



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

TOMMI PESONEN

# **Laivarungon ruostuminen ja sen ehkäiseminen**

MERENKULUN TUTKINTO-OHJELMA  
2023

## TIIVISTELMÄ

Pesonen, Tommi: Laivarungon ruostuminen ja sen ehkäiseminen  
Opinnäytetyö, AMK  
Merenkulun tutkinto-ohjelma  
Joulukuu 2023  
Sivumäärä: 31

Tässä opinnäytetyössä suoritettiin kirjallisuuskatsaus laivojen runkojen ruostumisen tutkimiseen ja ehkäisemiseen meriympäristössä, erityisesti keskittyen laivan ulkoisen rungon alueisiin, jotka ovat suorassa kosketuksessa meriveden kanssa. Opinnäytetyössä tarkasteltiin yleisesti ruostetta, sen erilaisia korroosiotyyppejä ja niiden vaikutuksia laivan ulkoiseen rakenteeseen, sekä tutkittiin erilaisia ehkäisymenetelmiä pintapuolisesti.

Tutkimuksessa hyödynnettiin eri kirjallisuuslähteitä ja korkeakoulun opetusmateriaaleja. Opinnäytetyö korostaa henkilökohtaista kiinnostusta ruostumista ja korroosiota kohtaan sekä pyrkimystä syvällisempään ymmärrykseen ruostumisen haitoista ja menetelmistä sen ehkäisyyn. Työn lopputuloksena on tietämys ruostumisen ilmiöstä ja sen hallintakeinoista, mikä voi palvella merenkulun alalla toimivia ammattilaisia ja tutkijoita.

Avainsanat: Ruoste, Laiva, Meri, Korroosion esto, Maalaaminen.

## Abstract

Pesonen, Tommi: Shiphull rusting and prevention.

Bachelor's thesis

Maritime engineer

Dec 2023

Number of pages: 31

In this thesis, literature review was conducted to study ship hull rusting ja prevent it in marine environment, especially focusing on ship hull areas, which are in direct contact with the sea water. The thesis went through in general terms about rust, different kind of corrosion types, how they affect outer ship hull and was studied different methods to prevent it superficially.

In study, different literature and university material were exploited. Thesis highlights personal interest towards rusting and corrosion with aspiration for deeper understanding about their harm and to prevent them. The result of the work is knowledge about phenomenon of rusting and the way to handle it, which may serve professionals and researchers working at the marine industry.

Keywords: Rust, Ship, Prevention of corrosion, painting.

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 KORROOSIO JA RUOSTE .....	6
2.1 Korroosio tyypit.....	7
2.1.1 Yleinen korroosio .....	7
2.1.2 Pistekorroosio .....	8
2.1.3 Kavitaatio eroosio .....	9
2.1.4 Jännityskorroosio / Stress Corrosion Cracking (SCC) .....	10
2.1.5 Galvaaninen korroosio.....	11
2.1.6 Biokorroosio.....	11
2.1.7 Korroosio väsymys .....	12
3 TOIMENPITEET EHKÄISEMISEEN .....	13
3.1 Pinnoittaminen.....	14
3.1.1 Pinnan valmistelu ja laatu .....	14
3.1.2 Korroosiolta suojaava pinnoite.....	17
3.1.3 Epäpuhtauksilta suojaava maali .....	20
3.1.4 Maalit ja pinnoitteet.....	22
3.1.5 Tekniikat .....	24
3.1.6 Kalvon paksuus .....	24
3.1.7 Vahingot pinnoitteissa.....	25
3.2 Katodinen suojaus laivan rungossa .....	26
3.3 Kustannukset.....	29
4 JOHTOPÄÄTÖS JA POHDINTA.....	30
LÄHTEET .....	31

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi ja tuodaan esille korroosion monitahoiset vaikutukset laivojen runkoihin sekä tarjotaan näkemyksiä kestävästä ratkaisusta, jotka vähentävät korroosion aiheuttamia taloudellisia menetyksiä ja parantavat laivojen kestävyyttä ja käyttö ikää pitkällä aikavälillä. Korroosion taloudelliset vaikutukset ovat mittavat, aiheuttaen merkittäviä menetyksiä maailmanlaajuisesti. Arviolta jopa 1 % bruttokansantuotteesta menetetään vuosittain korroosion seurauksena (Caridis, 2009, s. 1). Tälle ilmiölle erityisen haavoittuvia ovat laivat, joiden metallisiin rakenteisiin korroosiolla on kielteinen vaikutus, aiheuttaen runkojen ohentumista ja heikentäen laivan teknisiä ominaisuuksia. Korroosion seurauksena laivan runkojen jännitys kasvaa, samalla kun lasti- ja kuormauskapasiteetit heikkenevät, vaarantaen merenkulun turvallisuuden ja tehokkuuden.

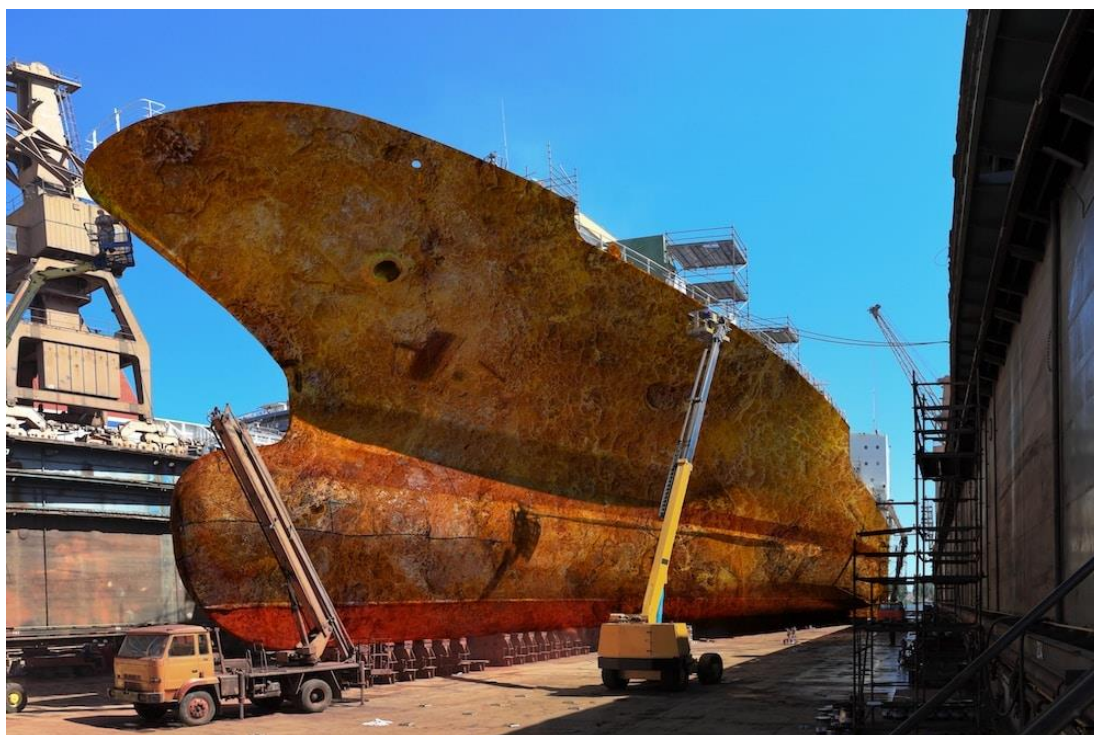
Tutkimusalue rajoittuu erityisesti laivojen runkojen rakenteisiin, joihin korroosio vaikuttaa suoraan, luoden tarpeen kestävien ratkaisujen löytämiselle. Opinnäytetyö tarjoaa tähän tarpeeseen katsauksen korroosion vaikutuksista laivojen runkoihin ja esittää konkreettisia pitkäaikaisia ratkaisuja, jotka vähentävät merkittävästi taloudellisia menetyksiä.

