



## MUSEOVIRASTO

Rami Kokko  
Apulaistutkija  
Museoviraston meriarkeologian yksikkö  
2005

### IN SITU –KONSERVOINTI KRONPRINS GUSTAV ADOLFIN HYLYLLÄ 2001-2005

#### Johdanto

Arkeologisten metalliesineiden *in situ* -korroosiotutkimusta ja -konservointia on harjoitettu 1970-luvulta lähtien mm. Australian ja Iso-Britannian hylkykohteilla. Australialaisen tohtori Ian MacLeodin johtaman tutkimusryhmän (Western Australian Maritime Museum) kehittämien tutkimusmetodien avulla merivedessä syöpyvien esineiden kuntoa on pystytty tutkimaan ja seuraamaan mm. kohteella suoritettavien sähkökemiallisten mittausten avulla. Mittaamalla esimerkiksi hylkykohteella makaavan valurautatykin tai takorauta-ankkurin korroosipotentialin ( $E_{corr}$ ) ja metallipinnan pH:n, esineen korroosiotyyppi ja -nopeus voidaan selvittää. Kyseisiä mittaustuloksia voidaan hyödyntää suunniteltaessa esineen nosto- ja konservointitoimenpiteitä sillä ne kertovat onko esine vaarassa tuhoutua ns. aktiivisen korroosion seurauksena vai onko korroosio kenties hidasta, ns. passiivista, ja näin ollen vähemmän vahingollista esineiden pitkäaikaista säilymistä ajatellen. Mikäli mittaustulokset viittaavat esineen nopeaan syöymiseen voidaan se suojata kohteella ns. katodisesti uhrautuvia anodeja hyödyntäen, jolloin metallin elektrolyyttinen korroosio saadaan pysäytetyksi tai hidastetuksi. Yllämainittuja vedenalaisia mittaus- ja suojausmenetelmiä onkin sovellettu ensimmäistä kertaa Itämeren alueella *Kronprins Gustav Adolfin* hyllyllä Helsingin edustalla vuodesta 2001 lähtien.

#### Tutkimustaustaa

Vuonna 1788 Helsingin ulkosaaristoon 20 metrin syvyyteen uponnut ruotsalainen sotalaiva *Kronprins Gustav Adolf* on ollut Suomen merimuseon meriarkeologisena tutkimuskohteena vuodesta 1997 lähtien. Hyllyllä on sovellettu monia meriarkeologisia tutkimusmenetelmiä, kuten valo- ja videokuvausta sekä suoramittausmenetelmää (Direct Survey Method) kohteella olevien esineiden ja hylkyosien dokumentoimiseksi, kartoittamiseksi ja niiden sijaintien määrittämiseksi. Laivan puurakenteista on myös otettu näytteitä puulajitunnistusta ja dendrokronologista ikämäärittystä varten. Lisäksi laivan noin 70:stä valurautatykistä kolme on nostettu konservoitavaksi vuosina 1998 ja 2000 vetypelkistystä ja elektrolyyttistä käsittelyä soveltaen. Hyllyllä tällä hetkellä käynnissä oleva *in situ* -korroosiotutkimus jatkaakin nyt hyllyllä aikaisempina vuosina suoritettujen kenttätyöprojektien sarjaa.

Kesällä 2000 Suomen merimuseo avasi *Kronprins Gustav Adolfin* hyllyllä Pohjoismaiden ensimmäisen vedenalaisen hylkypuiston, jossa sukeltajat voivat tutustua Muinaismuistolain suojaamaan hylkyyn, sen eri osiin ja historiaan. Hylkypuistosta onkin muodostunut kesäisin varsin suosittu sukelluskohde urheilusukeltajien keskuudessa.

Valitettavasti lisääntynyt sukellustoiminta on myös rasittanut mm. monia hyllyllä olevia valurautatykkeitä, mikä ilmenee vuosisatojen saatossa tykkien päälle muodostuneen raudan korroosiotuotteista, merenpohjan sedimenteistä ja biologisista organismeista koostuvan sementinomaisen krustikerroksen kulumisena ja osittaisena irtoamisena. Krustin irtoaminen tykin pinnalta kiihdyttää valuraudan syöpymistä (korroosiota), koska meriveteen liuennut happi pääsee syövyttämään paljastunutta metallin pintaa kiivaammin.

Koska hylkypuiston periaatteena on sallia sukeltajalle vapaa liikkuminen hyllyllä, turva- ja varomääräyksiä noudattaen, ei sukellusten aikana tapahtuvaa tahatonta ja/tai tahallista hylkyyn kajoamista voida estää. Tämän arvokkaan hylkykokonaisuuden säilyminen tuleville sukupolville vaatiikin näin ollen sekä konkreettisia suojelutoimenpiteitä että urheilusukeltajien valistamista meriarkeologisen kulttuuriperinnön vaalimisessa myös jatkossa.

