

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Merenkulun koulutusohjelma / Merenkulkualan insinööri

Jussi Seima

KORJAUSHITSAUS LAIVOILLA

Opinnäytetyö 2011

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Merenkulku

SEIMA, JUSSI

Korjaushitsaus laivoilla

Insinööriyö

36 sivua + 1 liitesivua

Työn ohjaaja

Lehtori Ari Helle

Toimeksiantaja

Kemppi Oy

Huhtikuu 2011

Avainsanat

Hitsaus, kunnossapito, tulityö, materiaalioppi, laivat

Opinnäytetyössä esitellään laivan oman miehistön tekemää korjaushitsausta. Työssä esitellään yleisiä laivoilla esiintyviä perusaineita hitsauksen kannalta sekä tuodaan esiin erityispiirteitä, jotka erottavat laivahenkilöstön hitsaustyön maissa tapahtuvasta. Merellä korjaustyön tekijät joutuvat huomioimaan kostean meri-ilmaston, värinän, keinunnan sekä ympärivuotisen toimitusaikataulun vaatimukset hitsaustöiden suunnittelussa ja toteutuksessa. Paloherkkiä materiaaleja kuljetettaessa sekä konehuonetiloissa on otettava huomioon tulipalon riski.

Työtä varten on haastateltu konepäälliköitä ja itse korjaustyön tekijöitä laivoilla sekä huoltotyön johtoa varustamokonttorilla maissa. Lisäksi työssä esitellään joitakin oikeita hitsaustöitä laivoilta. Hitsaustyöt esitellään valmistelutöistä lähtien suoritusjärjestyksessä jälkikäsitteilyyn asti ja samalla käydään läpi muutamia työvaiheiden ongelmia sekä toimenpide-ehdotuksia.

Laivan moninaisten huoltotöiden joukossa hitsauksella on kuitenkin vain marginaalinen osa. Laivan varustajan kannalta on tärkeintä, että laivan lastit liikkuvat. Kuitenkin yksinkertaisia menetelmiä kehittämällä ja erityisesti koulutukseen panostamalla, joko kouluissa tai itse työelämän kursseilla, saadaan parhaiten nostettua korjaushitsauksen laatua.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Maritime technology

SEIMA, JUSSI

Onboard Repair Welding

Bachelor's Thesis

36 pages + 1 appendix page

Supervisor

Ari Helle, Lecturer

Commissioned by

Kemppi Oy

April 2011

Keywords

welding, maintenance, hotwork, metallurgy, ships

On board a merchant ship it is crucial that members of the maintenance crew are able to manage even serious breakdowns on their own. The art of welding often plays an important role in these occasions. In this thesis, onboard welding circumstances, gear and education are introduced and compared to welding routines onshore to find more effective methods for seagoing welders.

To study the state of welding onboard today, several engine officers and crew were interviewed for their opinion about welding equipment and problems they have met when welding. This information alongside with welding methods widely used onshore and welding specialist interviews produced a view on electric welding onboard a modern ship.

Highly corrosive marine climate, tremor and fire risks while welding are the harsh conditions a welder has to consider when working onboard. Some small and inexpensive changes can be made to overcome some of the problems presented in this study. However, the greatest factor in achieving effective welding work is special training for new and nowadays often young generations of ship repairers. This can be done either by maritime institutes or ship owners themselves when recruiting new staff.

This thesis can be used as a guideline in further research on maritime welding and to give a view on the state of welding onboard today.

## ALKUSANAT

Tahdon kiittää opinnäytetyötä varten haastattelemani konepäällystön jäseniä. Konekorjausmiehiä tahdon kiittää rakentavasta palautteesta, kun opinnäytetyö ei vastannut käytäntöä. Lisäksi tahdon kiittää vaimoani Tiiaa avusta ja ymmärryksestä ja konemestari Joni Kaartista työn kommentoinnista sen valmistumisvaiheessa sekä valokuvista.

Kiitos siis seuraaville:

ylikonemestari Auvo Huolman

ylikonemestari Mauri Haatainen

ylikonemestari Atte Kopper

ylikonemestari Juha Luomanmäki

vahtikonemestari/korjausmies Ville Hakalehto

vahtikonemestari/korjausmies Jarno Männikkö

korjausmies Jari Tammi

konetarkastaja Oskari Sääntti.

Kiitos myös Kemppi Oy:lle ja hitsausinsinööri Pasi Raekorvelle toimeksiannosta.

13.04.2011

Jussi Seima

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

## ALKUSANAT

1	JOHDANTO	7
1.1	Lähtöasetelmat tutkimukseen	8
1.2	Tiedonhaku ja työskentely	8
2	HITSATTAVIEN MATERIAALIEN OMINAISUUDET	9
2.1	Hitsauksen peruskäsitteet ja hitsi	9
2.2	Perusaineet ja ominaisuudet	10
2.2.1	Teräs	10
2.2.2	Ruostumaton ja haponkestävä teräs	13
2.2.3	Alumiini	15
2.2.4	Kupari, kupari- ja nikkelseokset	16
2.2.5	Valut	17
3	HITSAUKSEN ERITYISPIIRTEISTÄ JAVARUSTEISTA LAIVOILLA	18
3.1	Laivojen kuumatöiden lupakäytännöstä	18
3.2	Tekijät ja koulutus	20
3.3	Varusteet	20
3.4	Vaurioiden synty ja korroosio	23
3.5	Hitsaustyö laivalla	25
3.5.1	Perusaineen tunnistaminen ja korjaustarpeen määrittely	25
3.5.2	Hitsausmenetelmän valinta ja työn suunnittelu	27
3.5.3	Lisäaineet, suojakaasu ja hitsin valmistelu	28
3.5.4	Hitsausvirheet, hitsin jälkikäsittely ja tarkastus	31
4	PARANNUSEHDOTUKSIA OPINNÄYTETYÖN POHJALTA	33
4.1	Työohjeet ja hitsaajien koulutus	33
4.2	Hitsauslisäaineiden hankinta ja säilyttäminen	34
4.3	Peittäusnesteet	34

5 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	36
LIITTEET	

Liite 1. Esimerkki WPS:ta (Welding Procedure Specifications)

## 1 JOHDANTO

Nykyaikainen kauppa-alus on telakointeja sekä lyhyitä ja arvaamattomia ankkurointeja lukuun ottamatta palveluksessa vuoden jokaisena päivänä koko elinkaarensa ajan. Laivan miehistön kyky huoltaa ja korjata laivan koneistoja laadukkaasti on turvallisuuden ja laivan tehokkaan käytön kannalta keskeistä. Toisaalta joudutaan miettimään kompromisseja kustannusten ja laivan varustajan laivalle suunnitteleman elinkaaren suhteen. Toisin kuin esimerkiksi tehdaskiinteistö, laiva on saman varustajan käytössä vain esimerkiksi 15 vuotta, jolloin sitä ei kannata ikään kuin korjata myyntivalmiiksi. Yksi tärkeistä kädentaidoista nykyaikaisen laivan korjauksessa on hitsaus-taito. Työnsä osaava hitsaaja pystyy korjaamaan vaativia kohteita sekä rakentamaan uusia rakenteita helpottamaan jokapäiväistä työtä tai parantamaan turvallisuutta.

Merellä aluksilla tapahtuvasta korjaushitsauksesta ei ole tehty juuri tutkimusta. Voidaan miettiä, mitä perusaineita laivan henkilöstön tulisi pystyä hitsaamaan luotettavalla tasolla ja kuinka tämä huomioidaan koulutuksessa tai työhönotossa. Myös hitsausvälinevalikoiman vastaavuus oletettuihin kohteisiin laivalla voidaan ottaa tarkasteluun. Metallien valmistusmenetelmät vaikuttavat niiden hitsattavuuteen. Sellaisten materiaalien hankinta, joita pystytään laivalla käyttämään parhaiten hyödyksi, onkin konepäällystön ammattitaidon varassa.

Tärkeimpänä tavoitteena tässä opinnäytetyössä onkin antaa kuva aluksen miehistön taidoista ja mahdollisuuksista ylläpitää laivan kuntoa tehokkaasti eri hitsausprosessien avulla tällä hetkellä.

Opinnäytetyö rakentuu kolmesta osasta, joissa ensimmäisessä käsitellään laivalla yleisesti esiintyvien perusaineiden ominaisuuksia hitsauksen kannalta. Toisessa osassa pyritään kuvaamaan korjaushitsauksen olosuhteita laivalla ja työn erityispiirteitä verrattuna ammattimaiseen hitsaamiseen maissa. Kolmannessa osassa esitellään tätä opinnäytetyötä tehtäessä esiin tulleita mahdollisuuksia parantaa korjaushitsauksen laatua laivoilla.

Tekstissä mainittujen lähteiden lisäksi tärkeitä tietoja hitsausvälineiden hankinnasta ja varustamon odotuksista miehistön hitsaustaitojen suhteen sekä kommentteja tässä opinnäytetyössä esitettyihin parannusehdotuksiin antoi konetarkastaja Oskari Säntti haastattelussa keväällä 2011. Kuvat työssä, jos ei toisin mainita, ovat tekijän omia.

## 1.1 Lähtöasetelmat tutkimukseen

Osallistuin vuoden 2009 syksyllä työnantajani järjestämälle ja Kemppi Oy:n toteuttamalle hitsauskurssille, mikä sai minut miettimään korjaushitsausta laivoilla ja siihen liittyvän opinnäytetyön tekemistä. Otin heti yhteyttä Kemppiin kysyäkseni onko yritys kiinnostunut laivan korjaushitsauksesta tehtävästä tutkimuksesta. Omaan lähtöajatuseni oli kerätä tietoa laivojen ongelmatapauksista, joita olisi voinut analysoida jälkeinpäin sekä yhdessä ammattilaisten kanssa selvittää, miten laivaolosuhteissa kyettäisiin toteuttamaan vastaava työ paremmin. Tätä kautta selviäisi myös mahdollisia varustepuutteita. Kemppi lähti mukaan toimeksiantajana, mutta ei esittänyt varsinaista toivetta, mitä tietoa yritys olisi halunnut tutkimuksesta.

## 1.2 Tiedonhaku ja työskentely

Laadin aluksi kyselylomakkeen, joka oli suunnattu aluksien konepäälliköille. Lomake piti sisällään kysymyksiä mm. laivalla käytettävissä olevista hitsauslaitteista ja lisäaineista sekä niiden käyttöasteesta. Mukana oli myös osio, jossa vastaaja voisi tuoda esiin vastaan tulleita ongelmatapauksia.