## 2 KORROOSIO JA RUOSTE

Korroosio on metallin vuorovaikutusta sen ympäristön kanssa, jonka seurauksena aiheutuu muutosta metallin rakenteisiin ja ominaisuuksiin, joka johtaa useasti metallin heikentymiseen. (Caridis, 2009, s. 1)

Termiä käytetään raudan, usein teräksen, hapettumisen yhteydessä, jossa rauta hapettuu veden ja hapen vaikutuksen alaisena ruosteeksi. Tämä raudan hapettunut pysyvä muoto on metallinpintoja haurastuttava punaisen ruskea materiaali. Korroosio kiihtyy ilman suhteellisuuden saavuttaessa 60 % kosteusrajan. (Samk opetusmateriaali, 2023)

Miksi laivarungot sitten ruostuvat niin tehokkaasti merivedessä, johtuu veden sisältämistä suoloista. Meriveden suolaisuus lisää sähkönjohtavuutta, joka edes auttaa ruostumista, tätä sanotaan sähkökemialliseksi korroosioksi. Korroosion riski kasvaa lämpötilan kasvaessa, happipitoisuudesta, virtaavan veden nopeudesta, korroosiota aiheuttavien pitoisuuksien sisällöistä, kuten epäpuhtauksista ja johtavuuksista. (Caridis, 2009, s. 1–2)



Kuva 1. Ruosteinen laiva telakalla. (Marine insight, 2021)

## 2.1 Korroosio tyypit

Korroosio esiintyy monessa eri muodoissa, mutta pääpiirteisesti korroosio on samankaltainen kaikissa korroosio tyypeissä, joiden esiintymismuodot vaihtelevat ympäristön, materiaalin rakenteen ja ominaisuuksien mukaan.

### 2.1.1 Yleinen korroosio

Ilmakehässä on aina läsnä happea ja vettä, jotka aiheuttava metallin pinnalle korroosion, varsinkin meren kosteassa ja suolapitoisessa ympäristössä korroosio kiihtyy. Yleinen korroosio on yhtenäinen kerrostunut ruostetta korroosiosta metallin pinnalla. Kerrostuneisuus määrittää korroosion tahdin. Tämä korroosio tyyppi on vähiten vahinkoa aiheuttava korroosio tyyppi, sillä se on helposti huomattava ja helposti poistettava metallin pinnalta. Jos kerros on yhtenäistä ja läpäisemätöntä, se ei eroa metallista ulkoisen voimien tai rasituksen alaisuuden yhteydessä suojellen metallin pintaa jatkuvalta korroosiolta. Jos ruosteen pinta kuluu syystä tai toisesta, se voi uusiutua ja tällöin ruosteinen yhtenäinen pinta jatkaa metallin suojelemista. Metallia suojeleva ruosteinen pinta riippuu sen pinnalla olevan vedestä ja sen happipitoisuuden määrästä. Jos happipitoisuus on alhainen, se voi ajaa korroosion laadun piste korroosiksi ja vahingoittaa metallia enemmän. (Caridis, 2009, s. 2)



Kuva 2. Yleinen korroosio laivan kannella. (Caridis, 2009, s. 2)

### 2.1.2 Pistekorroosio

Nimensä mukaisesti, korroosio aiheuttaa metalliin pistemäisiä reikiä. Korroosio aiheutuu metallin pinnalla seisaallaan olevasta liuoksen sisällön vaikutuksesta, jolloin syntyy kuoppamaisia syvänteitä ja se pysähtyy saavuttaessa tietyn syvyyden. Yleisin syy näistä on vähähappinen vesi. Piste korroosio voi kehittyä kiihtyväksi galvaaniseksi korroosioksi pistekorroosion uriin, pintakalvon rakenne virheisiin tai pinnalla oleviin pisaroihin olosuhteiden ollessa oikeat. Korroosio on yleinen ruostumattoman teräksen tai alumiini sekoitusten yhteydessä paikallaan olevan vähä happisen veden kanssa.

(Caridis, 2009, s. 2)



Kuva 3. Pistekorroosio. (Steel Fabrication Services, 2021)



### 2.1.3 Kavitaatio eroosio

Vedenalaisessa rungon osissa syntyvä korroosio muoto. Kun staattinen paikallinen paine on pienempi kuin nesteen kyllästyspaine sen hetkessä lämpötilassa. Neste haihtuu ja kavitaatiokuplia muodostuu. Näiden kuplien saavuttaessa korkeamman paineen, nesteytyvät kiinteälle pinnalle ja luhistuvat suuremmassa paineessa kiinteälle pinnalla aiheuttaen pieniä reikiä eli piste korroosioita ja kavitaatioita. Yksinkertaisella termillä tätä ilmiötä kutsutaan paine iskuksi. Tällaisia ilmiöitä esiintyy yleisimmin pumppujen siipipyörissä ja laivojen potkureissa sekä ympäristöissä, missä virtausnopeudet ovat suuria ja paineen vaihtelut jatkuvia. (Caridis, 2009, s. 2–3)



Kuva 4. Kavitaatio laivan potkurissa. (Caridis, 2009, s. 3)

#### 2.1.4 Jännityskorroosio / Stress Corrosion Cracking (SCC)

Korroosio tyyppi ilmenee metallin haurastumisena tai murtumisena ilman ulkoisia havaittavia muutoksia. Korroosio etenee nopeasti materiaaleissa ja varsinkin kloridipitoisessa ympäristössä metallit kärsivät eniten. Metalliin muodostuu murtumia korroosion ja pinnassa vaikuttavien vetojännityksen vaikutuksesta. Vetojännitys voi olla seurausta ulkoisesta kuormituksesta tai sisäisistä jännityksistä. Ulkoiset kuormat voivat olla Staattista kuormaa tai painetta ja värähtelyä, kun taas sisäiset kuormat voivat olla kylmävaihtelua, lämpökäsittelyt tai hitsaaminen. Vaarallisimpia tilanteita voivat olla, kun ulkoiset ja sisäiset kuormat vaikuttavat yhtä aikaa ja voi johtaa äkilliseen murtumiseen metallissa. Lämpötila muutokset, ympäristö, kulumat ja muut korroosiot edesauttavat murtumista. (Korroosiokäsikirja, 2004, s. 117–118)



Kuva 5. Jännitys korroosio. (US CORROSION SERVICES, 2023)

### 2.1.5 Galvaaninen korroosio

Korroosio esiintyy, kun samassa elektrolyytissä kaksi metallia on sähköisessä kontaktissa toisiinsa. Epäjalompi metalli muodostuu anodiksi ja syöpyy. Galvaanisessa parissa korroosion nopeuteen vaikuttavat yleiset tekijät ovat elektrolyytin johtavuus ja luonne, suojattavan ja uhrautuvan metallin pinta-alojen suhde sekä metallien elektrodipotentiaalit korroosio ympäristössä.