### ***In situ* -korroosiotutkimukset Kronprins Gustav Adolfin hyllyllä**

Yllämainittuihin seikkoihin vedoten hyllyllä aloitettiin syksyllä 2001 valurautatykkien kuntokartoitus yhteistyössä Suomen merimuseon ja Evtek Muotoiluinstituutin kanssa. Vuoden 2002 tutkimuksiin Suomen Kulttuurirahasto myönsi allekirjoittaneelle tutkimusapurahan. Tutkimusten päämääränä on ensinnäkin ollut selvittää hyllyllä olevien valurautatykkien kunto sähkökemiallisia mittauksia soveltaen ja sen jälkeen testata katodista suojausta alkuvaiheessa ainakin yhden tykin suojaamiseksi uhrautuvalla anodilla.

Hyllyllä olevista lukuisista tykeistä valittiin yhdeksän visuaalisin perustein erikuntoista tykkiä dokumentointivaiheeseen, jonka aikana tykit video- ja/tai valokuvattiin. Näistä hyllyn eri puolilta valikoidusta tykeistä näkyikin selvästi, että tykkien päälle yli kahden sadan vuoden aikana muodostunut krustikerros oli usean tykin kohdalla ainakin osittain kulunut tai vaurioitunut mitä todennäköisimmin juuri lisääntyneen sukellustoiminnan seurauksena. Osa merkatun sukellusreitien varrella makaavista tykeistä onkin todettu olevan ulkoisesti selvästi huonommassa kunnossa kuin esimerkiksi sukellusreitien ulkopuolella olevien tykkien, joiden krusti on useimmissa tapauksissa säilynyt päällisin puolin vahingoittumattomana.

Kesällä 2002 suoritettujen sukellusten aikana yhdeksästä dokumentoidusta tykistä valittiin neljä tykkiä varsinaiseen sähkökemiallisiin mittauksiin suoritettavaan korroosiotutkimukseen. Allekirjoittaneen mielestä neljän tykin muodostama näyteryhmä oli ensinnäkin tarpeeksi laaja antamaan yleiskäsityksen hyllyllä olevien tykkien korroosio-tilasta, ja toiseksi, neljän tykin *in situ* -mittauksiin vaadittavat sukellukset ja niihin liittyvät kalusto- ja henkilöstöjärjestelyt oli mahdollista toteuttaa käytettävissä olevien resurssien puitteissa.

Näistä neljästä tykistä kaksi oli krustin eheyteen viitaten päällisin puolin ehjää ja toiset kaksi tykkiä pahemmin vaurioitunutta. *In situ* -mittauksilla pyrittiin näin ollen selvittämään olivatko ulkoisesti huonokuntoisimmat tykit myös sähkökemiallisessa mielessä ne huonokuntoisimmat, ja päinvastoin. Korroosiopotentiaali- ja pH-mittauksien avulla pyrittiin siten saamaan tieteellinen vahvistus tykkien senhetkisestä korroosio-tilasta ja kunnosta.

Kesällä 2002 neljästä tykistä otetut korroosiopotentiaali- ja metallipinnan pH:n mittaukset suoritettiin käytännössä juuri tohtori MacLeodin tutkimusryhmän kehittämiä metodeja soveltaen. Mittaukset alustettiin poraamalla reikä paineilmaporalla (Kuva 1)

krustikerroksen läpi tykin metallipintaan asti. Porauksessa (Kuva 2) käytetään betoniporanterää, joka läpäisee krustikerroksen, mutta ei itse metallia. Tästä reiästä otetaan heti porauksen jälkeen pH-mittaus, joka kertoo huokoisen krustin ja tykin metallipinnan väliin diffusioituneen meriveden pH:n. Mitattu pH-arvo on yleensä alempi (happamampi) kuin ympäröivän meriveden, mikä kertoo ruostuvan metallin pinnalla tapahtuvista sähkökemiallisista korroosioreaktioista. Mitä alhaisempi pH-lukema on, sitä syövyttävämmät ovat olosuhteet krustikerroksen ja metallipinnan välissä. Koska porausreiästä hitaasti ulos tihkuva happamampi vesi nousee melko nopeasti ympäröivän emäksisemmän meriveden tasolle (pH n. 7.5), suoritetaan mittaus välittömästi porauksen jälkeen asettamalla halkaisijaltaan porausreiän kokoinen (12 mm) tasakärkinen pH-elektrodi reiän sisään (Kuvat 3-4). Elektrodi "tukkii" reiän mittauksen ajaksi joten happamampi vesi ei pääse sekoittumaan ympäröivän meriveden kanssa niin nopeasti. Näin saadaan mitattua mahdollisimman todenmukainen krustin ja metallipinnan välinen pH.