Kuitenkin muutaman koe-erän jälkeen huomasin, että vastauksista ei saanut tarvittavaa määrää informaatiota, jotta olisin voinut toteuttaa opinnäytetyön alkuperäistä ajatusta. Päätinkin toteuttaa tiedonkeruun haastatteluina, jolloin voisin paremmin paneutua kunkin haastateltavan omaan osaamisalueeseen. Haastattelut käytiin pääasiassa kesän 2010 ja kevään 2011 välisenä aikana. Nyt keskityin kysymään pääasiassa mielipidettä siitä, minkälaista hitsausosaamista ja minkälaisia varusteita laivalla tulisi olla ja miten hitsaustyötä voisi parantaa sekä keskusteltiin mahdollisista ongelmakohteista. Lisäksi dokumentoin erilaisia hitsaustöitä omalta työpaikaltani sekä sain kuvia ja kuvauksia kollegoilta eri laivoilla. Haastattelin myös satunnaisia korjausmiehiä tai siinä toimissa toimivia.

Tällä tavoin kerätystä aineistosta päätin tehdä opinnäytetyön, joka esittelee laivan oman miehistön tekemän korjaushitsauksen tämänhetkistä tilaa ja sen eroja perinteiseen konepajatyöhön. Tarkoituksena oli löytää koulutukseen ja varusteiden hankintaan sekä varsinaisen hitsaustyön toteuttamiseen parannusehdotuksia, jotka olisivat myös mahdollisia toteuttaa.

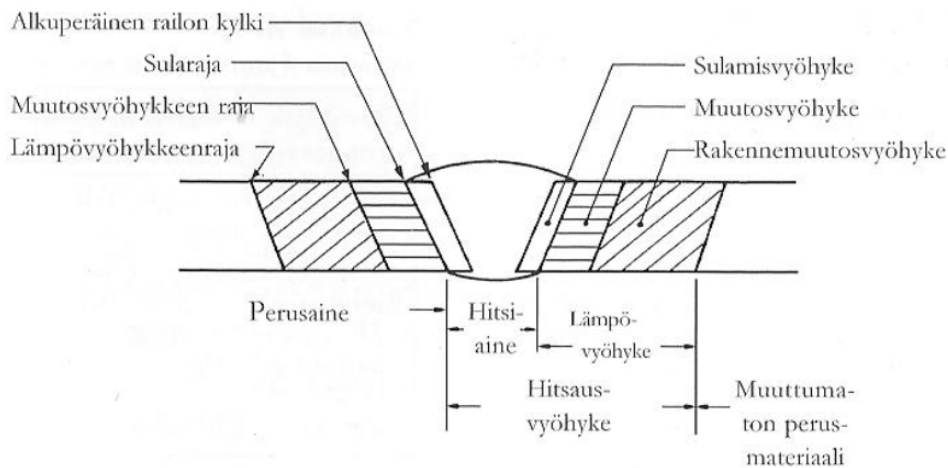


## 2 HITSATTAVIEN MATERIAALIEN OMINAISUUDET

### 2.1 Hitsauksen peruskäsitteet ja hitsi

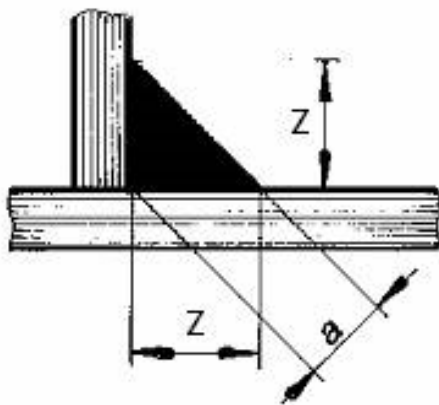
Hitsaus on kahden perusmateriaalista valmistetun kappaleen liittämistä toisiinsa; tätä kutsutaan liitoshitsaamiseksi. Toinen yleinen hitsi on päällehitsaus, jossa materiaalia päällystetään hitsiaineella.

Hitsausliitos koostuu itse hitsiaineesta sulamisvyöhykkeellä ja muutosvyöhykkeestä, joka pysyy kiinteässä muodossa koko prosessin ajan. Kuitenkin koko hitsausliitoksen alueella tapahtuu muutoksia metallin rakenteessa, mikä johtuu reaktioista perusaineen ja prosessiin tuotujen aineiden välillä sekä kuumuudesta. Muutosvyöhyke voi olla leveydeltään jopa viisi kertaa perusaineen paksuus riippuen itse perusaineesta, hitsausprosessista, aineenpaksuudesta ja lämmöntonnuista. Alla olevasta kuvasta (kuva 1) nähdään hitsin vyöhykkeet, sula-alue sekä muutosvyöhyke. Koko tällä alueella hitsausprosessi aiheuttaa muutoksia perusaineeseen esimerkiksi lujuuteen ja korroosionkestävyyteen myöhemmin.



Kuva 1: Hitsin vyöhykkeet (1:91)

Kuvassa 2 nähdään hitsin määrittelyyn käytetty a-mitta, joka esittää ideaalista hitsin korkeutta. mittana käytetään etäisyyttä hitsin juuresta sen pintaan ottamatta huomioon sauman kupuruutta.(2)



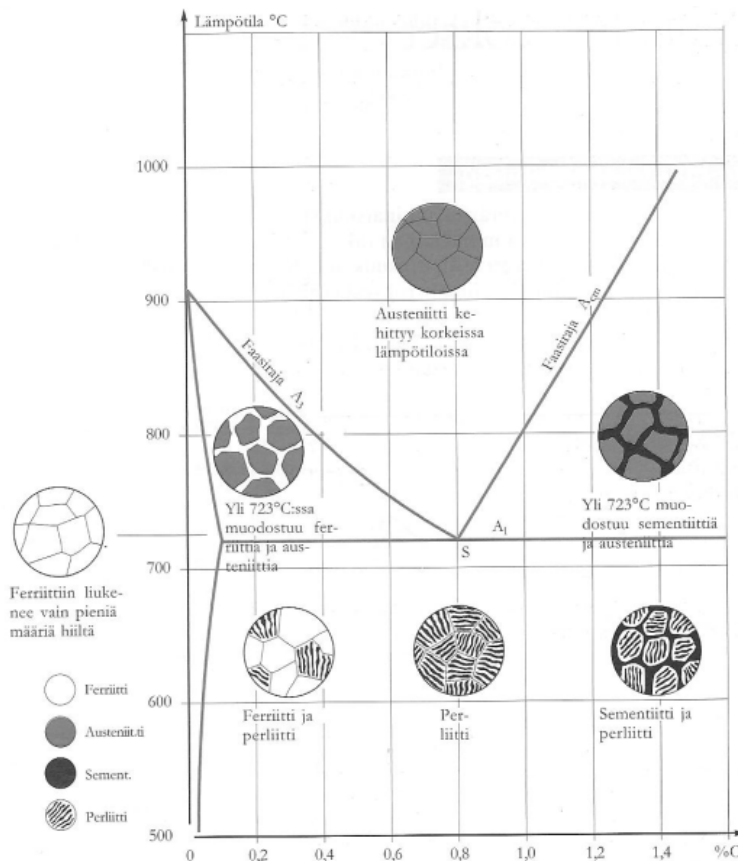
Kuva 2: Olennainen mitta hitsissä on läpihitsatun aineen paksuus, eli a-mitta (2)

## 2.2 Perusaineet ja ominaisuudet

### 2.2.1 Teräs

Hitsiä suunniteltaessa on hyvä tuntee jonkin verran metallien ominaisuuksia, jotta hitsaaja pystyisi päättämään, mitä metalleissa tapahtuu niiden kuumetessa prosessissa. Silloin tulee kyseinen perusaine myös tunnistaa, jotta tiedetään, mistä aineista se koostuu.

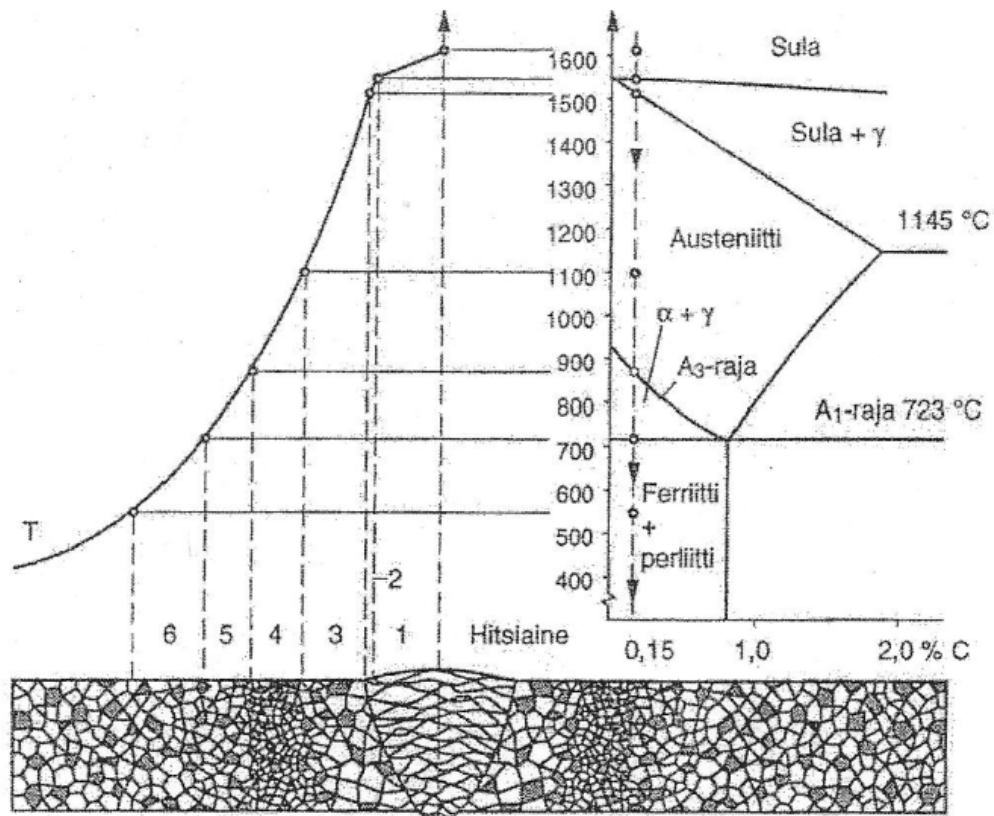
Käytössä olevat metallit eivät koostu yhdestä, puhtaasta metallista, vaan ne ovat erilaisia metalliseoksia, jotka koostuvat kahdesta tai useammasta alkuaineesta, joista vähintään toinen on metalli. Esimerkiksi teräs koostuu raudasta (Fe) ja hiilestä (C). Näistä rauta on metalli ja perusaine ja hiili ei metallinen alkuaine ja seosaine. Seosainepitoisuus on aina alle 50 %. Teräksessä esimerkiksi hiilipitoisuus on 0,02 - 1,8 %. Terästä, kuten muitakin metalleja, seostetaan eri alkuaineilla, kun halutaan parantaa jotain sen ominaisuuksista. Metalleille tyypillisiä ominaisuuksia ovat metallinen kiilto, suuri lujuus, hyvä sitkeys, hyvä muokattavuus sekä hyvä sähkön- ja lämmönjohtokyky. Osa metalleista on myös magneettisia. Tasapainopiirrosta voidaan käyttää työkaluna metallille hitsissä tapahtuvien lämpötila- ja rakennemuutosten havainnollistamiseksi. (1:54)