(Korroosiokäsikirja, 2004, s. 109–110; Samk opetusmateriaali, 2023)

Jokainen metalli voi pelkistää itseään jalomman metallin, esimerkkinä rauta ja nikkeli ollessa elektrolyysisesti kosketuksessa toistensa kanssa epäpuhtaassa vedessä, hapettuu epäjalompi rauta. Tätä korroosion muotoa käytetään korroosionsuojauksessa, missä epäjalompi metalli uhrataan katodiselle suojaukselle. Esimerkiksi teräksen pinnalle voidaan saostaa ohut kerros epäjalompaa metallia, kuten sinkkiä. Sinkin tehtävä on luovuttaa elektroneja raudalle ehkäisten raudan hapettumisen. (Samk opetusmateriaali, 2023)

### 2.1.6 Biokorroosio

Yksi yleisimmistä korroosimuodoista ja voi ilmentyä pistekorroosion muodossa. Biokorroosio johtuu metallin pinnoilla elävistä mikrobeista, jotka reagoivat vedessä olevien epäpuhtauksien kanssa muodostaen happamia aineenvaihduntatuotteita, eli karboksyylihappoja. (Samk opetusmateriaali, 2023)

Ympäristön olosuhteet ovat tärkeä tekijä kasvustolle ja bakteerien levittäytymiselle. Tällaisia ovat seisovat vedet ilman happea. Biokorroosiossa bakteerit syövät hiilivetyjä, kuten raakaöljyä, pinnoitteita ja maaleja. Runsas sulfaattiset meriveden antavat bakteereille hyvät elinolosuhteet. Bakteerit leviävät niin sanotusti ”hengittämällä” sulfaatteja, ja sopiva lämpötila bakteerien kasvulle on noin 20–40 celsius asteen lämpötila. Bakteereja ilmenee usein runsaasti laivojen tankeissa ja putkissa, mutta myös laivojen vedenalaisissa rungon osissa. (Caridis, 2009, s. 3)

Rautojen ja teräspintojen korroosiosta ovat vastuussa etupäässä niin sanotut sulfaattia pelkistävät bakteerit, eng. SRB = Sulfate Reducing Bacteria. Nämä bakteerit muuttavat sulfaattia rikkivetykaasuksi, joka on syövyttävä. Biokorroosiota voidaan estää happo tai emäspesuilla, höyrytyksillä ja kemikaaleilla. (Samk opetusmateriaali, 2023)



Kuva 6. Biokorroosi. (Softpedia, 2010)

### 2.1.7 Korroosio väsymys

On rakenteiden joutumista värähtelyjen, vaihtosuuntaisen kuormituksen tai termisten vaihteluiden alaiseksi. Materiaalin väsymislujuus määrää sen kestoian. Väsymiskestävyys pienenee korroosio ympäristöissä. On todennäköistä, että korroosio väsymystä esiintyy yleisemmin tilanteissa missä metalli on altis muille korroosio muodoille. Tällöin pinnan paikalliset korroosioauriot voivat toimia jännityksen keskittäjinä. Esiintyy yleisimmin olosuhteissa, missä metallin syöpyminen on tasaista. (Korroosiokäsikirja, 2004, s. 122)

### 3 TOIMENPITEET EHKÄISEMISEEN

*”Teräs on aikamme ylivoimaisesti käytetty metalli. Sen ainoana haittapuolena on liian suuri korroosionopeus monissa olosuhteissa. Tämän takia teräsrakenteiden ja -kappaleiden ruostesuojauksella on suuri taloudellinen merkitys. Teräs voidaan suojata ruostumiselta monella eri menetelmällä.”*

(Samk opetusmateriaali, 2023)

1. Teräkseen voidaan seostaa kromia ja nikkeliä, jotta siitä tulee ruostumaton useimmissa korroosio ympäristöissä. Ruostumaton teräs on kallis rakennusterässovellus.
2. Katodinen suojaus uhrautuvilla anodeilla tai ulkoisilla tasavirtalähteillä. Uhrautuvia anodeja ovat verrattavissa sähkökemialliseen korroosioon, koska se on järjestelmällisesti ohjattu anodien kulumisella suojeltavan metalli pinnan puolesta. Katodista suojaa voidaan käyttää vain sähköä johtavassa ympäristössä, kuten vedessä. Käyttökohteet ovat esimerkiksi laivojen rungot ja tankit.
3. Pinnoittaminen orgaanisilla ja epäorgaanisilla materiaaleilla ovat pääasiallisia keinoja, joilla voidaan teräspinta suojata. Orgaaniset materiaaleja ovat muovit, maalit ja bitumituotteet. Epäorgaanisia materiaaleja ovat emalit ja metallit.

Ruosteensuojaus menetelmissä on otettava huomioon eri tekijöitä kuten ympäristö, pintakäsittelyn luotettavuus, kestävyys kuljetuksen ja varastoinnin aikana. Asennusvaiheessa erilaisten materiaalien käsittelyssä on otettava huomioon materiaalin korroosiosuojaus. Materiaalien valintaperusteita ovat myös huolettavuus, taloudellinen vertailu ja kustannukset. (Samk opetusmateriaali, 2023)

Nämä asiat tulevat esille vanhoissa huoltamattomissa laivoissa, joita ei ole pidetty kunnossa huoltosuunnitelman vaatimalla tasolla. Alukset ovat alttiina tai altistuneet laajamittaisiin korroosiovaurioihin. Mikäli rungon pinnoitteita ei uudisteta tai huolleta 5–10 vuoden välein, se altistuu jatkuvalle korroosiolle.

Säännöllisten ja hyvin hoidettujen huoltovälien kautta, laivojen käyttöikä voi pidentyä jopa 25 vuodella ilman ylimääräisiä teräsrakennekorjauksia. Teräsrakennekorjaukset ovat kalliita ja paljon aikaa vieviä prosesseja. (Caridis, 2009, s. 199)

### 3.1 Pinnoittaminen

Pinnoittamisen tarkoituksena on suojata laivan metallinen runko korroosiolta ja muilta ulkoisilta runkoon kohdistuvilta rasituksilta. Pinnoittamisessa otetaan huomioon laivan koko, ja mahdollinen laivan käyttöympäristö. Tavoitteena on luoda tarpeeksi kestävä pinnoite suojaamaan laivan runko.

#### 3.1.1 Pinnan valmistelu ja laatu

Teräksen pinta tulee valmistella puhdistamalla kaikki ylimääräinen roska, lika, ruoste ja suolat teräksen pinnalta. Pinnan puhdistamisella vaikutetaan suojaavan pinnoitteen tarttumisominaisuuksiin. Puhtaaseen pintaan tartunta tapahtuu ilman ongelmia. Tällaisia eri puhdistus menetelmiä ovat:

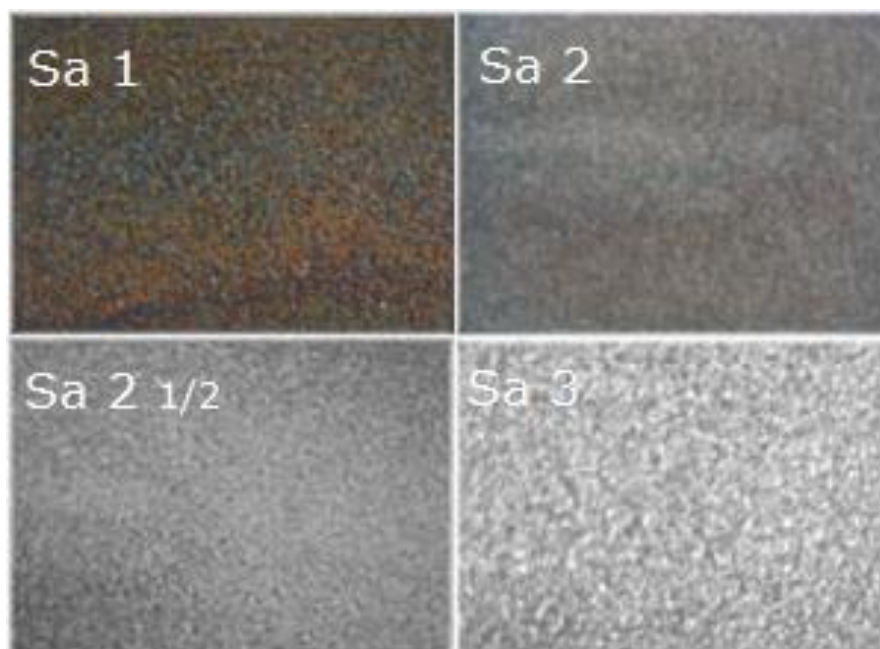
1. Ylimääräisen rasvan ja öljyn poisto. Tämä toteutetaan, koska pinnan hiominen ja raapinen ei aina takaa täyttä puhtautta, jolloin öljy tai rasva voivat estää pinnoitteen tarttumisen teräksen pinnalle, aiheuttaen suojaavan pinnoitteen irtoamisen ja sen vahingoittumisen, altistaen teräksen ruostumiselle. Tässä puhdistus menetelmässä käytetään orgaanisia yhdisteitä, kuten alkoholia, lakkabensiinejä, tärpätettä sekä vahvoja liuoksia eli tinnereitä ja puhdistusaineita veden kanssa.  
(Caridis, 2009, s. 205; Samk opetusmateriaali, 2023)

