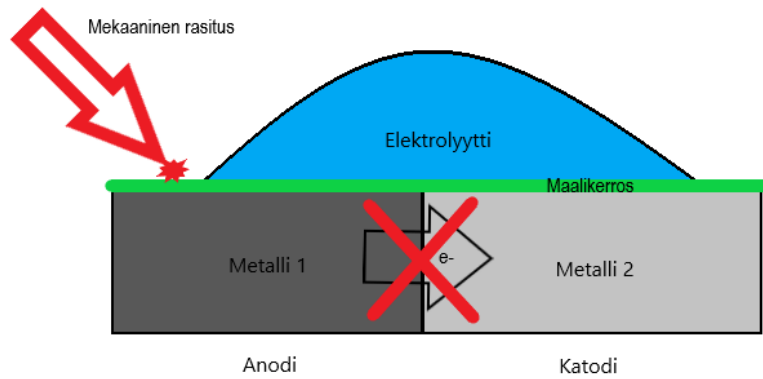
Taulukko 5. Kemiallista korroosiota aiheuttavia yhdisteitä. (Tampereen teknillinen yliopisto 2005b)

ERITTÄIN KORRODOIVIA	Hydroksidit	Natriumhydroksidi	Reagoi voimakkaasti alumiinin kanssa.
		Kaliumhydroksidi	Muodostaa vetykaasua
		Litiumhydroksidi	
		Bariumhydroksidi	
		Natriumsulfidi	Vahva emäs
	Hapot	Suolahappo	Reagoi voimakkaasti myös pieninä pitoisuuksina
		Fluorivetyhappo	
		Rikkihappo	Lämpötilan nousu voimistaa reaktiota
	Halogeenit kosteassa muodossa	Fluori	Reagoi alumiinin kanssa.
		Kloori	Reaktiotuotteena syntyvät aineet vaarallisia
Bromi			
KORRODOIVIA	Nox	Kosteaa rikkidioksidi	
		Rikkidioksidikaasu	
	Liuoksina	kloridit	
		hypokloriitit	
		syanidi	

6 KORROOSIONESTOMAALAUUS

Merivoimien alusten maalaustöissä noudatetaan käsketysti Merivoimien maalausohjetta (2013). Tämä luku on tiivistelmä Merivoimien maalausohjeen liitteen 1. sivuista 3 - 7 niiltä osin, kun se käsittelee alumiinin korroosionestomaalauksia.

Korroosionestomaalaus perustuu kahteen perusajatukseseen. Maalikerros suojaaa alumiinia mekaaniselta rasitukselta ja toimii eristekalvona pienentäen korroosiovirran turvalliselle tasolle. Metallin pinnalla on aina kolme neljästä korroosiokeino osasta: anodit, katodit ja metalli, joka toimii elektronijohteena. Maalikerroksen tehtävä on erottaa metallipinta merivedestä, jolloin korroosiokeino ei pääse syntymään. Seostettu alumiini ei kuitenkaan ole koskaan absoluuttisen homogeenistä, vaan sen pinnalle muodostuu anodisia ja katodisia alueita. Tämän vuoksi yhtenäinen levy pinta kykenee muodostamaan korroosiokeino itsensä kanssa, vaikka se ei olisikaan kosketuksissa muiden metallien kanssa. Jotta maalin suojaava vaikutus säilyy, on maalipinnan oltava ehjä ja tiiviisti kiinni pinnassa.



Kuva 10. Korroosionestomaalauksen suojausperiaatteet.

6.1 Korroosionestomaalit

Maalit koostuvat pääosin sideaineesta, pigmenteistä, liuotteista ja apuaineista.

Sideaine on maalin perusosa. Se muodostaa pintaan kiinnittyvän maalikalvon ja sitoo pigmenttipartikkelit. Sideaine määrittää maalin ominaisuudet, kuten tartunnan alustaan, kuivumistavan sekä lujuuden ja kestävyuden. Sideaineet ovat usein suurimolekyylisiä polymeerejä tai lakkahartseja, jotka muodostavat polymeerejä reagoimalla ilman hapen kanssa.

Pigmentit määrittävät maalin värin ja peittävyuden. Ne ovat jauheita, jotka voivat toimia myös apuaineina vaikuttaen maalin tiiveyteen, kiiltoon, siveltyvyyteen ja kestävyteen. Korroosiosuojapigmenteistä vain sinkki ja magnesium sopivat käytettäväksi alumiinipinnoilla.

Liuote pitää maalin nestemäisenä ennen levittämistä ja vaikuttaa maalin viskositeettiin ja kalvon muodostumiseen. Maalin muut komponentit ovat siis liuenneena liuotteeseen. Levittämisen jälkeen liuotteet haihtuvat ja muodostavat usein helposti syttyviä höyryjä. Maaliin voidaan lisätä ohennetta levittämisen helpottamiseksi. Liuote määrittää maalille soveltuvan ohenteen ja valmistajan ohjetta tulee noudattaa tarkasti.

Apuaineet vaikuttavat maalin varastointisäilyvyyteen, levittämiseen ja/tai kuivumisominaisuuksiin.

Maalattavan pinnan puhdistamisessa, esikäsitelyssä, maalin levittämisessä ja kuivumisessa noudatetaan alusluokkakokohtaisia **maalausserittelyjä**.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Alumiini on pienen tiheyden ja lujuutensa ansiosta erinomainen materiaali silloin, kun alukselta vaaditaan nopeutta ja hyötykuorman osuus aluksen painosta halutaan maksimoida. Alumiini ei kuitenkaan viihdy metallisessa muodossaan, vaan reaktiivisuutensa vuoksi se pyrkii palaamaan takaisin maankuoreen erilaisina yhdisteinä. Kaikkea korroosiota ei voida koskaan täydellisesti estää, mutta tunnistamalla sen syntymekanismit, hallitsemalla oikeat työmenetelmät ja suojaus, voidaan riskit hallita ja niihin osataan reagoida ajoissa.