Korroosipotentiaalimittaus otetaan samasta reiästä asettamalla platinasta valmistettu puikko (metallielektrodi) kiinni sähköä johtavaan metallipintaan (Kuva 5). Platinaa suositetaan metallielektrodimateriaalina korroosipotentiaalimittauksissa, koska se on alkuaineista kaikkein jaloin metalli eikä näin ollen ruostu merivedessä. Mitattu arvo kuvastaa näin ollen ruostuvan esineen eikä itse metallielektrodin korroosipotentiaalia ( $E_{corr}$ ). Itse mittaus suoritetaan asettamalla vertailuelektrodi (Ag-AgCl) metallielektrodin juurelle reiän kohdalle, jotta mahdollisimman tarkka lukema saadaan mitattua. Vertailuelektrodi mittaa ruostuvan raudan ja vertailuelektrodin välisen potentiaalieron voltteina. Mittaustulos luetaan yleismittarilta, joka on suljettu läpinäkyvään ja vesitiiviiseen akryyliputkikoteloon (Kuva 6) samoin kuin pH-mittari. Alan kirjallisuudessa esitetyt korroosipotentiaalilukemat esitetään yleensä kuitenkin selvyuden vuoksi ns. normaalivetyelektrodiin (NVE) verrattuna.

Koska jokaisella metallilla on merivedessä oma sähköpotentiaalinsa, korroosipotentiaalimittauksilla voidaan ensinnäkin selvittää melko tarkasti mistä metallista esine on valmistettu ja se missä korroosiotilassa metalliesine mittaushetkellä on. Merivedessä ruostuvan raudan korroosipotentiaaliarvot ovat tohtori MacLeodin mukaan keskimäärin  $-0.370 \pm 0.011$  voltia (normaaliin vetyelektrodiin verrattuna) pH:n keskiarvon ollessa 7.31. Kun nämä arvot sijoitetaan ns. Pourbaix-diagrammiin (Kuva 7), josta käy ilmi metallin korroosiotila tietyntyyppisessä liuoksessa, voidaan todeta, että rauta syöpyy aktiivisesti vedessä. Käytännössä diagrammit joudutaan luomaan kuitenkin tarkemmin metallin ja ympäröivän liuoksen kemiallisia ominaisuuksia vastaaviksi, jotta saadaan mahdollisimman tarkka termodynaaminen ennuste metallin käyttäytymiselle ko. liuoksessa.

*Kronprins Gustav Adolfin* neljästä tykistä otetut korroosipotentiaalinarvot ovat keskiarvoltaan  $-0.296$  voltia ja pH-arvot keskiarvoltaan 7.26. Nämä vähemmän negatiiviset (positiivisemmat) korroosipotentiaalinarvot kuvastavat rautaa syövyttävän anodisen hapettumisreaktion olevan kiivaampaa kuin korroosiokennon katodisessa osassa tapahtuva meriveteen liunneen hapen pelkistyminen. Korroosipotentiaali ( $E_{corr}$ ) kuvastaa juuri tätä korroosiokennon anodisen ja katodisen osan välistä jännitettä ja siksi mittaustulokset vaihtelevat korroosiokennossa tapahtuvien hapettumis- ja pelkistymisreaktioiden välisen suhteen mukaan.

### **Valurautatykkien *in situ* -konservointi**

Koska *Kronprins Gustav Adolfilta* otetut korroosipotentiaalimittaukset ovat vielä vähemmän negatiivisia kuin esim. tohtori MacLeodin julkaisemat keskiarvot, vaikuttaa siltä että myös *Kronprins Gustav Adolfin* hyllyllä makaavat tykit ruostuvat tällä hetkellä aktiivisesti. Tykeissä onkin havaittavissa mm. ruostealumia ja krustin alta paljastunut metalli on ruosteenpunaisen oksidikerroksen peittämää, vaikkakin yksittäisiä eroja on tykistä toiseen. Ruostumisesta johtuen neljästä hyllyllä mitatusta tykistä kaikkein alhaisimman pinta-pH:n (6.97) ja vähiten negatiivisen korroosipotentiaalilin (-0.233 voltia normaaliin vetyelektrodiin verrattuna) omaava tykki (AT6) suojattiin katodisesti kiinnittämällä siihen sinkistä valmistettu uhrautuva anodi heinäkuussa 2003 (Kuva 8).