Kuva 3:Hiili-terästasapainopiirros. Teräksen mikrorakenne eri lämpötiloissa eri hiilipitoisuuksille(1:66).

Kuvassa 3 on osa tasapainopiirroksesta, jossa teräs on kiinteänä. Nähdään, että teräs on korkeassa lämpötilassa pehmeää, muovautuvaa ja sitkeää austeniittia. Lämpötilan vielä kasvaessa tästä teräs muuttuu sulaksi sitä alhaisemmassa lämpötilassa, mitä korkeampi on sen hiilipitoisuus. Lämpötilan laskiessa austeniittinen kiderakenne hajoaa toisiksi faaseiksi eli olomuodoiksi. Yli 723 °C:ssa muodostuu tyypillisellä teräksen hiilipitoisuudella ferriittiä ja austeniittia. Alle 723 °C:ssa austeniittia ei enää ole, vaan rakenne on yleisimmin ferriittinen tai perliittinen. (1:65 - 67)

Hitsauksessa voimakas lämpökäsittely sekä jäähtyminen prosessista riippuen sulasta huoneenlämpöön muutamassa sekunnissa saa aikaan muutoksia perusaineessa. Myös hitsauskaasun, kuonan ja sulan metallin välillä tapahtuu reaktioita. Myös itse hitsin ulkopuolella, kiinteässä tilassa olevassa metallissa tapahtuu faasimuutoksia muutamissa sekunneissa. Kuvassa 4 onkin sijoitettu yhteen hitsin vyöhykkeet sekä niiden lämpötiloja vastaavat muutokset riippuen hitsin lämpötilasta. Tosiasiassa hitsin jäähtyminen on tosin niin nopeaa, että kaikkia tasapainopiirroksen faasimuutoksia ei ehdi edes tapahtua. (3)



Kuva 4: Lämpötilavyöhykkeet hitsissä (3).

Keskeistä terästen hitsausliitoksen kestävyudessa on myös toimitustila eli valmistusmenetelmästä tai lämpökäsittelystä johtuva lähtötilanne, joka muuttaa samanlaisenkin teräksen ominaisuuksia hitsauksen jälkeen.

Kuten nesteeseen, metalliinkin liukenee seosaineita niiden koostumuksesta sekä metallin lämpötilasta riippuen. Teräksen tärkein seosaine on siis hiili, mutta teräs sisältää myös piitä ja mangaania. Seosaineiden suhteita muuttamalla pyritään vaikuttamaan haluttuihin ominaisuuksiin. Rakenneteräksissä pyritään pääasiassa vaikuttamaan lujuuteen, sitkeyteen ja hitsattavuuteen aina käyttötarkoitusta silmälläpitäen.

Taulukko 1. Teräksen lujuusominaisuuksia parantavien käsittelyjen vaikutus hitsattavuuteen (3).

Lujuutta kasvatetaan	Hitsattavuus
lisätään perliitin määrää	hitsattavuus heikkenee
Lämpökäsittelyt	lujuuden ja sitkeyden menetys hitsattaessa
kylmämuokkaus	lujuudenmenetys hitsattaessa
raekoon hienontaminen	hitsattavuus hyvä, rajoituksin
karkenevuutta parantavat aineet	hitsattavuus kohtalainen, rajoituksin

Yleisten rakenneterästen ”nyrkkisääntönä” on, että alle 360 Nm/mm<sup>2</sup> teräkset ovat hyviä hitsattavia kaikilla prosesseilla. Yli 12 mm ainepaksuuksilla lämmöntuontiin ja jäähtymiseen tulee tosin kiinnittää enemmän huomiota. (3)

Kuten tasapainopiiirroksista (kuva 3) näkyy, lämmöntuonti vaikuttaa oleellisesti hitsin ominaisuuksiin. Liiallisella lämmöntuonnilla teräksen reako kasvaa ja iskutkeys heikkenee. Etenkin lämpötila, jossa austeniitti hajaantuu (tasapainopiiirros, 500°C-800°C), määrittelee, syntykö liitoksesta ferriittis-perliittinen, esimerkiksi martensiittinen. Erityisen vaarallisena voidaan pitää runsashiilistä martensiittia, joka huonontaa hitsin sitkeyttä sularajalla ratkaisevasti.(1:68 - 69)

Yhteenvedona voidaan sanoa, että yleiset rakenneteräkset, joita laivoilla esiintyy, on valittu siten, että hitsattavuus on hyvä. Ainoastaan runsas seosteisuus (yli 5 % seosaineita, jos hiiltä ei lasketa) vaikeuttaa hitsausta, kuten nähdään esimerkiksi taulukosta 1. Silloin tarvitaan hyvän tuloksen saavuttamiseksi lämpökäsittelyä usein jo pienilläkin ainepaksuuksilla.

### 2.2.2 Ruostumaton ja haponkestävä teräs

Ruostumatonta terästä käytetään kohteissa, joissa toivotaan hyvää korroosionkestävyyttä. Korroosionkestävyys perustuu korotettuun kromipitoisuuteen, jossa kromi yhdessä hapen kanssa muodostaa oksidikalvon suojaamaan metallin pintaa. Tämä passiivikalvo vaatii muodostuakseen ja uusiutuakseen vähintään 11 - 12 %:n kromiosuuden ja hapekkaan ympäristön. Tavallisimmin ruostumattoman teräksen kromipitoisuus on 16 - 18 % (1:171). Muita seosaineita ovat nikkeli ja molybdeeni. Ruostumattomien terästen hitsattavuus perustuu seosaineiden suhteisiin.

Ruostumattomat teräkset voidaan luokitella usealla tavalla, joista arkikielessä useammin on käytössä luokittelu ruostumattomiin, haponkestäviin sekä kuumalujiin teräksiin. Kuitenkin hitsattavuutta tarkasteltaessa käyttötarkoitusta parempi luokittelun peruste on aineen mikrorakenne, jota käytän jaotteluna tässä luvussa pyrkien kuitenkin viittaamaan käyttötarkoitukseen, jotta teoria yhdistyisi hitsauskohteisiin laivoilla.

Puhdas rauta on huoneenlämmössä rakenteeltaan ferriittinen. Kun teräs kuumennetaan austeniittialueelle, n. 900 °C, muuttuu rakenne austeniittiseksi ja alle 900 °C:n jälleen ferriitiksi. Seostamalla teräkseen eri seosaineita saadaan austeniittinen rakenne pysy-

mään myös huoneenlämmössä tai jopa hyvin kylmissä olosuhteissa. Seuraavasta taulukosta näkyvät tärkeimmät ruostumattomat teräkset jaoteltuna mikrorakenteen mukaan.

Taulukko 2. Ruostumattomat teräkset jaoteltuna mikrorakenteen mukaan (1:172).

Tyyppi	%C	Cr	Ni	Mo	Karkaistava	Magneettinen
<b>Ferriittiset</b>	...0,08	12...13,5	-	-	Ei	Kyllä
	...0,08	16...19	-	...2,5		
	...0,02	24...28	-			
<b>Austeniittiset</b>	...0,03	17,5...28	13...34	3,0...6,5	Ei	Ei
	...0,05	16,5...18,5	10,5...14,5	2,0...3,0		
	...0,10	16,5...18	8...10	1,3...1,8		
	...0,12	16...19	6,5...12	-		
<b>Martensiittiset</b>	0,09...0,35	11...14	-	1,2	Kyllä	Kyllä
	0,14...0,23	15,5...17,5	...2,5	-		
<b>Ferriittis-austeniittiset</b>	...0,03	18...23	4,3...6,5	2,5...3,5	Ei	Kyllä
	...0,10	24...27	4,5...7	1,3...1,8		
<b>Martensiittis-austeniittiset</b>	...0,05	15...17	4...6	0,8...1,5	Kyllä	Kyllä
	...0,10	12...14	5...6	-		

Austeniitin ja ferriitin muodostuminen vaikuttaa keskeisesti teräksen hitsattavuuteen. Austeniittiset teräkset ovat hitsattavuudeltaan hyviä, mutta ferriittinen kiderakenne vaikeuttaa hitsausta huomattavasti, koska ferriitin rakenne on herkempi epäedullisille muutoksille korotetussa lämpötilassa. Ferriittisillä teräksillä on kuitenkin korkea korroosionvastustuskyky. Ferriittipitoisuus ilmaistaan ferriittinumerolla FN. Hitsattavuuden kannalta parempien austeniittisten terästen ferriittinumeron tavoitearvo on 2-12 FN.(1:174 - 175)

Seuraavassa käydään läpi ruostumattomien terästen seosaineiden suhteita austeniitin ja ferriitin muodostumisen kannalta, tarkoituksena helpottaa ruostumattomien terästen hitsattavuuden arviointia seosaineiden pitoisuuksien pohjalta.