2. Hapettuneen pinnan poisto rapauttamalla on yksi vanhimmista tavoista poistaa hapettunut pinta. Tässä tavassa aluksen paljas metalli runko altistetaan ilmastolle pitkäksi ajaksi. Jos hapettunutta pintaa ei poisteta, voi syntyä galvaaninen pinta, joka vaikeuttaa pinnoitteiden tarttuvuutta ja vahingoittaa sitä. Menetelmän huonona puolena voidaan pitää sen ajallista kestoa. Rungon mahdollinen altistaminen vedelle voi aiheuttaa pistekorroosiota. (Caridis, 2009, s. 205)
  
3. Mekaaninen puhdistustapa käsin tai voimatyökaluilla. Ennen toimenpidettä tulee tehdä rasvanpoisto. Käsin tehtäessä käytetään kuonahakua, kaavinta, teräsharjaa tai talttaa. Ruosteen poistaminen mekaanisesti käsin on aikaa vievää ja vähiten käytetty menetelmä. Voimatyökaluilla puhdistus on yleisin ja siinä käytetään yleensä hiomalaikkaa, neulakonetta tai paineilmavasaraa. Puhdistuksen jälkeen pinnalle levitetään ensimmäinen pinnoitekerros. Mekaanista puhdistustapaa ei käytetä vedenalaisten pintojen puhdistuksessa, sen kalliin menetelmän ja suolan poiston vaikeuksien takia.  
(Caridis, 2009, s. 205–206; Samk opetusmateriaali, 2023)



4. Suihkupuhallus on eniten käytetty menetelmä parhaimman lopputuloksen takia ja sitä ennen on tehtävä rasvanpoisto käsiteltävästä pinnasta. Puhalluksessa käytetään erilaisia puhallustapoja, riippuen liasta tai pinnan vahingoista. Näitä ovat painepesu ilmalla tai vedellä, tyhjiöpuhaltaminen ja hiekkapuhaltaminen. Painepeseminen vedellä on näistä tavoista yksi kätevimmistä, sillä se on monipuolinen, ympäristöystävällinen, puhdistaa suolan, maalit ja eliöt tehokkaasti teräksen pinnalta. Painetta nostamalla jopa 3000 bar asti, voidaan poistaa ruostetta tehokkaasti teräksen pinnalta. Tätä kutsutaan Hydro-jetting menetelmäksi. Puhaltamisen haittapuolena on pinnasta irtoavan jätteen leviäminen. (Caridis, 2009, s. 206–209)

Lopputuloksen varmistamiseksi käytetään suihkupuhdistusasteikkoa. Yleisin aste on Sa 2½, jolla saadaan riittävä esikäsitteilyaste maalauspinnalle. Sa 1 ja Sa 2 eivät usein riitä. Vaativissa kohteissa voidaan käyttää astetta Sa 3, mutta sen huonona puolena on korkea kustannustaso. (Samk opetusmateriaali, 2023)



Kuva 7. Suihkupuhdistusasteet. Sa 1 Kevyt suihkupuhdistus, Sa 2 Huolellinen suihkupuhdistus, Sa 2½ Hyvin huolellinen suihkupuhdistus ja Sa 3 Suihkupuhdistus metallinpuhdas. (Samk opetusmateriaali, 2023)

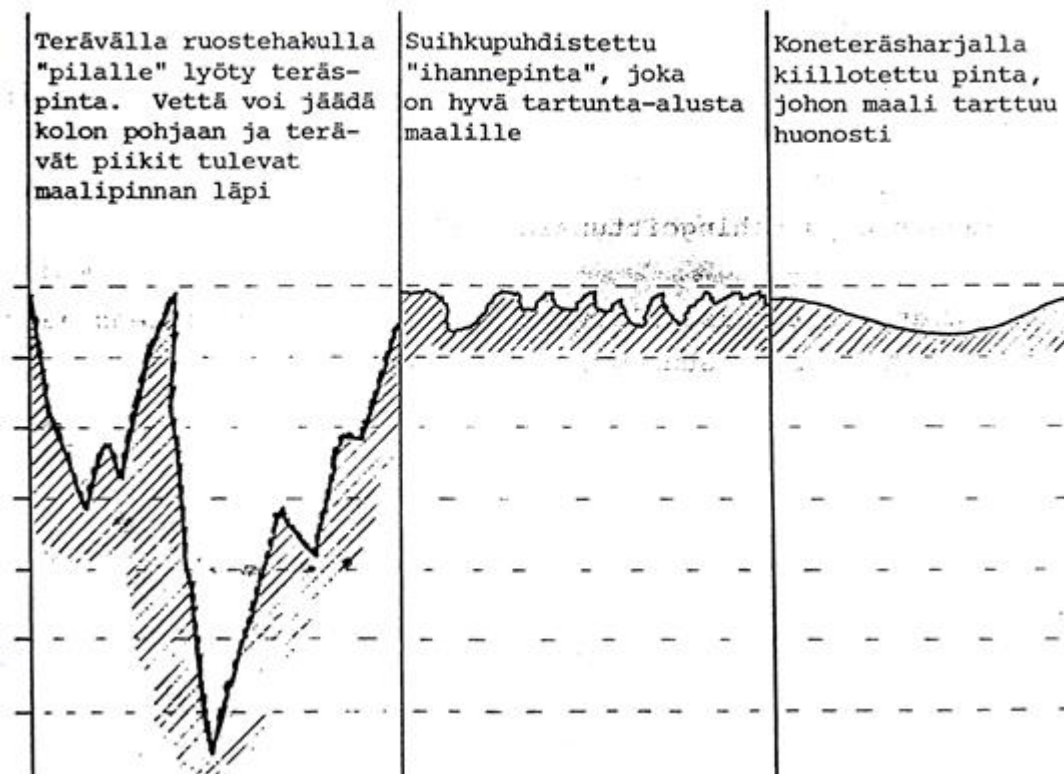


5. Liekillä puhdistaminen. Tällä menetelmällä saadaan poistettua hapettunut pinta, ruoste, vanha maali ja suolat puhdistettavasta pinnasta. (Caridis, 2009, s. 209)

Maalauksen pinta tulee saada ihanteelliseksi pinnan tarttuvuuden takia. Karkea ja koloinen pinta vie paljon maalia sekä voi mahdollistaa teräksen karkean pinnan paljastumisen maalin alta, altistaen uudelleen ruostumiselle. Pinnan ollessa liian sileä, maali ei välttämättä tartu, ja kalvo voi irtaantua.