Katodisessa suojauksessa metalliesineen korroosipotentiaali ( $E_{corr}$ ) pyritään laskemaan tasolle, joka on suotuisampi raudan säilymiselle merivedessä. Samalla krustin alla olevan metallipinnan pH nousee estäen tai hidastaen mm. raudalle vahingollisten kloridi-ionien toimintaa ja korrosio hidastuu, muuttuu passiivisemmaksi tai pysähtyy kokonaan. Tämän saa aikaan valurautatykkiin eristetyn kuparikaapelin ja teräskiinnittimen avulla kiinnitetty sinkkianodiharkko, joka suojaa itseään jalomman valurautatykin korroosiolta. Merivedessä näistä kahdesta toisiinsa liitetystä metallista syntyy sähköpari ja jalommasta metallista eli raudasta muodostuu tämän elektrolyyttisen kennon katodi eli negatiivinen napa. Sinkistä tulee anodi eli positiivinen napa. Negatiivisemmän sähköpotentiaalilin (n. -0.700 voltia normaaliin vetyelektrodiin verrattuna) omaava ja merivedessä helpommin reagoiva sinkki tuottaa sähkövirtaa, joka kulkeutuu kuparikaapelin ja teräskiinnittimen kautta valurautatykkiin alentaen sen korroosipotentiaalia ( $E_{corr}$ ). Tykin polarisaatio saa aikaan käänteisiä ionivaihdosreaktioita tykin pinnalla, joten esim. juuri korroosiota kiihdyttävät kloridi-ionit suodattuvat ulos krustikerroksen läpi ympäröivään meriveteen samalla kun anodi syöpyy galvaanisesti.

Kun sinkkianodin massasta on syöpynyt n.70% pois on se vaihdettava uuteen, koska se ei enää pysty tuottamaan riittävästi virtaa katodin suojaamiseksi. Aika ajoin voi olla myös tarpeen kiillottaa anodi esim. teräsharjalla, koska sen pinnalle muodostuva oksidikerros voi heikentää anodin tehoa (Kuva 9). Alan kirjallisuudessa on esitetty arvoja, joiden mukaan raudan potentiaali on laskettava vähintään -0.600 volttiin (normaaliin vetyelektrodiin verrattuna), jotta se on katodisesti täysin suojattu korroosiolta hapekkaassa merivedessä. Kuitenkin jo vähäinen potentiaalilasku voi hidastaa raudan korroosiota merkittävästi.

### **Tutkimustulokset**

*Kronprins Gustav Adolfin* hyllyllä suoritettavassa korroosiotutkimuksessa on pyritty seuraamaan miten tehokkaasti ja kuinka pitkään uhrautuvalla anodilla voidaan yksittäistä valurautatykkiä suojata. Alan kirjallisuudessa esitettyihin arvioihin perustuen 20 kilon sinkkianodi pystyisi tuottamaan sähkövirtaa arviolta 1-3 vuotta tykin korroosion hidastamiseksi. Heinäkuun 2003 jälkeen katodisesti suojattua tykkiä onkin videokuvattu ja siitä on otettu aika ajoin tarkastusmittauksia, joilla on pyritty seuraamaan mahdollisia ulkoisia muutoksia tykin ja anodin pinnalla, sekä sähkökemiallisia muutoksia esineen korroosipotentiaalissa ( $E_{corr}$ ) ja pinta-pH:ssa. Tykin säännöllinen video- ja tarkastusmittausseuranta onkin anodin kiinnittämisen jälkeen projektin pitkäaikaisin ja tärkein vaihe, jonka pohjalta voidaan päättää tullaanko kyseistä tekniikkaa soveltamaan useampien tykkien suojaamiseksi *Kronprins Gustav Adolfin* hyllyllä ja/tai mahdollisesti muilla meriarkeologisilla kohteilla Suomen vesialueilla.