Passivoituvana metallina alumiinin oksidikerros suojaa korroosiolta ja monilta osin käyttäjän tehtäväksi jääkin suojata oksidikerrosta ja siten ehkäistä laajempia vaurioita.

LÄHTEET

Euro Inox. 2011. Ruostumattomat teräkset kosketuksissa muiden metallisten materiaalien kanssa. Bryssel: Euro Inox. PDF-dokumentti. saatavissa:

http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Contact_with_Other_FI.pdf [Viitattu 21.5.2018].

Huhtanen, J. Syy murtumille saattoi löytyä. *Helsingin Sanomat*, 27.4.2015, s. A 14. Helsinki: Sanoma Company.

Häkkinen, P. 2002. Laivan putkistot. 6. painos Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu.

Merivoimien maalausohje, liite 1. 2013. Maalausohje teräs-, alumiini- ja lasikuitualuksille.

Merivoimat. 2018. Merivoimien kalustokuvastot. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://merivoimat.fi/kalustokuvastot> [viitattu 21.5.2018].

Opetushallitus. 2010. Kunnossapidon oppimateriaalit, mekaniikka.

WWW-dokumentti. Saatavissa:

http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f2_korroosionesto_esiintymismuodot.html [viitattu 15.5.2018].

Orell, J. 2008. Tarpeettomat ohjusveneet lähtevät Kroatiaan rahtilaivassa.

Turun Sanomat. WWW-dokumentti. <http://www.ts.fi/uutiset/kotimaa/1074312300/Tarpeettomat+ohjusveneet+lahtevat+Kroatiaan+rahtilaivassa> [viitattu 20.5.2018].

Peltonen, J & Kuitunen, R. 1993. Alumiinisten ohjusveneiden korjaushittausohjeet. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus; Konepajan tuotantotekniikan laboratorio; Metallilaboratorio. [Turvaluokiteltu (TLL IV) viranomaiskäyttö JulkL (621/1999) 24.1 §:n 10 k].

Runge, J. M. 2018. The Metallurgy of Anodizing Aluminum: Connecting Science to Practice. Springer International publishing AG.

Ship Structure Committee. 2012. High Speed Aluminum Vessels Design Guide. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.shipstructure.org/pdf/464.pdf> [Viitattu 15.5.2018].

Suojapotentiaalin mittausohje. 2003. Rannikkolaivasto.

Tampereen teknillinen yliopisto. 2005a. Opetusmateriaalit, korroosio. WWW-dokumentti.

Saatavissa: http://www.tut.fi/vmv/2005/vmv_2_1_6_taulukko1.php

[viitattu 15.5.2018].

Tampereen teknillinen yliopisto. 2005b. Opetusmateriaalit, alumiini. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://www.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_2_1.php

[Viitattu 15.5.2018].

KUVALUETTELO

Kuva 1. Puolustusministeriö. <http://docplayer.fi/42716621-Laivue-2020-puolustusvoimien-strateginen-hanke-laivue-2020-puolustusvoimien-strateginen-hanke.html>

Kuva 2. Suojapotentiaalimittaus. Kuva on laadittu Ohjusveneiden suojapotentiaalimittausohjetta mukaillen.

Kuva 3. Galvaanisen korroosion elementit. Kuva on laadittu Ohjusveneiden suojapotentiaalimittausohjetta mukaillen.

Kuva 4. Ylisuojauksen aiheuttama syöpymä. s.a. Insinöörikapteeniluutnantti Marko Tantt.

Kuva 5. Katodinen suojaus toteutettuna ulkoisella virtalähteellä. Kuva on laadittu ohjusveneiden potentiaalimittausohjetta mukaillen.

Kuva 6. Syöpynyt läpivienti. s.a. Insinöörikapteeniluutnantti Marko Tantt.

Kuva 7. Pistekorrosio. s.a. Insinöörikapteeniluutnantti Marko Tantt.

Kuva 8. Rakokorrosio venttiilissä. s.a. Insinöörikapteeniluutnantti Marko Tantt.

Kuva 9. Merivoimat. s.a. Inspectan tarkastusraportti.

Kuva 10. Maalin suojaavat vaikutukset. Kuva on laadittu Ohjusveneiden suojapotentiaalimittausohjetta ja Merivoimien maalausohjetta mukaillen

Taulukko 1. Taulukko on laadittu Merivoimien aluskuvaston tiedoista. PDF-dokumentti. saatavissa: <http://merivoimat.fi/kalustokuvastot> [Viitattu 15.5.2018].

Taulukko 2. Aluksella suoritettavat tarkastus- ja huoltotyöt. Taulukko on laadittu oman kokemuksen ja alusten konehenkilöstön haastattelujen perusteella.

Taulukko 3. Telakoinnin yhteydessä suoritettavat tarkastus- ja huoltotyöt. Taulukko on laadittu telakointiraporttien, oman kokemuksen ja haastattelujen perusteella.

Taulukko 4. Tampereen teknillinen yliopisto. 2005. *Jännitesarja*. WWW-dokumentti. saatavissa: http://www.tut.fi/vmv/2005/vmv_2_1_6_taulukko1.php [Viitattu 15.5.2018].

Taulukko 5. Taulukko on laadittu Tampereen teknillisen yliopiston taulukkoa *alumiiniseosten kestävydestä erilaisissa kemikaaleissa* mukailleen. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://www.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_2_1.php [Viitattu 15.5.2018].