(Samk opetusmateriaali, 2023)

ERILAISILLA RUOSTEENPOISTOVÄLINEILLÄ SYNTYNEITÄ PINTOJA  
(satakertaisena suurennoksena)



Kuva 8. Lähikuva työstetystä pinnasta. (Samk opetusmateriaali, 2023)

### 3.1.2 Korroosiolta suojaava pinnoite

Suojaava pinnoite voi olla passiivinen tai aktiivinen. Passiivisessa suojauksessa metallin pinta peitetään kalvolla eristämällä metalli ilmasta ja kosteudesta. Aktiivisessa suojauksessa suojaava maali toimii osittain passiivisesti eristävästi, mutta ensisijaisesti se toimii aktiivisesti sen pigmenttien

syöpymisellä metallin sijasta. Yleensä kaikki maalikalvot läpäisevät vettä ja happaa jonkin verran, osallistuen pigmenttien syöpymiseen. Nämä pigmentteissä olevat metallit ovat epäjalompia suojattavaan metalliin nähden, jotka uhrautuvat elektrolyytin kautta. (Samk opetusmateriaali, 2023)

Näitä korroosiolta suojaavat pinnoitteet ovat pohjamaaleja. Maalit levitetään teräksen pinnalle laajalle alueelle, jotka kuivuvat ja kovettuvat antaen kalvo-maisen muodon pinnalle. Pinnoitteen tarkoitus on suojata teräksen pintaa hapelta ja vedeltä, jotka aiheuttavat korroosiota. Pohjamaalit ovat lämmönkestäviä ja sähköä eristäviä. (Caridis, 2009, s. 212)

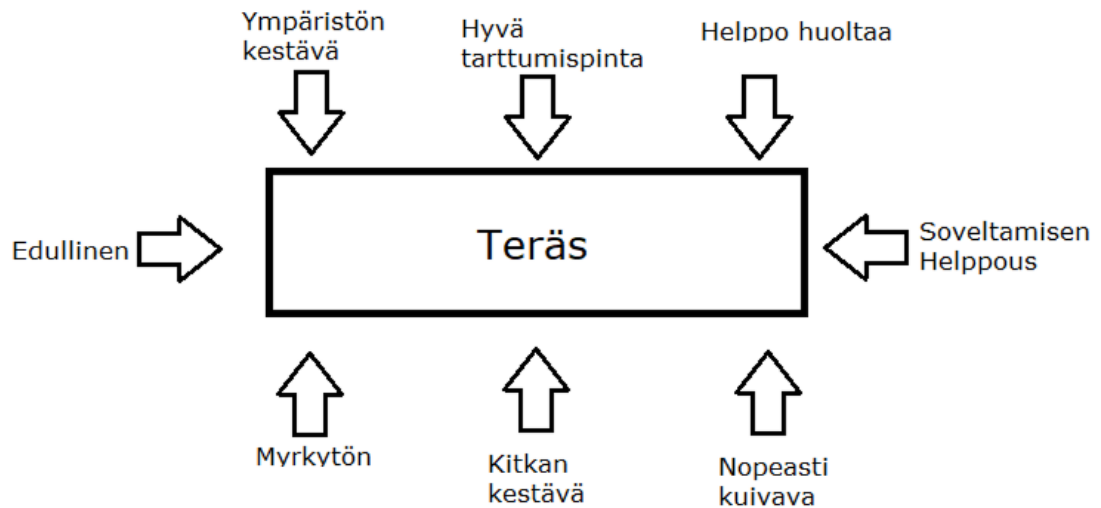
Pinnoitteet koostuvat:

1. Pigmenteistä, ovat jauheita, jotka parantavat värisävyä, kirkkautta, kovuutta, mekaanista vahvuutta, kykyä imeä vettä ja omaavat korroosiolta suojaavia ominaisuuksia. Pigmenttien ainesosia voivat olla lyijy, sinkkipöly, -kromaatti tai -fosfaatti ja kaliumfosfaatti. Lyijy ja sinkkikromaatti pohjaisten pigmenttien käyttöä on vähennetty huomattavasti tai kokonaan niiden myrkyllisyyden takia.
2. Sideaineet, eng. Binder(s), jotka ovat tärkeimpiä ainesosia muodostamaan lopullisen kalvon ja tartunnan. Yleisimpinä sideaineina käytetään erilaisia silikaatteja, vinyyleitä, tervaa, luonnonhartseja, bitumia ja epokseja. Sideaineet liuotetaan sopiviin liuotteisiin juoksevaan muotoon, jota kutsutaan lakaksi. Tähän sekoitetaan ohenteet, pigmentit ja apuaineet, kunnes se kuivuu kalvoksi, sitoen pigmentit ja muut sideaineet yhteen.
3. Liuottimista tai ohentajista, joilla ylläpidetään pinnoitteen kiinteyttä tai puolikiinteyttä, sekä sen viskositeettiä. Levittämisen jälkeen, liuotin haihtuu eikä vaikuta maaliin. Liuottimena käytetään yleensä alkoholia, tärpättiä, ksyleeniä tai lakkabensiiniä. Aineet ovat tulenarkoja ja haihtuessa kehittävät vaarallisia höyryjä.

(Caridis, 2009, s. 212; Samk opetusmateriaali, 2023)

4. Lisäaineista. Nämä ovat kemikaalisia ainesosia, jotka antavat tiettyjä ominaisuuksia pinnoitteeseen, joita muilla tavoilla ei saada aikaa. Lisäaineet toimivat maalien eri ainesosien vakaajina, kuivattajina sekä ne sisältävät korroosionestoa lisääviä ominaisuuksia.

(Caridis, 2009, s. 212)

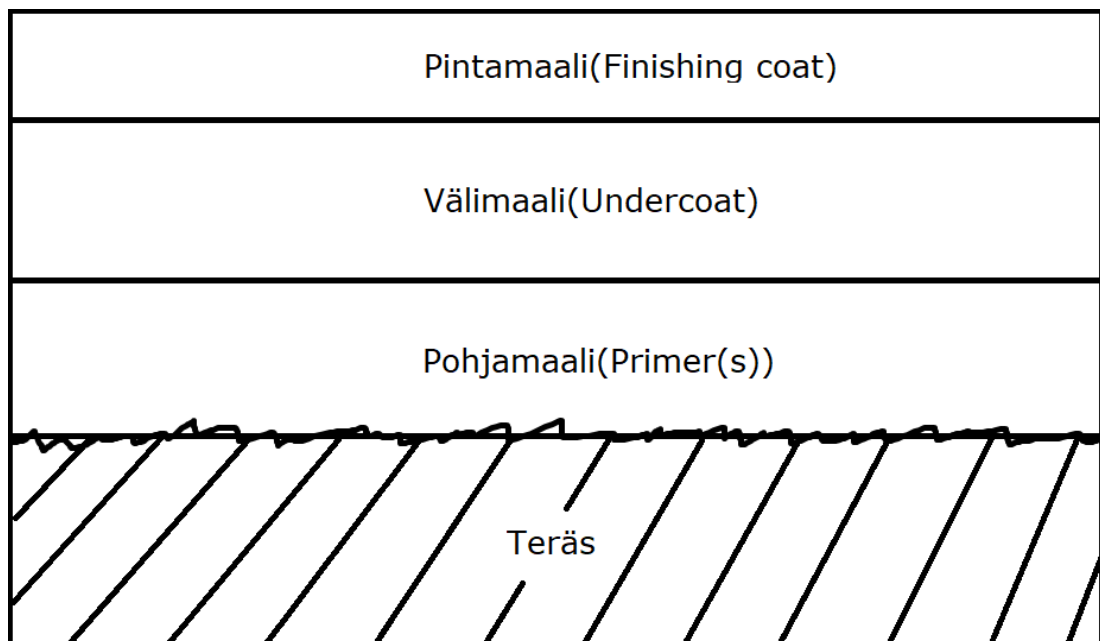


Kuva 9. Pinnoitteen vaatimukset. (Caridis, 2009, s. 212)

Pinnoitetta laittaessa teräksen päälle tehdään yleensä kerroksittain pinnoitteita tai maaleja, jota kutsutaan maalijärjestelmäksi. Näihin kuuluu:

1. Pohjamaalit, eng. Primer(s), joita on yksi tai useampi kerros. Pohjamaali on nimensä mukaisesti pinnoitteen ensimmäinen kerros. Sen laadullinen merkitys on suuri, koska ensimmäistä pintaa pidetään käsittelyn tärkeimpänä pintana. Pohjamaalissa on korroosiolta suojaavia tekijöitä sen pigmenttien takia.
2. Välikerros, eng. Undercoat. Välikerrosmaali tulee pohjamaalin päälle. Sillä täytyy olla hyvä tartunta pohjamaaliin ja sen tulee olla helposti levitettävää. Välikerrosmaalin tulee olla melkein saman sävyinen pintamaalin kanssa, mutta erotettavissa oleva. Välimaalit eivät yleensä ole erilaisia, vaan päällekkäin maalattuja pintamaaleja.