Lokakuuhun 2005 mennessä *Kronprins Gustav Adolfin* hylyn katodisesti suojatusta tykistä on otettu yhteensä neljä tarkastusmittausta. Ensimmäinen mittausta otettiin yksi viikko, toinen kolme kuukautta, kolmas 15 kuukautta ja viimeisin 27 kuukautta tykin katodisen suojauksen aloittamisen jälkeen. Ensimmäisen tarkastusmittauksen perusteella voitiin päätellä että anodi ja katodi olivat muodostaneet vedessä sähköparin, sillä korroosipotentiaali oli laskenut viikon aikana n. 100 mV negatiivisempaan suuntaan. Tämä tulos oli rohkaiseva sillä tykin korroosipotentiaali oli nyt saatu laskettua virransyötön ansiosta suotuisempaan suuntaan tykin korroosiotilaa ajatellen. Myös mitattu pH-lukema (7.20) kertoi tykin korroosipinnalla tapahtuneista sähkökemiallisista muutoksista katodisen suojauksen aloittamisen jälkeen. Mitattu korroosipotentiaali ei kuitenkaan ollut riittävän alhainen raudan täydellisen korroosiosuojan takaamiseksi. Nyt mitattu lukema (-0,345 V) oli siis vielä melko kaukana em. -0,600 voltin tavoitearvosta, vaikkakin suunta oli oikea.

Seuraava tarkastusmittaus otettiin lokakuussa 2003, noin 3 kuukautta suojauksen aloittamisen jälkeen. Mitattu korroosipotentiaali (-0.333 V) oli jo noussut hieman aikaisempaa positiivisemmaksi, joten voitiin olettaa että suojaustehokkuus oli saavuttanut maksimaalisen tasonsa jo aikaisemmin. Koska anodin pinta oli alkanut syöpymään ja sen pinnalle oli muodostunut sinkkioksidikerrostuma, voitiin olettaa että tästä eteenpäin anodin virrantuotto tulisi jatkossakin laskemaan anodin syöpmisen ja sen seurauksena anodin päälle muodostuvan passivoivan oksidikerroksen johdosta. Aleneva virrantuotto tulisi siis oletettavasti näkymään myös seuraavassa tarkastusmittauksessa entistä positiivisempaa korroosipotentiaalituloksena. Tällä tarkastuskerralla pH-anturin huomattiin rikkoontuneen, joten pH-lukemaa ei enää saatu mitattua asianmukaisesti.

Marraskuussa 2004 suoritettu tarkastusmittaus antoi korroosipotentiaalilukemaksi -0,318 V, joka vahvisti aikaisemman oletuksen korroosipotentiaalinosun suhteen. Anodi puhdistettiin mittauksen jälkeen harjaamalla sen pinnalle muodostunut oksidikerros pois teräsharjalla (Kuva 10). Tällä tavoin anodi saatiin taas "aktivoitua", koska sähkökemiallista ionivaihdosta rajoittava oksidikerros poistettiin. Puhdistettuna sinkkianodi pystyisi taas tuottamaan paremmin sähkövirtaa tykin suojaamiseksi, ainakin hetkellisesti kunnes uusi oksidikerros taas heikentäisi sen tehoa.

Viimeisin tarkastusmittaus katodisesti suojatusta tykistä otettiin lokakuussa 2005, 27 kuukautta katodisen suojauksen aloittamisen jälkeen. Korroosipotentiaali oli tuolloin noussut taas positiivisemmaksi (-0,309 V) edelliseen mittaukseen verrattuna, ja näin ollen anodin virrantuottotehon katsottiin taas heikentyneen. Anodin pintaan kerrostunut sinkkioksidikerros harjattiin jälleen pois virrantuottotehon lisäämiseksi.

Anodin syöpmisestä ja virrantuoton heikkenemisestä johtuen tällä hetkellä käytössä oleva anodi tullaan vaihtamaan uuteen, mahdollisesti vielä kookkaampaan ja siten myös tehokkaampaan anodiin vuoden 2006 puolella. Suojatun tykin korroosipotentiaali pyritään siten laskemaan jatkossa vielä negatiivisempaan suuntaan, jotta suojaus saadaan tehokkaammaksi ja korrosio hidastetuksi entisestään. Lisäksi vertailemalla suojatusta tykistä tähän mennessä kerättyä videomateriaalia voidaan suojauksen aikana tykin pinnalla mahdollisesti tapahtuneista visuaalisista muutoksista tehdä selvitys, jotka voivat jatkossa olla apuna tykin korroosioprosessien tunnistamisessa.

Pvm	Tykki	Syvyys	°C	pH	Ecorr (NVE)
26.8.2002	AT6	18,6	11	6,97	-0,233
31.7.2003	AT6	18,6	13	7,20	-0,345
20.10.2003	AT6	18,6	8	EI MITATTU	-0,333
8.11.2004	AT6	18,6	EI	EI MITATTU	-0,318
7.10.2005	AT6	18,6	EI	EI MITATTU	-0,309

Taulukko 1. *In-situ* mittaustulokset tykistä AT6 (tummennettuna mittaustulokset katodisen suojauksen aikana).