Ruostumattomien terästen tärkein seosaine on luonnollisesti kromi, koska juuri siihen perustuu korroosiota vastustavan passiivikalvon syntyminen. Ruostumattomassa teräksessä voi olla jopa lähes 30 % kromia. Kromi on ferriitin muodostaja eli se stabiloi ferriittiä. Austeniittisen rakenteen etuina on kuitenkin hyvä muokattavuus ja hitsattavuus. Hiili on eräs austeniitin muodostaja ja kaikki teräs sisältää jonkin verran hiiltä, joka myös parantaa teräksen lujuusominaisuuksia. Hiili yhdessä kromin kanssa kuitenkin laskee korroosionkestävyyttä muodostaen kromikarbideja, joten hiilipitoisuutta

on ruostumattomissa teräksissä rajoitettava. Ruostumattomissa teräksissä käytetäänkin nikkeliä stabiloimaan austeniittia ja parantamaan lujuusominaisuuksia. Esimerkiksi suhteena voi olla 18 % kromia, 8-9 % nikkeliä.(1:173 - 174; 3)

Kolmas keskeinen seosaine on molybdeeni, joka parantaa teräksen korroosionkestominaisuuksia. Runsaasti molybdeenillä seostettuja ruostumattomia teräksiä (2-3 % Mo) kutsutaan haponkestäviksi teräksiksi. Molybdeeni stabiloi ferriittia, joten runsaasti molybdeenillä seostettuihin teräksiin on lisättävä nikkeliä, jos halutaan säilyttää hyvä hitsattavuus. Ruostumattomissa teräksissä voi olla kuitenkin jopa 7 % molybdeeniä.(1:173)

Ruostumattomaan teräkseen lisätään muitakin seosaineita pieninä pitoisuuksina parantamaan haluttuja ominaisuuksia, kuten korroosionkestävyyttä happamassa tai korkeissa lämpötiloissa (kupari, pii ja cerium) tai lisäämään lujuutta tai työstettävyyttä (rikki, titaani, typpi ja mangaani).(1:174)

### 2.2.3 Alumiini

Vaikka alumiini on teräksen jälkeen käytetyin materiaali, laivalla esiintyy harvemmin tarvetta alumiinin korjaamiseen hitsaamalla (1). Alumiinimetallia valmistetaan alumiinioksidista, jota puolestaan valmistetaan bauksiitista. Alumiinista voidaan valmistaa levyä, nauhaa, erilaisia profiileita ja sitä voidaan myös valaa. Puhdas alumiini on sitkeää ja hyvin pehmeää, mutta hyvän seostettavuuden ansiosta alumiinin ominaisuuksia saadaan paranneltua tehokkaasti. Myös erilaiset lämpökäsittelyt ja muokkaus muuttavat sen ominaisuuksia, jolloin samankaltaisten alumiiniseosten toimitustilat voivat vaihdella. Alumiini ei ole magneettista.(1:235)

Alusrakenteisiin, joissa tavoitellaan keveyttä, esimerkiksi laskusillat, käytetään yleensä magnesiumiseosteisia alumiineja. Alumiinien tyyppimerkintänä on 5000- sarja, esimerkiksi AlMg3-H16 (5754), jossa H16 kuvaa toimitustilaa (muokkauslujitettu) (3). Alumiinin käyttöä syttyviä lasteja kuljettavien alusten siirreltävässä kansirakenteissa puoltaa myös alumiinin kipinöimättömyys.

Alumiini reagoi voimakkaasti hapen kanssa muodostaen pintaansa sitkeän oksidikalvon. Oksidin sulamispiste on 2050 °C ja se ei sula hitsauslämpötilassa (1:250). Alumiinin sulamislämpötila ja lämmönjohtokyky ovat voimakkaasti riippuvaisia seostuk-

sesta. Kuitenkin alumiinin sulamispiste on huomattavasti terästä alhaisempi ja lämmön johtuminen runsaampaa.

#### 2.2.4 Kupari, kupari- ja nikkelseokset

Kuparimetalleja käytetään laajasti eri teollisuuden sovelluksissa. Laivoilla ja offshore-teollisuudessa tyypillisiä käyttökohteita ovat erilaiset lämmönvaihtimet ja saattolämmitysputket sekä kupariseokset merivesiputkissa, pumppujen juoksupyörissä ja pesissä. Kuparimetalleilla on hyvä korroosionkestokyky, ne ovat helposti koneistettavia ja niiden hitsattavuus on hyvä. Kuparin lujuusominaisuudet saadaan hyviksi seostamalla.

Kupari voidaan jakaa happipitoiseen ja hapettomaan kupariin sekä fosforikupariin. Happipitoinen kupari ei ole hitsattavissa tai juotettavissa, koska hapen ja vedyn yhdisteenä syntyvä vesi aiheuttaa höyrystyessään paisuvia sulkeumia eli vetysairautta. Hapettomassa kuparissa tätä ongelmaa ei esiinny, mutta sen valmistusprosessi on kallis. Tehokkain tapa onkin sekoittaa kupariin 0,003 - 0,020 % fosforia poistamaan hapen.(1:221)

Kuparia voidaan seostaa parannettaessa sen ominaisuuksia. Rautaa, mangaania, kromia tai nikkeliä lisäämällä saadaan kasvatettua lujuutta, kun halutaan yhdistää kuparin korroosionkesto-ominaisuudet riittävään lujuuteen esimerkiksi merivesiputkissa. Hopealla ja tinalla saadaan rakenne säilymään paremmin juotettaessa, koska ne parantavat kuparin kuumakestävyyttä. Koneistettavuutta voidaan parantaa mm. rikillä ja lyijyllä. Tosin lyijyseosteista kuparia ei voi juottaa eikä hitsata.(1:221)

Messinki on sinkin ja kuparin seos, jota käytetään esimerkiksi erilaisissa putkiliitoskappaleissa sekä pumppujen osissa. Sinkin lisäksi käytetään samoja seosaineita kuin kuparillakin. Messinki on kuparia edullisempaa ja siten mahdollisuuksien mukaan yleisemmin käytettyä.

Muulla kuin sinkillä seostettua kuparia kutsutaan pronssiksi. Alumiinipronssia, jossa on 5 - 10 % alumiinia, käytetään laakereissa sekä joskus erilaisissa merivesisovelluksissa. Alumiiniseostuksella saadaan hyvät lujuus- sekä korroosionkesto-ominaisuudet. Muita pronssseja ovat esimerkiksi tina- ja berylliumpronssi, joita käytetään elektroniikassa ja jousissa.(1:222)



30-prosenttisesti nikkelillä seostettuja kupareita kutsutaan kuparinikkeleiksi. Niihin seostetaan usein myös rautaa ja mangaania lisäämään lujuutta. Näitä käytetään laajasti merillä lämmönvaihtimissa ja merivesiputkissa.

Taulukko 3: Esimerkkejä kupariseosten koostumuksista (1:223; 4).

CEN	Tyyppi	Cu	Al	As	Fe	Mn	Ni	P	Pb	Sn	Zn
<b>Kupari</b> CW004A CW024A	Cu-ETP CuDHP	99,90 99,85							0,03		
<b>Messinki</b> CW607N	CuZn38Pb1	61							1		38
<b>Pronssi</b> CW452K	CuSn6	94						0,2		6	
<b>Nikkelikupari</b> CW352H CW354H	CuNi10Fe1Mn CuNi30Mn1Fe	88 67			1,5 0,7	0,7 1	10 31				
<b>Alumiinipronssi</b>	CuAl8	~ 90	8		0,7	1					

### 2.2.5 Valut

Mahdollista korjaushitsausta vaativia valukohteita laivoilla ovat etenkin pumppujen pesät ja erilaiset suojakotelot, joissa saattaa ajan kanssa ja värinän vaikutuksesta ja/tai korroosion aikaansaamana syntyä murtumia. Valukappaleiden moninaiset muodot hankaloittavat joskus korjaamista hitsaamalla. Valuraudat ja valuteräkset ovat rauta-hiiliseoksia, joissa on seosaineina piitä ja mangaania. Valuteräs on koostumukseltaan lähempänä tavallisia teräksiä ja sisältää hiiltä n. 0,18 - 0,5 %. Valuraudat sisältävät erittäin paljon hiiltä, aina 3,0 - 4,5 %. Molemmissa on lisätty piitä ja mangaania, jotka parantavat seoksen juoksevuuutta ja siten valun laatua. Seosaineina käytetään kromia, nikkeliä ja molybdeenia, joilla tavoitellaan samoja ominaisuuksia kuin tavallisissakin teräksissä, kuten korroosio- ja lujuusominaisuuksien parantamista. Valut sisältävät tyypillisesti verrattain paljon epäpuhtauksia.(1:213 - 214)

Valuraudat jaetaan tyypillisesti grafiittisiin ja karbidisiin. Grafiittisiä valurautoja ovat mm. harmaat valuraudat ja pallografiittivalurauta. Näille on tyypillistä, että hiili esiintyy niissä vapaana grafiittina eikä ole sitoutuneena rautaan, kuten tavallisissa teräksissä. Valkoiset valuraudat taas ovat tyypillisiä karbidisia valuja. Niissä hiili esiintyy ku-

ten tavallisesti teräksissä, mutta ne ovat kovia ja hauraita. Valkoiset valut eivät ole hittavissa.(1:215 - 216)

Taulukko 4: Valurautalaatuja (1:214).

Tyyppi ja SFS-numero	Kappaleen ominaisuudet	Käyttö
<b>Suomugrafiittivalurauta SFS-EN1561</b>	Halpa valmistaa ja työstää. Hyvä vaimennuskyky	Konerungot, laakeripesät, moottorilohkot
<b>Pallografiittivalurauta SFS-EN1563</b>	Luja ja sitkeä	Hammaspyörät, kampiakselit, ruuvivaihteet
<b>Adusoitu valurauta SFS-EN1562</b>	Hyvä työstettävyyys	Pumpun männät, hammaspyörät, putkiosat

Sekä valurauoille, että valuteräkselle on tyypillistä korkea sulamislämpötila sekä huono muodonmuutoskyky, mikä johtaa yhdessä etenkin suurirakeisen rakenteen kanssa halkeamaherkkyteen. Tästä on tosin poikkeuksia.(1:219)

### 3 HITSUKSEN ERITYISPIIRTEISTÄ JAVARUSTEISTA LAIVOILLA

#### 3.1 Laivojen kuumatöiden lupakäytännöstä

Tulipalo merellä liikkuvassa aluksessa on erittäin kriittinen tilanne. Siksi mikä tahansa kuumatyö aluksella tulee aina suunnitella siten, että kaikki riskit tulipalon syttymiseen on minimoitu, ja mikäli tuli pääsee irti, on paikalla tarvittava välineistö välittömään ensisammutukseen. Tässä luvussa esitellään merityössä vallalla olevia käytäntöjä kuumatöiden turvallisuuden varmistamiseksi.