3. Pintamaali, eng. Finishing coat. Pintamaalin tulee olla korroosiolle ja ilmastolle kestävä. Pintamaali ei saa menettää loistoa ja kiiltoa auringon säteilylle, eikä menettää kykyä sitoa itseään pohjakerrosmaaleihin korkean kosteuden vuoksi. Pintamaalin täytyy olla iskun ja hankauksen kestävä. (Caridis, 2009, s. 213.)



Kuva 10. Maali järjestelmä. (Caridis, 2009, s. 213)

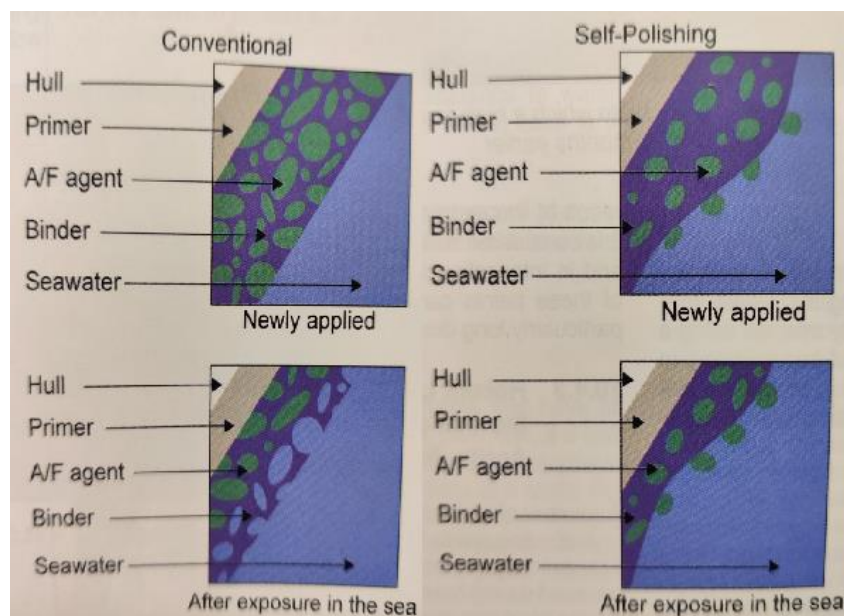
### 3.1.3 Epäpuhtauksilta suojaava maali

Merieliöt, kasvit ja muut elävät organismit voivat kiinnittyä aluksen runkoon ja levittäytyä. Eliöiden kerääntyminen lisää aluksen painoa ja vastusta laivalle, joka vaikuttaa suoraan aluksen polttoainekulutukseen. Tätä varten on kehitelty epäpuhtauksilta suojaava maali, joka laitetaan aluksen vedenalle jääville alueille korroosiolta suojaavan maalipinnan ja pohjamaalin päälle. (Caridis, 2009, s. 215)

Aikaisemmin pinnoitteet olivat myrkyllisiä, joten niitä on vähennetty herkillä merialueilla merkittävästi. Näitä ovat lyijypohjaiset, arsenikki, kupariset oksidit ja orgaanimetalli yhdisteet.

Tärkeimpiä epäpuhtauksilta suojaavia maaleja ovat:

1. Tavanomaiset liukenevat matriisityypit. Lyhytkestoisia 12–15 kuukautta, johtuen rajallisten mekaanisten vahvuuksien takia.
2. Liukenevat matriisityypit. Vahvempi kuin edeltäjänsä, 18–30 kuukautta kestäviä, niiden kyvyn olla liukenematta meriveden kanssa.
3. Itsehiovat. Niiden sisältämä pääkomponentti orgaaninen tina kopomyleri ja vahva mekaaninen lujuus antavat elinikää ainakin 5 vuotta. Pinta toimii yhdessä ympäristön kanssa, vaihtamalla komponentteja hydrolyysin ja ionien kautta. Tämän kautta vanha pinta hioutuu päältä uudeksi ja vaihtaminen jatkuu.
4. Itsehiovat / ablatiivi tyypit. Melkein sama kuin edeltäjä, mutta syvemmällä mikroskooppisella tasolla. (Caridis, 2009, s. 219)



Kuva 11. Tavanomainen ja itsehiova maali. (Caridis, 2009, s. 217)

### 3.1.4 Maalit ja pinnoitteet

Maaleissa käytetään eri pohjia maalin tarttuvuuden ja sen lopullisen kalvon muodostamiseksi. Erityyppiset maalinsitojat määrittelevät pinnoitteen ominaisuudet, kuten kovuuden, elastisuuden, kiillon, veden kestävyys, kemikaali ja ympäristön suojan. Näitä ovat:

1. Bitumipohjaiset maalit. Luonnollisesti kuivava maali, joka voi sisältää asfalttia, bitumia tai hiilitervaa. Bitumia käytettäessä maalista tulee vedenkestävä ja keskinertaisesti happoa kestävä, joka auttaa emäksissä ympäristöissä ja suolaisissa vesissä. Asfalttia käyttäessä, maalista saadaan kemikaalin kestävä, mutta se voi valua muiden maalien lävitse, haalistamalla niitä. Kuivunta aika on normaalisti 8 tuntia.
2. Alkaliset maalit, eli emäksiset. Eivät yleisesti sovi vedenalaisien alueiden maalauksiin niiden taipumuksen takia pehmetä vedessä. Eri yhdisteiden yhdistelmillä sitä voidaan käyttää pohjamaalina. Maalin kuivumiseen saa varata ainakin puolitoista päivää.
3. Kloorattu kumimaali, eng. Chlorinated Rubber (CR) Paint. Luonnollisesti kuiva maali. Sisältää nimensä mukaisesti kloorattua kumia ja alkali epäherkkää muovia (Alkali-insensitive plastic). Käytetään yleisesti vedenalaisissa rungon alueilla, veden, hapon ja alkalien kestävyys takia. Vaikka maali ei kestä liuoksia tai luontaisia öljyjä, se on mekaanisesti vahva. Maali jaetaan kahteen tyyppiin: Korkeaan ja alhaiseen molekyyli tyyppiin, riippuen maalin yhdisteiden määrästä ja paksuudesta. Maali on herkkä ilmakehälle ja sillä on taipumus kellertää pitkäaikaisen altistumisen jälkeen. Maalin kuivumisaika on 6–12 tuntiin.
4. Vinyylimaalit. Kestävät hyvin emäksistä ja hapokasta ympäristöä sekä öljyjä, mutteivat liuoksia. Luokitellaan kahteen tyyppiin, kuten edellisessäkin. Riippuen vinyylin määrästä, korkeat molekyylit ovat mekaanisesti kestäviä ja kemikaaleja vastustavia, mutta ei suositella käyttäväksi ympäristössä missä kosteuden taso on 80 %, sillä se saattaa vahingoittaa

nopea haihtumisen takia. Vedenalaisissa rungton alueilla vinyyleissä käytetään tervaa, joka tuo kovuutta ja on kestävämpi sekä kuivuu nopeammin arvioidusti 6 tunnissa.