### Yhteenveto

*In situ* -mittauksista saadulla tiedolla on voitu tieteellisesti todistaa metallirunkoisten hylkyjen ja arkeologisten metalliesineiden olevan vaarassa tuhoutua merivedessä korroosion vaikutuksesta. Näihin mittaustuloksiin perustuen on mm. monilla Australian rannikolla olevilla hylkyillä pystytty soveltamaan suojelutoimenpiteitä, jotka edesauttavat kulttuurihistoriallisesti arvokkaiden hylkykohteiden pitkäaikaista säilymistä. Historiallisesti ja arkeologisesti arvokkaita rauta- ja teräsrunkoisia hylkyjä ja pienempiä metalliesineitä onkin pystytty suojelemaan näiden korroosiotutkimusten perusteella juuri katodisesti uhrautuvia anodeja hyödyntäen.

Tämän tyyppisten tutkimusten aikana on myös saatu uutta tietoa vedenalaisessa ympäristössä vallitsevien olosuhteiden vaikutuksesta korroosioprosesseihin. On myös selvää, että eri kohteilla vallitsevat erityyppiset ja vaihtelevat olosuhteet, sekä esineiden erilaiset metallografiset koostumukset ja ominaisuudet vaikuttavat niiden syöpmisprosesseihin. Mittaustulosten analysoinnissa onkin syytä vielä ottaa huomioon itse esinetyyppi ja sen ympäristö, ja se miten eri ympäristötekijät vaikuttavat esineen korroosioon ja kuntoon. Tämän tyyppisen tutkimuksen suurimpana etuna on kuitenkin se, että mikäli tulokset viittaavat esineen tai hyllyn olevan tuhoutumisvaarassa, voidaan tarvittaviin konservointitoimenpiteisiin ryhtyä jo veden alla. Näin ollen kalliisiin nosto- operaatioihin ja laboratoriopohjaisiin konservointikäsitteilyihin ei välttämättä aina tarvitse turvautua ensisijaisesti.

*Kronprins Gustav Adolfin* hyllyllä suoritettua korroosiotutkimusta voidaankin pitää jo tässä vaiheessa onnistuneena "kokeiluna" vaihtoehtoisen konservointimenetelmän soveltamiseksi käytännössä. Ensinnäkin, projektin aikana on pystytty luomaan tarvittava tekninen välineistö, jonka avulla *in situ* -mittauksia voidaan suorittaa vedenalaisilla kohteilla. Vaikka välineistöä ja metodiikkaa voidaankin vielä kehittää tehokkaammiksi, on perustyö tämän tutkimusmenetelmän käyttöönottoon jo tehty. Toiseksi, itse mittaustulokset ovat antaneet arvokasta tutkimustulosta rautaesineiden korroosiokäyttäytymiseen liittyen ja siihen miten tehokkaasti uhrautuvilla anodeilla voidaan rautaesineen korroosiota hidastaa vedenalaisella kohteella. Mikäli tutkimusta halutaan jatkossa kehittää ja laajentaa, voidaan tätä sovellusta käyttää myös muilla Suomen vesialueilla olevilla hylkykohteilla. Jatkossa on lisäksi mielenkiintoista tehdä vertailevaa korroosiotutkimusta esimerkiksi Australian hylkykohteiden ja nyt tutkitun *Kronprins Gustav Adolfin* hyllyn välillä. Tulevaisuudessa voidaan jopa luoda korroosiomalleja ja säilyvyysennusteita eri merialueiden meriarkeologisille kohteille ja esineille.