##### *Vakituinen kuumatyöpaikka*

Aluksella on aina määriteltynä kuumatyöpaikka (*hot work area*). Se sijaitsee yleensä aina aluksen koneverstaalla, jonne on asennettuna myös kiinteät hitsauslaitteet sekä happi- ja asetyleenipiste. Paikka on valittu ja varustettu siten, että läheisyydessä ei ole syttyviä rakenteita ja paikalla on riittävä tuuletus sekä sammutusvälineet paikan läheisyydessä. Aluksen kuumatyöpaikalla on sallittua tehdä tulityötä ilman erikseen täytettävää tulityölupaa, kun tulitöiden tekeminen ylipäänsä on aluksella sallittua. Tulitöiden tekeminen aluksella voidaan kokonaan kieltää esimerkiksi aluksen polttoainetäydennyksen, syttyvän lastin lastauksen tai purkauksen tai muun lastitoiminnon ajaksi.

Aluksen ollessa kiinnittyneenä satamassa tulityöt on usein muutenkin kielletty sataman säännöissä.(5)



Kuvat 5 ja 6: Kiinteitä kuumatyöpaikkoja

#### *Tilapäinen kuumatyöpaikka*

Muulla aluksella tehdyt tulityöt vaativat tulityöluvan. Tulityölupa ja tilapäisen tulityöpaikan vaatimukset vastaavat pitkälti maissa käytettyjä tapoja. Tulityöluvan käsittelyn tiukkuus kuitenkin vaihtelee paljon riippuen laivatyyppistä aina laivan konepäällystön valvomasta, paperittomasta työskentelystä laivayhtiön konttorin hyväksyntään lupiin. Palovaarallisia lasteja kuljettavilla aluksilla käytännöt ovat huomattavan tiukasti valvottuja ja viranomaisten tarkasti määrittelemiä. Tällöin tulityölupakäytäntöjen mutkistuessa hyväksyjä ei välttämättä ole perehtynyt tulityöturvallisuuteen tai varsinkin ole hitsaustaitoinen, jolloin vastuu työpaikan todellisesta turvallisesta valmistelusta on työn tekijällä ja valvovalla konepäällystöllä. Toisaalta turvallisuuteen kiinnitetään tarkemmin huomiota ja tietoisuus poikkeuksellisesta tapahtumasta aluksella on parempi. Myös niin sanotut vähäisen palovaaran työt, kuten kuuman ilman käyttö ja sähköjuotostyöt, on palovaarallisia lasteja kuljettavilla aluksilla alistettu kuumatyölupakäytännölle.(5)



Kuva 7: Kuumatyökärry sammuttimilla ja tulenkestävillä peitteillä

### 3.2 Tekijät ja koulutus

Aluksen käytännön hitsaustyöt tekee perinteisesti korjausmies. Opiskellessaan ammatin on kuitenkin jokainen ainakin konehuoneen henkilöstöstä harjoitellut hitsaus- ja muita metallitöitä jonkin verran. Merenkulkualalla, samoin kuin muillakin aloilla Suomessa, koulutuspolitiikka on viimeisten kymmenen vuoden aikana muuttanut muotoaan melkoisesti, joten tarkasteltaessa merenkulkijoiden pohjakoulutusta hitsaustaitoja silmällä pitäen on osin eroteltava vanhempi ja nuorempi tekijäpolvi toisistaan.

Nykyään korjausmiehen koulutusohjelma on sama riippumatta siitä suuntautuuko opiskelija kansi- vai konepuolen korjausmieheksi. Kuitenkin tätä työtä varten käydyissä haastatteluissa ja keskusteluissa huomioitiin, että samalta koulutussuunnalta tulevien työntekijöiden hitsaustaitotaso vaihtelee aina nollostä erittäin laadukkaaseen. Hitsaustaitoa ei sinänsä pidetä niin tärkeänä, että se tarvitsisi todistaa päästäkseen laivalle korjausmieheksi.(6)

### 3.3 Varusteet

Laivoilla käytössä oleva hitsausvälineistö sekä siihen liittyvät tarvikkeet ovat tyypillisimmillään peruslaitteet: happi-asetyleenikaasupullot ja puikkovirtalähde. Kaasupulloilla voidaan suorittaa juotostöitä ja niitä käytetään paljon työkappaleiden lämmittämiseen muokkaamista varten. Myös polttoleikkausta käytetään jonkin verran.

Puikkohitsausvälineet ovat tärkein väline laivan hitsaustöissä. Yhdessä juotosvälineiden kanssa puikkohitsausta voidaan käyttää kaikkeen laivan korjaushitsaamiseen. Asi-

antuntijahaastatteluissa oltiin vahvasti sitä mieltä, että tällä yhdistelmällä laiva tulee hyvin toimeen korjaushitsauksessa. Tämän päivän invertterin etu on helppo liikutelta- vuus laivan vaikeakulkuisissa tiloissa sekä hyvät ulkoilmahitsausominaisuudet silloin, kun työkohdetta ei ole mahdollista siirtää laivan verstaalle. Nykyaikaiseen puikkovir- talähteeseen on yhdistettävissä myös mahdollisuus tig-hitsata (ns. raapaisutig), jota voidaan käyttää korjaushitsaamiseen tarvittaessa. Tällaisessa hitsauksessa on tig elekt- rodin kärki sytytettävä raapaisemalla kappaleen pinnasta, jolloin se pyöristyy ja vol- frami saattaa seostua. Lopetuksessa kärki joudutaan vetämään pois lopetuskohdasta, jolloin kaasusuojaus palolle loppuu. Näistä haitoista huolimatta MMA-laitteen käyttö- kelpoisuus tig-hitsauksessa on riittävä vähäisiin korjauksiin laivoilla.(7)

Osalla laivoista on katsottu tarpeelliseksi hankkia myös laajasti muita laitteita, kuten varsinaisia tig-laitteita sekä mig-laitteita. Tig-laitteen etuna on vähäiselläkin harjoitte- lulla saavutettava kelvollinen hitsausjälki esimerkiksi ruostumattomien terästen hitsa- uksessa. Hitsausjälki on myös erittäin siisti ja metallurgisesti puhdas. Ongelmina voi- daan mainita laivan henkilökunnan huono tig-hitsauksen tuntemus, jolloin ei tiedosteta suojakaasun merkitystä ja parametrien eroavaisuuksia puikkohitsaukseen. Kaiken kaikkiaan tig on erinomainen menetelmä hitsata ohutseinämäisiä putkia n. 0,1 mm ylöspäin ja lämmönsiirtimien hitsaamiseen.

Parhaiten varustetuilta laivoilta löytyy myös mig-laitteet. Mig on lähtökohtaisesti tek- nisesti helppo tapa hitsata. Virheet vähenevät, kun lisääneen tuotto on jatkuvaa ja kuonaa muodostamatonta, vaikkakin hitsi on altis epäpuhtauksille. Hitsauslaitteisto on tosin monimutkainen ja vaatii huoltoa. Myös iso koko on ongelma laivan ahtaissa ti- loissa.

Taulukko 5: Hitsausmenetelmien edut ja haitat laivan korjaushitsauksessa.(8)

	<b>Käyttökohteet laivoilla</b>	<b>Edut</b>	<b>Haitat</b>	<b>Muuta</b>
<b>Kaasu</b>	-putkijuotokset (esim. kupari) -kappaleiden kuumamuokkaus ja esilämmitys -polttoleikkaus	-yksinkertainen monikäyttöinen -helppo oppia	-hankalasti siirrettävä kiinteänä - kaasut helposti syttyviä - soveltuvia hitsauskohteita rajoitetusti	
<b>Puikko</b>	-kaikkien terästen hitsaus -alumiini -putket ja yleinen korjaus - hitsaus versataan ulkopuolella -hitsaus ulkona	- erittäin monipuolinen - laajasti tunnettu (taito ja laitteet) - laaja lisäainevalikoima -siirrettävyys	- paljon aloituksia ja lopetuksia lyhyen lisäaineen takia ->virheet - hitsauspuikot arkoja kosteudelle	Voidaan käyttää myös tig-virtalähteenä pieniin korjaustöihin
<b>Mig/Mag</b>	- terästen hitsaus	- jatkuva lisäaine - kuonaa muodostamaton - tunkeuma säädettävissä - kaikki hitsausasennot	- arka vedolle ja tuulelle - laitteisto monimutkainen ja häiriöaltis - liikuteltavuus rajoitettu - rajoitettu lisäainevalikoima	
<b>Tig</b>	-vaativien putkien hitsaus -RST -ohuet aineenpaksuudet -alumiini (AC) -alumiinipronssi (AC) -nikkelikupari	-hyvä sulan ja tunkeuman hallinta ja hitsaustahtuma hyvin nähtävissä -lämmöntuonti säädeltävissä -kuonaton, hyvämuotoinen ja puhdas hitsi -monikäyttöinen	-aroka vedolle ja tuulelle -aroka epäpuhtauksille -juuren suojaus -ei käytännöllinen paksujen railojen täytössä	Laitteiston virtalajit rajoittavat alumiinin, kuparin ja nikkelin sekä niiden seosten hitsattavuutta.



Kuvat 8 ja 9: Siirrettävä puikkokone(yllä) ja Mig-laite (alla).

### 3.4 Vaurioiden synty ja korroosio

Metallin korroosio perustuu kemiallisiin ja sähkökemiallisiin ilmiöihin, mutta myös ympäristö kuormittaa metallia aiheuttaen yksinään korroosiota ja nopeuttaen muita mekanisme. Laivalla jokainen näistä syntymekanismeista on erittäin voimakkaasti edustettuna. Meriveden ja -ilmaston suolapitoisuus tarjoaa erinomaisen elektrolyytin metallin ruostumiseksi, lisäksi laivan rungon liikkeet ja värinä aiheuttavat kovia jännitystiloja pitkiin jännteisiin, esimerkiksi putkistoihin, joita kuormittavat kuljetettavan nesteen kavitaatio ja mahdollinen happamuus tai emäksisyys. Useimmiten joudutaankin korjaamaan juuri korroosiovaurioita tai rakentamaan uutta ympäristön tuhoaman tilalle.