5. Epoksi maalit. Laajasti käytetty meriympäristöissä. Kemikaaleja kestävä, mekaanisesti vahva, veden kestävä, sekä kestää monia erityyppisiä liuoksia. Epoksimaalia käytetään useasti pohjamaaleina. Maalin kuivumiseen menee normaalisti päivän verran. Maalin huonona puolena on sen hapertuminen ilmastossa ja sen poistaminen huollon yhteydessä, koska maalina epoksi on todella kestävä. Kuten vinyyli, epoksia ei suositella käyttämään ympäristössä, jossa kosteus on korkea, epoksien kanssa se on 90 % rajoilla.
6. Hiili tervaiset epoksi maalit. Halvempi versio epoksi maaleihin verrattuna, vettä kestävämpi, mutta vähemmän kemikaaleja kestävä. Vedenalaisiin pintoihin laitettuna todella luotettava pinnoite. On hyvin elastinen ja vahva, tarttuu maalipintoihin ja on olosuhteita kestävä maali. Hapertuu auringossa helposti.
7. Polyuretaanimaalit. Kemikaalin kestävä ja korkea suorituskykyinen. Muuttuu ilmakehässä keltaiseksi, korjaustöissä vaikea poistaa sen kovuuden ja liuosten kestävä ominaisuuksien takia sekä tarttuu huonosti maalipintojen kanssa. Tämän vuoksi maalia käytetään vain muiden maalien kanssa korjaustöiden yhteydessä, jotta se saadaan tarttumaan. Kuivumisaika on 8 tuntia.
8. Polyuretaani-tervamaali. Kuten polyuretaanimaalit, mutta vain vedenalaisille alueille. (Caridis, 2009, s. 219–225)

### 3.1.5 Tekniikat

Riippuen kohteiden koosta, alueiden maalaamiseen käytetään vaihtelevasti pensseleitä, maalarullia ja suihkuttimia. Pensseleitä ja maalarullia käyttäen on aikaa vievää ja kallista, siksi niillä keskitytään vain pienille ja geometrisesti haastaville alueille, kuten kulmat ja hitsit. Suihkuttimella toiselta nimeltään spray maalaus, käytetään laajoille maalattaville alueille. Nopea ja halpa pensseleihin ja rulliin verrattuna. Työn laatu on tasainen, mutta toisaalta se on tarkkaa työtä, jotta saadaan oikea maalin paksuus työstettävälle pinnalle.

(Caridis, 2009, s. 225)

### 3.1.6 Kalvon paksuus

Jotta saataisiin suunnitellusti pitkäikäinen pinnoite rungolle, on tärkeää saada yhtenäinen ja oikean paksuiset pinnoitteet työstettyä. Pääsääntönä pidetään, että paksumpi kalvo pitää korroosiota loitolla paremmin kuin ohut. Siksi on tärkeää tarkistaa pinnoitteet niitä laittaessa. Lopullinen maalikalvon paksuus täytyy olla sopusuhtainen sen ympäristön vaikuttamien rasituksiin nähden.

(Samk opetusmateriaali, 2023)



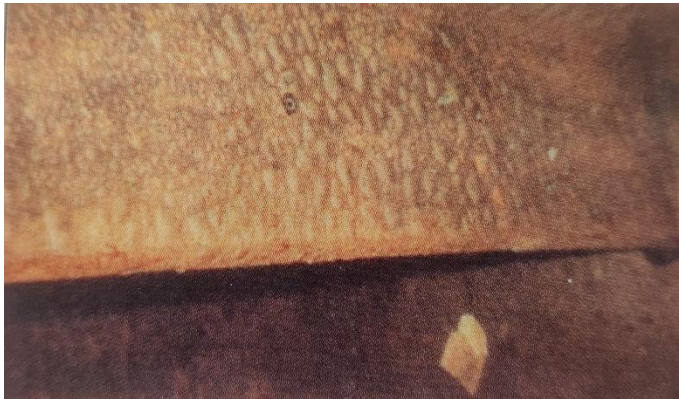
### 3.1.7 Vahingot pinnoitteissa

Pinnoitteet voivat vahingoittua monella tapaa. Luokitellaan kahteen luokkaan, ulkoisiin ja sisäsyntyisiin.

1. Ulkoiset ovat ympäristön vaikuttamat vahingot
2. Sisäiset ovat pinnoitteiden laadusta syntyneet tai työssä tulleet vahingot

Tunnusomaisia vahinkoja ovat:

1. Oranssi kuoriutuminen, eng. Cissing.
2. Kupliminen. Maaliin on sisäisesti jäänyt ilmaa.



Kuva 12. Kuplimista maalin alla. (Caridis, 2009, s. 232)

3. Notko tai juokseva, eng. Sagging/Running. Maali pikkuhiljaa valuu alas-päin, kerrostumalla tai luomalla pisaroita.



Kuva 13. Hiljalleen valunut maali. (Caridis, 2009, s. 232)

4. Pensselin jäljet.
5. Haalistuminen. Väri muuttuu maalauksen jälkeen.
6. Hidas kuivaminen. Ei ole kuivunut lasketussa ajassa.

### 7. Halkeamat.



Kuva 14. Haljennut maali pinta. (Caridis, 2009, s. 232)

8. Vuodattamat. Kasvualusta rakenne rikkoo pintamaalin.
9. Liitumaisuus. Maali ottaa pölymäisen pinnan, joka rikkoutuu helposti.
10. Rypistymä. Kalvo kutistuu ja rypistyy.



Kuva 15. Rypistynyt maali pinta. (Caridis, 2009, s. 232)

11. Ruostuminen. Maalin pintaan syntyy ruostetta.  
(Caridis, 2009, s. 232)

### 3.2 Katodinen suojaus laivan rungossa

Katodisessa suojauksessa käytetään hyödyksi galvaanista korroosiota, jonka tarkoituksena on pelkistää epäjalompi metalli itseään jalompaan metalliin. Uhrattavan ja suojeltavan metallin ollessa elektrolyttisesti kosketuksessa toisiinsa vedessä, tässä prosessissa epäjalompi metalli luovuttaa elektroneja jalommalle metallille ehkäisten sen hapettumisen, hapettumalla itse. Suojaustapa toimii vain sähköä johtavassa ympäristössä, kuten vedessä. Siksi suojausta käytetään yleisimmin laivan vedenalaisiin pintoihin yhdessä suojaavaan pinnoitteen kanssa. Näitä ovat potkurit, peräsimet, merivesikaivot, tankit, putkistot ja monet muut veden kanssa kosketuksissa olevat laivan sisäiset osat. (Caridis, 2009, s. 237; Samk opetusmateriaali, 2023)

On tärkeää ottaa huomioon, millaisissa vesissä laiva kulkee, sillä vesien suolapitoisuudet vaikuttavat sähköjohtavuuteen edistäen korroosiota. Rannikoilta jokiin suolapitoisuudet vaihtelevat 1–3 % välillä ja merillä 2–4 % välillä. Sähköjohtavuus voi vähentyä laivan ollessa paikallaan satamassa.

(Caridis, 2009, s. 237)

Katodista suojausta voidaan soveltaa laivan rungossa saostamalla ohut kerros epäjalompaa metallia esimerkiksi sinkkiä teräksisen tai rautaisen pinnan päälle, joka on jalompaa metallia sinkkiin verrattuna. Tämä ilmiö tulee myös esille sovellettaessa pohjamaaleja laivan teräksiseen runkoon, jonka pigmentteinä käytetään melkein samoja metalleja, jotka toimivat aktiivisena suojauskasena, syövyttäen pigmentit teräksen puolesta. Pinnoittamisessa epäjalompina metalleina voidaan käyttää sinkkiä, alumiinia, magnesiumia tai kadmiumia. Kadmiumia käyttöä on vähennetty tai kielletty kokonaan sen myrkyllisyyden takia. Osa muista metalleista ovat kalliita ja mahdollisesti hankalia käsitellä, sekä vaikuttavat negatiivisesti haluttuun tulokseen, jos metallin oma korrosionopeus on suurempi tai jalompi suojeltavaan metalliin verrattuna.