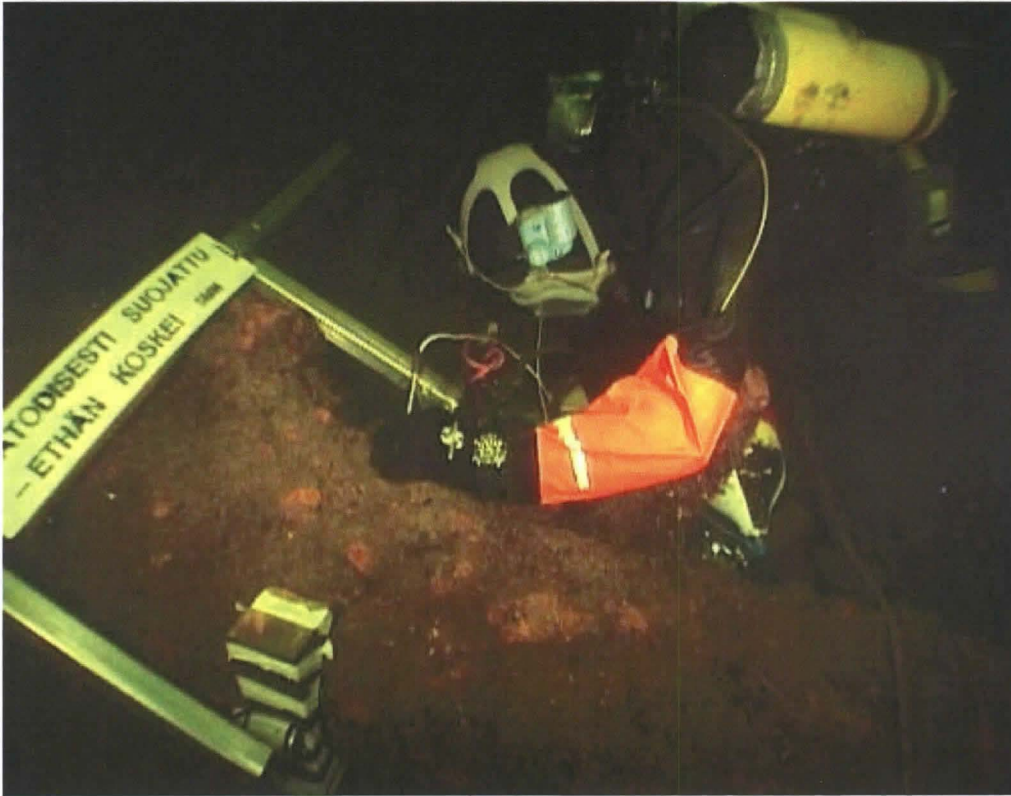
## Kuvaluettelo



Kuva 1. Paineilmapora ja paineilmasäiliö (Kuva: Rami Kokko, Museovirasto).



Kuva 2. Poraus paineilmaporalla tykin krustikerroksen läpi (Kuva: Pekka Paanasalo, Museovirasto).



Kuvat 3-4. Tykin krustikerroksen ja metallipinnan välisen pH:n mittaus tasakärkisellä pH-elektrodilla (Kuvat: Pekka Paanasalo, Museovirasto).



Kuva 4.