Tiettyjen metallien, kuten esimerkiksi RST:n ja alumiinin, luontaista korroosionkestävyyttä voidaan vahingoittaa hitsaamalla. Koska hitsausauma muodostaa epäjatku-

vuuskohdan metalliin, tulisi suoja pyrkiä palauttamaan saumaan jälkikäsitteilyllä ja välttää pinnan tarpeetonta rikkomista saumakohdan ulkopuolella. Tätä työtä tehtäessä tuli yllättävän usein vastaan hitsattuja kohteita, joita ei ole suojattu mitenkään.

Putkistojen korjaustöissä huomataan usein laivan rakennusvaiheessa syntynyt, joskus huomattava jännitys putkien laippakiinnitysten välillä. Näitä rakenteen jännityksiä tulisi tietenkin saada korjattua, ja pahimmillaan putkistojen uudelleen liittäminen on lähes mahdotonta ilman esimerkiksi ketjutaljojen apua. Korjausvaiheessa ei tällöin tarvita korjaushitsauksesta aiheutuneita lisäjännityksiä.

Laivan liike ja koneistot aiheuttavat voimakasta tärinää. Tämä pyritään ottamaan jossain määrin huomioon myös laivan suunnittelussa; esimerkiksi dieselmoottorien aiheuttamien runkovärähtelyjen nopeustaso ei saisi ylittää 5 mm/s taajuusalueella 5 - 30 Hz (9:214).

Kuitenkin laivassa esiintyy aina voimakasta tärinää. Tähän pyritään vaikuttamaan tukemalla putkistoja rakenteisiin riittävästi. Näitä tukia, ”klemmareita”, joudutaan monesti poistamaan korjaustöiden yhteydessä. Tällöin tulisikin huolehtia, että ne kiinnitetään uudestaan, kun työ on saatettu päätökseen. Etenkin erittäin vaikeapääsyisten kiinnikkeiden kohdalla tämä saattaa jäädä tekemättä. Lisäksi tärinästä löystyneet tai korjauksessa löysälle jääneet kiinnitykset vaurioittavat putkia. Mahdollisesti tukipisteiden lisääminenkin voi tulla kysymykseen. Tässä tulee osin vastaan kuumatyölupaprosessi, jossa kynnyksellä ainakin hitsaamalla toteutetun tuen tekemiseen on korkea varsinaisen korjaustyön aiheuttaman vaivan lisäksi.

Tärinästä, jännityksistä ja virhelaskelmien aiheuttamasta kavitaatiokorroosiosta, olivat ne sitten syntyneet laivan rakennusvaiheessa tai korjaustöiden huolimattomuudesta, johtuen laivalla usein korjataan joitain samoja kohteita jatkuvasti. Joskus olosuhteiden parantaminen saattaa tuntua tosielämässä huomattavasti turhauttavammalta muiden laivatöiden ohessa, etenkin jos esimerkiksi varsinaista vaurion uusimisen syytä ei pystytä jäljittämään oikein, vaikkapa tärinään (lisää tukia), hitsausvirheeseen (oikea työtapa, lisäaine tai tekniikka), laivan rakennusvaiheessa aiheutettuun jännitykseen tai näiden kaikkien syiden yhteisvaikutukseen.(6)











### 3.5 Hitsaustyö laivalla

#### 3.5.1 Perusaineen tunnistaminen ja korjaustarpeen määrittely

Usein hitsauskorjausta vaativa kohde laivalla on jonkinlainen putki. Toisinaan taas saatetaan rakentaa uusia tasoja tai korjata käytössä kuluneita rakenteita. Mahdollisesti hitsaukseen liittyvän korjaustarpeen ilmetessä laivalla joudutaan miettimään, onko hitsaus mahdollista toteuttaa ja millä aikataululla. Tähän vaikuttavia asioita ovat mm. aluksen lastiin ja polttonesteisiin liittyvät paloriskit, matkanteon keskeytykset (offhire-aika), laivalla oleva ammattitaito ja välineet toteuttaa korjaus. Jos näitä ongelmia ei pystytä ratkaisemaan, usein ratkaisuna on siirtää työ toteutettavaksi seuraavassa telakointissa ja telakan henkilökunnan toimesta. Tarvittaessa tehdään jonkinlainen hätäkorjaus kyseiselle paikalle. Säännöllisten telakointien välinen aika on n. 2 - 3 vuotta, joten mikä tahansa hätäkorjaus ei luonnollisesti tule kysymykseen jos tuleva telakointi ei sattumalta osu lähikuukausiin. Hätäpaikkaukset tulisi poistaa ensi tilassa tai hyväksyttävä luokituslaitoksella. Sama koskee tietysti myös hitsauskorjauksia silloin, kun ne on tehty luokitetuille laitteille, esimerkiksi paineastiaan.

Kuumatyön riskit voidaan usein kiertää siirtämällä korjattava kohde pois lastialueelta tai muulta kuumatyön riskialueelta. Kuljetuskoneistoon liittyvät ja siten merimatkan aikana toteutuskelvottomat työt, kuten vuotavan putken paikkaus, voidaan usein hoitaa ankkuroinnin aikana. Joka tapauksessa laivan jatkuva käyttö asettaa usein korjaustyön suunnittelulle haasteita.

Kun edellytykset hitsaustyölle ovat olemassa tai ne on järjestetty siirtämällä kappale turvalliseen paikkaan ja työ on päätetty suorittaa hitsaamalla, on tärkeintä tunnistaa kohde eli perusaine. Hitsausprosessin, lisäaineen ja mahdollisen muun käsittelyn valinta riippuu siitä, mitä ollaan hitsaamassa. Perusaine voidaan tunnistaa varmasti esimerkiksi laivan piirustuksien tai valmistajan manuaalien materiaalimerkinnöistä tai ainestodistuksesta. Epävarmempia, mutta usein enemmän käytettyjä keinoja ovat metallin tunnistaminen ulkonäöltä, muut aisteihin perustuvat menetelmät (esim. kipinäsuihku) ja valmistajan mainoslehtiset. Manuaalien ja piirustusten merkinnät ovat tutkittaessa olleet käyttökelpoisia, mutta laivan materiaalivaraston levynpalasten tunnistamisessa on usein turvauduttava silmiin havaintovälineenä.

Magneetti	Viilakoe	Pinnan ulkonäkö	Kipinäkoe		Metallin tyyppi
Magneettinen	Pehmeä	Tumman harmaa	pitkät, keltaiset viivat		Tavallinen teräs, teräsvalu
	Kova	Tumman harmaa	pitkät, keltaiset viivat + tähtiä		Korkeahiilinen teräs
	Pehmeä	Himmeän harmaa valun näköinen	Punaiset sulkamaiset viivat		Valurauta
	Kova	Kiiltävän harmaa	Punakelt. paksut viivat		13% Cr-teräs
Epämagneettinen tai heikosti magneettinen	Pehmeä	Kiiltävän hopeaharmaa	Hyvin pienet punakelt. kipinät		Ni-Cr-seos, tyyppiä ”Inconel”
Epämagneettinen	Kova	Himmeän harmaa valun näköinen	Kelta-valkoiset viivat ja kipinät		14% Mn-teräs
	Pehmeä	Kirkk. hopeaharm.	Kelt-pun. paksut viivat		Ruostum. teräs tyyppiä 19/9
	Pehmeä	Punakeltainen kiiltävä	Ei näkyviä kipinöitä		Kupariseokset
	Pehmeä	Kiiltävä, hyvin vaalea	Ei näkyviä kipinöitä		Alumiiniseokset

Taulukko 6: Eri menetelmiä tunnistaa metalleja verastosuhteissa (1:278).

Lisäaineen tunnistaminen ei aina ole itsestään selvää. Alla olevissa kuvissa (kuvat 10 ja 11) on hitsattu ruostumatonta teräslevyä Esab 48.00 - puikolla. Syynä on ollut korjausmiehen kokemattomuus, koska sihdin tuleva käyttötarkoitus oli selvä ja materiaalin oli kerrottu olevan ruostumatonta terästä.



Kuvat 10 ja 11: Saumat on hitsattu Esab 48.00 -emäspuikolla. Materiaali on keskipalkkia lukuun ottamatta RST.

### 3.5.2 Hitsausmenetelmän valinta ja työn suunnittelu

Kun materiaali on tunnistettu, täytyy työn toteutus suunnitella siten, että lopputulos on paras mahdollinen. Aina kun on mahdollista, työkappale kuljetetaan kuumatyöpaikalle, jossa se voidaan turvallisesti ja vähemmällä paperityöllä toteuttaa. Yleensä mietitään seuraavat asiat:

- Mikä hitsausmenetelmä (lisäaine)?
- Kuka hitsaa?
- Onko hitsauskohta puhdistettu (esim. maali)?

Hitsausmenetelmän valintaa rajoittaa yleensä laitevalikoima. Laivassa valikoimiin kuuluu varmasti puikkokone ja kaasuhitsausvälineet jolloin valinta harvoin tuottaa ongelmia. Paremmiin varustetuissa aluksissa on tarjolla mig- ja tig-laitteita, joista varsinkin tig on osalle kokeneempaa korjausmiespolvea hieman oudompi tekniikka. Eri haastatteluissa ei joidenkin laivojen suurelle laitevalikoimalle löydetty mitään varsinaista perustetta, mutta käyttäjät pitivät sitä sinänsä tietenkin positiivisena asiana. Hitsausalan asiantuntija piti haastattelussa puikkokonetta ja kaasua varsin riittävänä varustuksena laivalla (7). Hitsausvarustusta ei ainakaan tämän opinnäytetyön haastatteluiden mukaan juuri mietitä uudisrakennusta varustettaessa esimerkiksi laivalla mahdollisesti esiintyvien hitsaustöiden kannalta. Lisäaineiden valintaa käsitellään seuraavassa luvussa.

Aina ei ole selvää, että hitsaustyön suorittaa esimerkiksi konekorjausmies. Paras hitsaustaito näyttää konekorjausmiehillä keskittyvän kokeneimpiin, vaikka kaikki menetelmäkään eivät olisi tuttuja. Muusta konemiestöstä ja konemestareista näyttävät taas nuoremmat hallitsevan hitsaustyön paremmin. Kaikissa tapauksissa poikkeuksia löytyy. Luvussa 3.1.2 käsiteltiin aihetta tarkemmin, mutta olennaista on, että laivojen miehistöjen kyky toteuttaa perushitsausta vaativampia töitä vaihtelee joskus paljonkin.