(Samk opetusmateriaali, 2023)

Toinen tapa on asentaa uhri anodeja, pieniä eri muotoisia palikoita monesti valmistettu sinkistä, rungon päälle tasavälein vedenalaisille alueille osittain tai kokonaan. Osittaisessa menetelmässä anodit asennetaan laivan peräosaan, sillä se kärsii eniten korroosiosta. Syynä tähän on virtausten ja ilmamäärän jälkivaikutukset, jotka aiheuttavat laivan ulokkeet kuten siivet, peräsimet ja potkurit. Koko rungon suojauksen käyttäminen on tärkeää kuluneiden pintojen vuoksi. Laivan rungon paksuus, metallit, käyttö ja suojaavien pinnoitteiden laatu määrittelevät anodien määrät ja niiden paksuuden. Käytön mukaan on määriteltävä, että anodit kestävät 2 vuodesta 4 vuoteen. Anodit tulee asentaa yhdenmukaisesti riittävän suojauksen saamiseksi. (Caridis, 2009, s. 239–240)

Esimerkkejä tästä ovat:

1. 25 % käytettävistä anodiin määrät täytyy sijoittaa laivan peräosaan. Loput anodit sijoitetaan keulan ja keskilaivan alueille.
  2. Pilssin ja kölin alueille anodit sijoitetaan vuoroin ylemmille ja alemmille sivuille.
  3. Keskilaivan alueille anodit asetellaan limittäin varoen ylittämästä 6–8 metrin väliä toisiinsa.
  4. Keulaan anodit tulee asentaa virtausten suuntaisesti ja varoa asentamasta minkään tielle, joka mahdollisesti voisi irrottaa tai vahingoittaa anodeja, kuten ankkurit.
  5. Anodeja asentaessa potkurin läheisyyteen, täytyy ottaa huomioon potkurin koko, ettei sijoita anodeja liian lähelle potkuria.
- (Caridis, 2009, s. 240)

Yhdessä anodiin kanssa, voidaan kytkeä runkoon heikko negatiivinen tasajännite ulkoisella virtalähteellä, eng. Impressed Current Cathodic Protection (ICCP). Tällä menetelmällä voidaan vähentää korroosion nopeutta metallissa, kun suojeltavien laivan rungon alueet ja anodiin määrät kasvat. Ulkoisella virtalähteen avulla voidaan pitää anodiin määrät sopivina ja kustannukset alhaisena, joissakin tapauksissa anodeja ei tarvita ollenkaan. Sopivana rajana järjestelmän käyttämiselle pidetään 100 metriä pitkiä aluksia.

(Caridis, 2009, s. 242)



Kuva 16. Uhri anodeja laivan rungossa. (My Electrical Engineering, 2013)

### 3.3 Kustannukset

Korroosionesto on investointi, jonka tavoitteena on olla taloudellisesti mahdollisemman kestävä. Työn laatu ja kustannukset vaihtelevat sen mukaan, missä ja miten korroosionesto työ tehdään. Kokonaiskustannuksia on joskus vaikea arvioida, koska työtä voi suorittaa eri yritykset ja henkilöt, jotka laskuttavat ja tekevät työt eri lailla. Korroosionestotyön kustannukset muodostuvat:

1. Pinnan esikäsitteystä: Työ, laitteet, materiaali, menetelmät.
2. Pinnoittaminen: Työ, välineet, maalit ja ohenteet.
3. Katodinen suojaus anodeilla tai ulkoisella virtalähteellä: Työ, materiaali valinta ja ylläpito.
4. Vakuutukset ja takuu.
5. Työnjohto, hallinto ja valvonta.

Joihin mahdollisesti voi myös kuulua:

6. Vaikeat työolosuhteet ja työn keskeytykset: Sijainti, huono sää, tuotannonseisaus.
7. Väärin tai huonosti tehty työ: Joka mahdollisesti vaatii uudelleen pinnoittamisen.

(Korroosiokäsikirja, 2004, s. 706–708)

## 4 JOHTOPÄÄTÖS JA POHDINTA

Opinnäytetyö osoittaa, että laivojen teräsrakenteiden ruostesuojaus on välttämätöntä meriympäristössä, jossa korroosion riski on korkea. Korroosionesto on avainasemassa, kun ajatellaan sen suhdetta aluksen elinkaareen. Säännölliset tarkastukset, huollot ja korjaukset ovat avainasemassa teräsrakenteiden kunnon ylläpitämisessä. Ennaltaehkäisy on taloudellisesti järkevämpää kuin korjaaminen, joten lopullinen päätös ruosteen ehkäisymenetelmiä valittaessa, tulee ottaa huomioon laivan ominaisuudet ja käyttöolosuhteet. Useiden suojausmenetelmien yhdistäminen on paras tapa ruosteen ehkäisyyn, kuten pinnoitukset ja niiden seosaineet, katodiset suojaukset sekä säännölliset maa-laustoimenpiteet muodostavat kokonaisvaltaisen suojauksen.

Opinnäytetyön tuloksena saavutettiin katsaus aluksien ruostumiseen johtavista tekijöistä ja ennaltaehkäisemisestä. Asetetut tavoitteet saavutettiin ja ruosteenestoon liittyviä vaihtoehtoja esitettiin osittain monipuolisestikin. Laivoissa ruosteen ja korroosion luonne on pysynyt muuttumattomana, mutta korroosion ehkäisemiseen sovelletut toimenpiteet ovat vuosien aikana muuttuneet parempaan suuntaan. Tietyt aineet on kielletty ympäristöhaittojen vuoksi, samanaikaisesti etsitään ja löydetään jatkuvasti uusia edullisempia tapoja torjua korroosiota. Nykyään tehdään paljon työtä laivojen käyttöiän pidentämiseksi, toisinaan se voi tulla kalliiksikin, jos säännöllisiä huoltotoimenpiteitä laiminlyödään.

Opinnäytetyö kehitti ammatillista osaamistani ja sain paljon aiheeseen liittyvää uutta tietoa. Työn haasteena oli hankkia aiheeseen liittyvää tietoa luotettavista lähteistä ja vieläpä suomeksi, mutta suurimpana haasteena oli löytää oikeat termit aiheeseen liittyen, mutta olen tyytyväinen, miten työ lopulta valmistui.

## LÄHTEET

Kunnossapitoyhdistys ry. 2004. 2. painos. Korroosiokäsikirja. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 12. Rajamäki. KP-Media Oy.

Piero Caridis. 2009. 2nd edition. Inspection, repair and maintenance of ship structures. Witherby Seamanship International Ltd.

Satakunnan ammattikorkeakoulu. 2023. Viitattu 28.11.2023

Marine insight. 13.5.2021. Hull Corrosion and Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) On Ships – Construction and Working  
<https://www.marineinsight.com/tech/hull-corrosion-and-impressed-current-cathodic-protection-iccp-on-ships-construction-and-working/>  
<https://www.marineinsight.com/wp-content/uploads/2020/05/ship-corrosion.jpg>

Steel Fabrication Services. 21.9.2021. How To Prevent Steel Corrosion.  
<https://steelfabservices.com.au/steel-corrosion/>

US CORROSION SERVICES. 2023. Accelerated Stress Corrosion Cracking Testing.  
<https://uscorrosion.com/index.php/accelerated-stress-corrosion-cracking-testing/>

Softpedia. 16.8.2010. Why Some Barnacles Avoid Ships.  
<https://news.softpedia.com/news/Why-Some-Barnacles-Avoid-Ships-152363.shtml>

My Electrical Engineering. 25.4.2013. Introduction to Cathodic Protection.  
<https://myelectrical.com/notes/entryid/219/introduction-to-cathodic-protection>