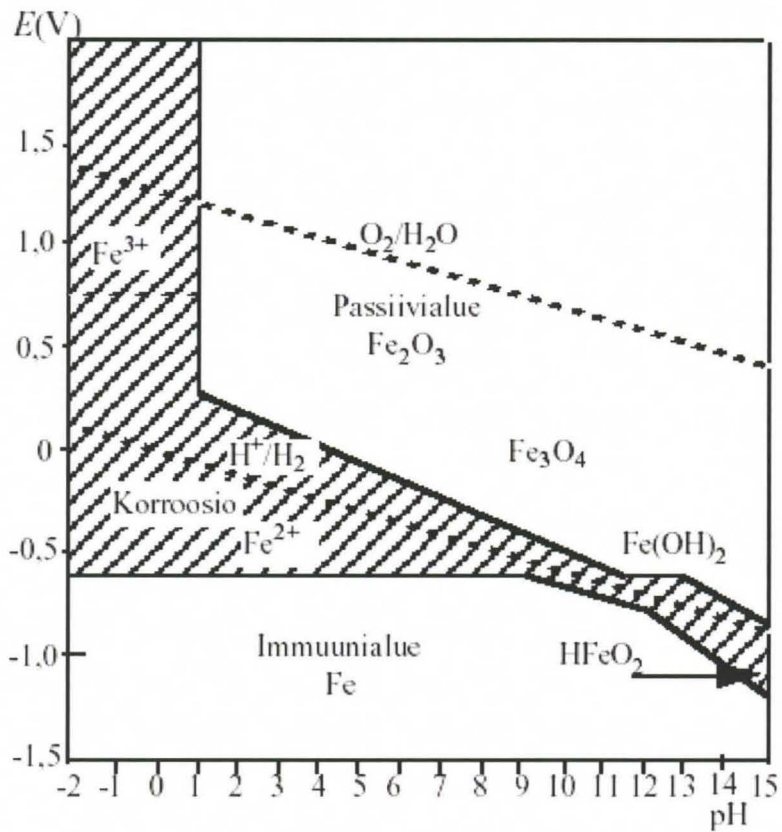




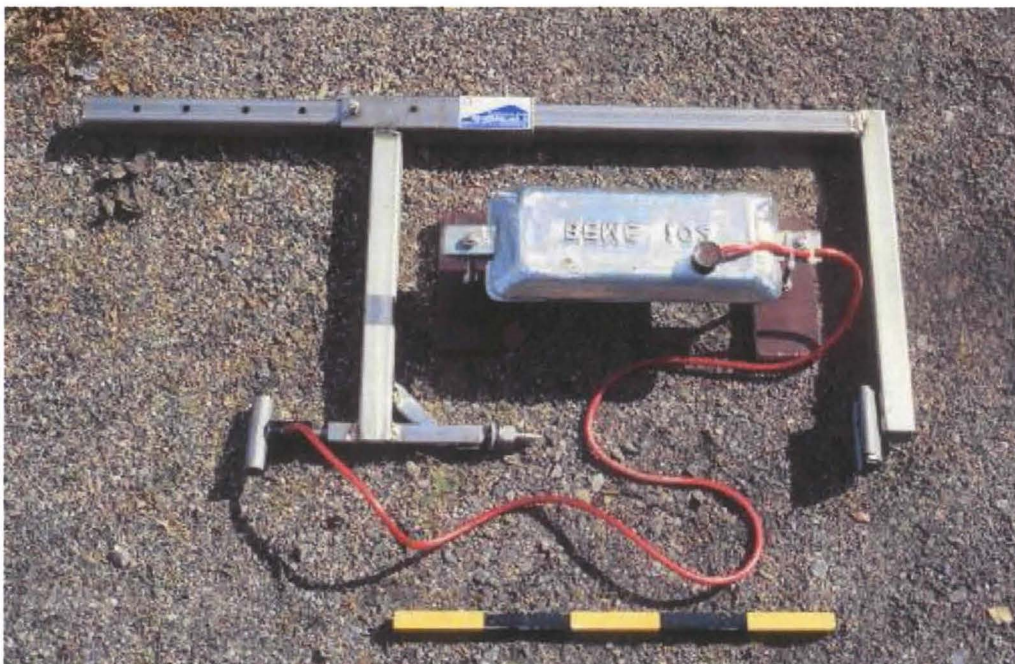
Kuva 5. Platinaelektrodin asettaminen tykkiin porattuun reikään korroosipotentiaalin mittaamiseksi (Kuva: Pekka Paanasalo, Museovirasto).



Kuva 6. Vesitiiviiseen akryyliputkikoteloon suljettu pH-mittari (vasemmalla) ja yleismittari, sekä pH-, platina-, ja vertailuelektrodit (Kuva: Rami Kokko, Museovirasto).



Kuva 7. Raudan yksinkertaistettu Pourbaix-diagrammi vesiliuoksessa. (T. Mäntylä, 1984).



Kuva 8. Anodi ja teräskiinnitin (Kuva: Rami Kokko, Museovirasto).



Kuva 9. Hapettuneen sinkkianodin "uudelleenaktivoiminen" harjaamalla oksidikerros pois anodin pinnalta (Kuva Pekka Paanasalo, Museovirasto)

## Kirjallisuutta

British Standards Institute, BS 7361: Part 1: Cathodic Protection. Part 1: Code of Practice for Land and Marine Applications, (1990). British Standards Institute, London.

Carpenter, J. and MacLeod, I.D., "Conservation of Corroded Iron Cannon and the Influence of Degradation on Treatment Times". ICOM Committee for Conservation, Preprints 10<sup>th</sup> Triennial Conference, Washington, Volume II (1993), s. 759-766.

Gregory, D., "Monitoring the effect of sacrificial anodes on the large iron artifacts on the Duart Point wreck, 1997", The International Journal of Nautical Archaeology 28.2 (1999), s. 164-173.

Gregory, D., "In situ corrosion studies on the submarine Resurgam - a preliminary assessment of her state of preservation", Conservation and management of archaeological sites 4 (2000), s. 95-100.

Kokko, R. "In-situ konservointi Kronprins Gustav Adolfin hyllyllä", (2002), ICOMOS, Suomen jaoston jäsentiedote 4/2002, s. 43-48.

MacLeod, I.D., "The electrochemistry and Conservation of Iron in Seawater", Chemistry in Australia, Proceedings the Royal Australian Chemical Institute, Volume 56 - No. 7 (1989), s.227-229.

MacLeod, I.D., "In situ corrosion studies on iron shipwrecks and cannon: The impact of water depth and archaeological activities on corrosion rates", Metal 98, Proceedings of the International Conference on Metals Conservation (1998), s. 116-124.

Mäntylä, T., "Korroosionesto tuotesuunnittelussa", (1984), MET., Tekninen tiedotus 26/84, Metalliteollisuuden kustannus Oy.

Tikkanen, S. "The ship of the line Kronprins Gustav Adolf – a Swedish warship wrecked in 1788", Nautica Fennica (2000), s. 69-89.