Hitsaustyötä suunniteltaessa mietitään vähemmän yksityiskohtia, kuten

- miten materiaali käyttäytyy kun korkeassa lämpötilassa
- hitsin railon valmistamista murtumien korjauksessa
- jälkikäsitelyä.

Tosiasiassa edellä mainitut asiat ovat pitkälti hitsaajan oman ammattitaidon varassa ja niitä ei välttämättä osata myöskään vaatia.

Hitsauksen suunnittelussa työmailla käytetään maissa hitsaussuunnitelmaa (WPS eli Welding Procedure Specification) (ks. Liite), joka sisältää tietoja kohteen aineenpaksuudesta, hitsaustavasta, materiaalista ja hitsausvirrasta (7). Laivoilla ei vastaavaa järjestelmää ole.

### 3.5.3 Lisäaineet, suojakaasu ja hitsin valmistelu

Korjaushitsaus voi epäonnistua helposti, jos kohteeseen valitaan väärä lisäaine (ks. kuvat 10 ja 11). Syynä väärään valintaan voi olla epäonnistuminen perusaineen tunnistuksessa tai kokemuksen ja koulutuksen puute. Lisäainevalinta on laivoilla useissa perusaineissa helppo, kun valittavana on vain perusominaisuuksiltaan yhtä lisäainetta perusainetta kohti. Esimerkiksi emäksiset puikot tai seostamaton lanka seostamattomille rakenneteräksille tai erityisesti ruostumattomille tai haponkestäville teräksille osoitettu (usein austeniittinen) lisäaine Useinkaan ei ole tarpeen miettiä syvällisesti perusaineen mikrorakennetta ja lisäaineen pitoisuuksien vaikutusta tähän. Perusaineen yleinen tunnistaminen riittää. Perusnyrkkisääntöjen lisäksi ongelmia esiintyy yleensä vasta, kun perusaine on jotain muuta kuin edellä mainittua.

Puikkomuotoiset lisäaineet ovat arkoja kosteudelle, mikä tulisi ottaa huomioon niitä säilytettäessä. Usein puikot ovat kuitenkin avoimissa pakkauksissa tavallisissa tai tarkoitukseen osoitetuissa kaapeissa, jolloin ne saattavat kostua, mikä aiheuttaa myöhemmin mahdollisia ongelmia saumaan jääneen vedyn vuoksi.

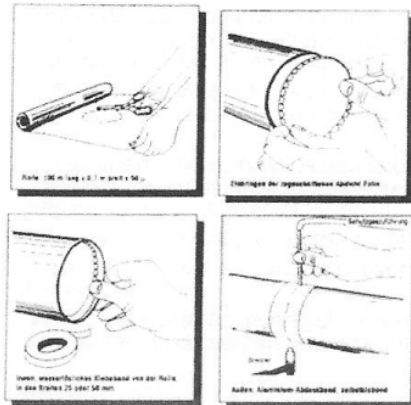


Kuva 12: Säilytyskaappiin varastoituja lisäainepuikkoja.

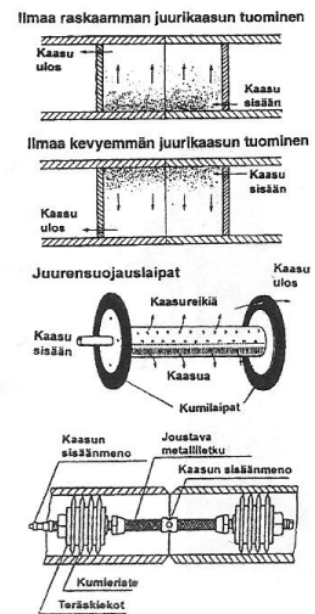
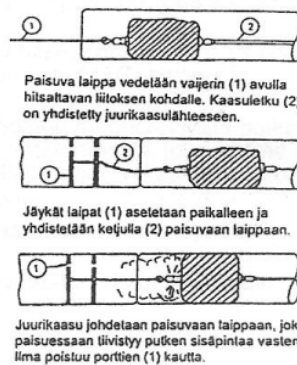
Tig-, mig- ja mag-hitsauksessa hitsauspistoolista johdettava suojakaasu suojaa hitsiä epäsuotuisilta kemiallisilta reaktioilta esimerkiksi ympäröivän hapen kanssa. Puikko-hitsauksessa vastaavaa virkaa tekee puikon päällyste. Kuitenkin joskus, etenkin hitsattaessa putkia yleisimmillä kaasukaarimenetelmillä, myös juuren puolen suojaus on tarpeen. Tähän tarvittavia välineitä ei kuitenkaan ole aina saatavilla laivoilla. Tarvi- taan virtausmittaus ja letku kaasun johtamiseksi juuren puolelle. Lisäksi virtausta tuli- si ohjata ja rajoittaa siten, että suoja kohdentuu palon juureen.

## Juurensuojaus

### Vesiliukoinen paperi



### Paisuva juurensuojauslaippa



Kuva 13: Juurensuojausmenetelmiä (8).

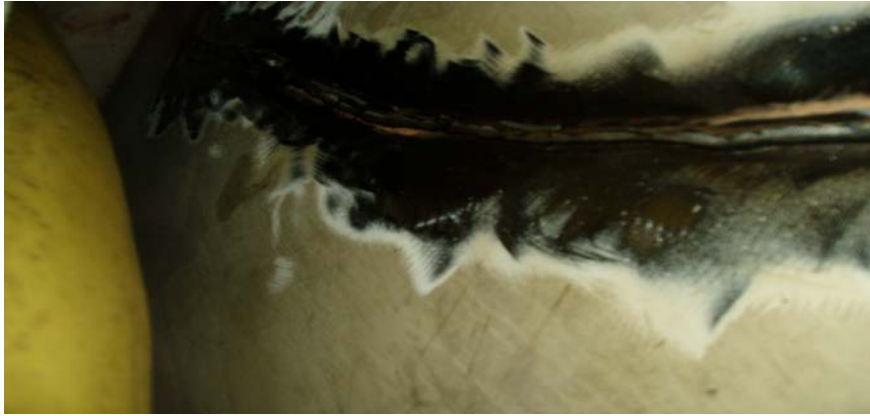
Juuri voidaan tukea käyttämällä metallisia lappuja tai keraamisia juuritukia, kun on tarpeen auttaa juuren suojausta tai tukea palkoa voimakkaasti lämpöä johtavien materiaalien kanssa. Haastattelujen perusteella tätä menetelmää oli käytetty harvoin tai se ei ollut lainkaan tuttu.



Kuvat 14ja 15: Nikkeli-kupariputken sauman vajoama ilman juuritukea.

Murtuneen teräskappaleen tai valun korjaamisessa on otettu vähemmän huomioon rai-  
lon riittävä avaaminen siten, että vaurioitunut alue saadaan todella poistettua. Railo  
voidaan avata esimerkiksi käyttämällä kulmahiomakonetta. Usein tarkoitukseen käyte-  
tään hiilitalttausta, mutta tähän tarvittavia varusteita ei haastattelujen perusteella aluk-  
silla ollut. Alla olevassa kuvassa (kuva 16) on generaattorin jalan murtuma avattu aina  
murtuman päihin porattuihin reikiin asti.





Kuva 16: Hiilitalttaamalla avattu murtuma.



Kuva 17: Murtumakohtaa avattu kulmahiomakoneella.

#### 3.5.4 Hitsausvirheet, hitsin jälkikäsitely ja tarkastus

Laivaolosuhteissa tapahtuvissa korjauksissa merkittävimmät hitsausvirheet syntyvät huolimattomuudesta hitsin valmistelussa, hitsattaessa tai jälkikäsitelyn puutteesta. Tämän opinnäytetyön alkupuolella, laivalla esiintyvien perusaineiden ominaisuuksia käsittelevissä osissa, käsitellään esimerkiksi oksidikerroksien vaikutusta metallin korroosion suojaan. Tässä tapauksessa ei niinkään käsitellä itse hitsaajan tekniikan puutteellisuutta. Monesti tyypilliset virheet vältettäisiin hyvin yksinkertaisilla toimenpiteillä ennen ja jälkeen itse hitsauksen. Puhdistamatta jääneet epäpuhtaudet hitsauskohdassa tai kosteus puikoissa ja perusaineessa aiheuttaa huokosia, roiskeet ja sytytysjäljet rikkovat suojaavan oksidikalvon. Juurenpuolen riittämätön kaasusuojaus ja/tai puhdistuksen ja hionnan laiminlyönti aiheuttaa hapettumia ja huokosia juuren puolelle.(2)



Kuva 18: Halkeama kertaalleen paikatussa teräsputkessa.



Kuva 19: Paikattu kulkusillan alumiinikaide.

Hitsauksen jälkeen sauma ja sen ympäristö jää muuta perusainetta alttiimmaksi korroosiolle. Lisäksi voimakas lämpökäsittely on saattanut aiheuttaa kappaleeseen jännityksiä. Muutenkin hitsatulla kohdalla on erilainen geometria, mikrorakenne sekä lujuusominaisuudet ympäröivään aineeseen verrattuna. Korroosionkestokyvyn palauttamiseksi käytetään laivoilla rungon katodisen suojauksen lisäksi lähinnä hiontaa ja harjausta. Harjauksessa on muistettava käyttää puhtaita välineitä ja etenkin RST:n tapauksissa myös RST-harjoja. Kappale kannattaa jäähdyttää ennen hiontaa, jotta lämpötila ei nousisi yli 300 °C, minkä jälkeen erityisesti ruostumaton teräs kannattaa käsitellä typpihapolla hiontajäänteiden liuottamiseksi. Peitattaessa tulisi lämpötilan olla kuitenkin hieman kohollaan, ainakin yli 25 °C:n.(1:197;2)





Kuva 20: RST-laippa ja putki tig-hitsattu, harjattu ja peitattu sivelemällä peittausneste suoraan saumalle.

Normaalissa laivatyössä hitsaaja tarkastaa hitsin silmämääräisesti. Paineistettavien putkien tapauksessa suoritetaan joskus painekoe käsipumpulla.

#### 4 PARANNUSEHDOTUKSIA OPINNÄYTETYÖN POHJALTA

Opinnäytetyössä yritin sovittaa konepajoissa olevia työtapoja laivaympäristöön. Jouduin kuitenkin huomaamaan, että nämä menetelmät vaativat monesti liikaa aikaa tai liian kalliita laitteita, jotta ne toimisivat myös aluksen pajalla. Lopulta pyrin löytämään yksinkertaistettuja tapoja, joita voisi siirtää laivoille.

Hitsaustyö laivalla muistuttaa enemmän autotallipajaa kuin konepajaa ja on onnistuminen riippuu paljon osaavasta hitsaajasta. Hitsaustaidon tulisikin olla huomattavasti tärkeämmässä asemassa koulutuksessa rautalaivojen aikakaudella, kuin se tämän opinnäytetyön perusteella on.

##### 4.1 Työohjeet ja hitsaajien koulutus

Monelle laivalle on hankittu jonkinlainen hitsausopas, josta löytyy yleensä jonkun tietyn valmistajan ohjeita hitsauksesta ja etenkin kyseisen valmistajan lisäaineen valitsemisesta. Koska korjausmiehet ovat yhä nuorempia, toin esille eräänlaisen hitsaustietopankin perustamisen. Tietopankissa olisi yleisiä ohjeita lisäaineen ja hitsaustavan valinnasta sekä hitsauksen suorituksesta lyhyesti erilaisille perusaineille. Tämän teettämisen ulkopuolisella hitsausinsinöörillä tulisi lyhyen selvityksen perusteella kuitenkin

kin maksamaan tuhansia euroja(7). Jopa yksinkertaisenkin tietopankin luominen ja ylläpito vaatisi resursseja, joita ei oltaisi valmiita näin marginaaliseen projektiin kohdentamaan.

Ehdotin, että uusia korjausmiehiä vakinaistettaessa kulloisenkin yhtiön tarpeisiin räätälöitäisiin pakollinen kurssitus hitsauksesta, jolloin eri lähtötasoja päivitetäisiin vastaamaan haluttua taitotasoa hitsauksessa. Opinnäytetyötä varten tehdyt havainnot tämän hetken hitsausosaamisesta eivät vastanneet teknisen johdon odotuksia. Kurssituksen tulisi sisältää erityisesti kulloisenkin varustajan laivoilla käytössä olevien hitsausprosessien harjoituksia sekä erityisesti näillä laivoilla esiintyvien, hieman erikoisempien perusaineiden harjoituksia ja teoriaa.

#### 4.2 Hitsauslisäaineiden hankinta ja säilyttäminen

Haastatteluissa käytiin jonkin verran keskustelua hitsauspuikkojen säilyttämisestä ja hankinnasta. Käytäntönä näytti olevan, että avoimia, saman lisäainepaketteja on usein paljon ja ne ovat saattaneet olla auki pitkäänkin, jolloin ne monesti keräävät kosteutta. Lisäaineiden hankkimisen voisikin suunnitella siten, että tarvittavat hitsauslisäaineet olisi määritelty ja ylläpidettäisiin vain tietyn kokoista varastoa. Lisäksi toteuttamiskelpoisena ehdotuksena pidettiin pienikokoisen kuivatusuunin hankkimista.

#### 4.3 Peittausnesteet

Yksinkertainen tapa jälkikäsitellä ruostumattoman teräksen saumat säilyttämään korroosionsietokykynsä on peitata ne, ja joissakin aluksissa oli tätä varten rakennettuja tai hankittuja altaitakin. Peittausneste voidaan myös sivellä suoraan hitsaussaumalle. Tätä menetelmää myös kokeiltiin ja se todettiin käytännölliseksi. Suoria tuloksia korroosionkestosta ei näin lyhyellä aikavälillä kuitenkaan ole. Typpihappo (HNO<sub>3</sub>) -pohjaisessa peittausnesteessä peittausaika on 15 - 30 minuuttia ja lämpötilan tulisi olla yli 25 °C (1:197). Typpihapon avulla häviävät myös hiontajäämät hionnan jälkeen.

### 5 YHTEENVETO

Jo hyvin aikaisessa vaiheessa huomasi olleeni liian optimistinen arvioidessani mahdollisuuksia muuttaa hitsaustyötä laivoilla lähemmäksi maissa konepajoilla toteutettavaa korjaushitsausta. Kuitenkin hitsaustöiden toteutus vastasi paljolti ennakkoon olet-

tamaani. Työn edetessä ja useampia pitkään työskennelleitä tai päättävässä asemassa olevia merenkulun ammattilaisia haastateltuani huomasin, että yhä useammin vastaan tuli lause ”mitä yksinkertaisempi sen parempi”. Tässä opinnäytetyössä onkin lopulta tuotu esiin vain muutama ehdotus työtapojen muuttamisesta. Keskeisemmin mielestäni parannusta voidaan saada aikaan koulutuksella. Enemmän olisin halunnut tässä työssä perehtyä ongelmallisiin hitsauskohteisiin sekä siihen, miten ne saataisiin toteutettua laivalla ilman ulkopuolista työvoimaa. Tämä ei kuitenkaan toteutunut kuin juuri muutamien apulaitteiden hankintasuosituksena. Enemmän eri ongelmakohteisiin perehtyvä työ olisi vaatinut paremman mahdollisuuden tutustua eri laivoilla itse työhön sen ollessa käynnissä. Toivottavasti tästä opinnäytetyöstä saadaan ajatuksia jatkaa joillakin näistä ongelma-alueista aina hitsausvarusteiden hankinnan optimoinnista laivakorjausmiesten koulutuksen parantamiseen.

## LÄHTEET

1. Hitsauksen materiaalioppi 2004. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry.
2. Erimuotoiset railot [verkkodokumentti]. Viitattu 13.04.2011. Saatavissa: [http://projektit.turkuai.fi/virtuaalikouluhankkeet/hitsaus/1\\_hitsaus/1\\_7\\_erimuotoiset\\_railot.htm](http://projektit.turkuai.fi/virtuaalikouluhankkeet/hitsaus/1_hitsaus/1_7_erimuotoiset_railot.htm)
3. Prof. Jukka Martikainen. Luentomateriaali 30.09.2008
4. Mig/mag- umpilangat [Verkkodokumentti]. Viitattu 13.04.2011. Saatavissa: [http://www.somotec.fi/Web\\_page\\_attachments/2000\\_MIG\\_MAG\\_langat/2008\\_MIG\\_umpilangat.pdf](http://www.somotec.fi/Web_page_attachments/2000_MIG_MAG_langat/2008_MIG_umpilangat.pdf)
5. Finanssialan keskusliitto.2010. Tulityöt suojeleuohje 2011.[verkkodokumentti]. Saatavissa: [http://www.fkl.fi/www/page/fk\\_www\\_4862](http://www.fkl.fi/www/page/fk_www_4862) (viitattu tammikuussa 2011)
6. Konepäälliköiden haastattelut. Kesä 2010 - kevät 2011.
7. Yli-Petäys, M. Puhelinhaastattelu. Kevät 2011.
8. Raekorpi, P., Kemppe Oy. 2009. Hitsauskurssimateriaali.
9. Häkkinen, P.1993. Laivan koneistot. Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu, laivalaboratorio.

**QW-482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)**  
 (See QW-201.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

Company Name USNAVY By: M. KONSCAK  
 Welding Procedure Specification No. 1111 Date 4/26/90 Supporting PQR No.(s) 1111-A1  
 Revision No. N/A Date N/A  
 Welding Process(es) S.M.A.W. Type(s) MANUAL  
 (Automatic, Manual, Machine, or Semi-Auto.)

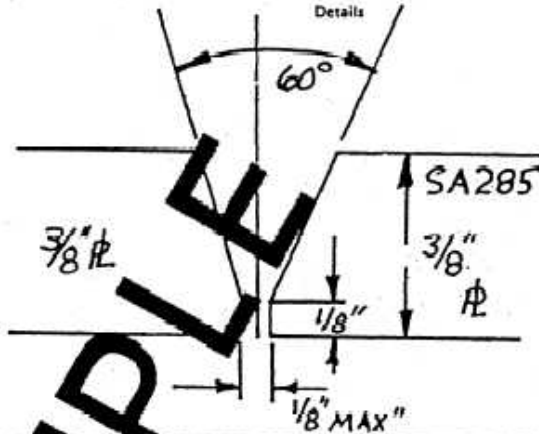
**JOINTS (QW-402)**

Joint Design BU-1  
 Backing (Yes) \_\_\_\_\_ (No) X  
 Backing Material (Type) N/A  
 (Refer to both backing and retainers.)

- Metal  Nonfusing Metal  
 Nonmetallic  Other

Sketches, Production Drawings, Weld Symbols or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the root spacing and the details of weld groove may be specified.

(At the option of the Mfr., sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers and bead sequence, e.g. for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)



**\*BASE METALS (QW-403)**

P-No. 1 Group No. 1 to P-No. 1 Group No. \_\_\_\_\_  
 OR  
 Specification type and grade SA-285-C  
 to Specification type and grade SA-285-C  
 OR  
 Chem. Analysis and Mech. Prop. A-1  
 to Chem. Analysis and Mech. Prop. A-1  
 Thickness Range: \_\_\_\_\_  
 Base Metal: Groove 3G Fillet N/A  
 Pipe Dia. Range: Groove 2 1/4" + DTA Fillet N/A  
 Other \_\_\_\_\_

**\*FILLER METALS (QW-404)**

	<u>1/8" E-6011</u>	<u>1/8" E-7018</u>
Spec. No. (SFA)	<u>SFA 5.1</u>	<u>SFA 5.5</u>
AWS No. (Class)	<u>E-6011</u>	<u>E-7018</u>
F-No.	<u>F-3</u>	<u>F-4</u>
A-No.	<u>A-1</u>	<u>A-1</u>
Size of Filler Metals	<u>1/8"</u>	<u>1/8"</u>
Deposited Weld Metal	<u>6"-12"</u>	<u>6"-12"</u>
Thickness Range:	<u>1/8"</u>	<u>1/8"</u>
Groove	<u>OPEN V GROOVE</u>	<u>OPEN V GROOVE</u>
Fillet	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Electrode-Flux (Class)	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Flux Trade Name	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Consumable Insert	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Other	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>

\*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.