

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma / merenkulkualan insinöörin suuntautumisvaihtoehto

Niko Honkasalo

VEDENALAISET KORJAUSHITSAUKSET

Opinnäytetyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulku

HONKASALO, NIKO

Vedenalaiset korjaushitsaukset

Opinnäytetyö

42 sivua + 7 liitesivua

Työn ohjaaja

Lehtori Ari Helle

Toimeksiantaja

KymiTechnology

Toukokuu 2012

Avainsanat

korjaushitsaus, märkähitsaus, kuivahitsaus, vedenalainen hitsaus, hitsaus, korjaus

Opinnäytetyössä esitellään ja analysoidaan vedenalaista korjaushitsausta, ja selvitetään erityisesti sen käyttökelpoisuutta alusympäristön korjauksissa. Tavoitteena oli muodostaa täydellinen kokonaisuus, jonka avulla myös ne, joille asia on entuudestaan täysin tuntematon, kykenevät muodostamaan kattavan kokonaiskuvan vedenalaisen korjaushitsauksen tekniikoista, metallurgiasta, ongelmista, laitteistosta, mahdollisuuksista, dokumentoinnista, luokituksesta, hitsien testauksista, alan koulutuksesta sekä tulevaisuuden näkymistä.

Materiaalia työhön kerättiin alan ammattijulkaisuista, hitsausalan oppikirjoista, asiantuntijahaastatteluilta sekä perehtymällä suoritettuihin vedenalaisiin korjaushitsauksiin. Materiaalia analysoimalla selvisi, että erityisesti märkähitsaus on taloudellinen tapa suorittaa pieniä korjaushitsauksia aluksille, mutta siihen liittyvien materiaalitekniisten ongelmien takia luokituslaitokset eivät, harvoja poikkeuksia lukuun ottamatta, luokitoida korjauksia pysyviksi; kuivahitsaus on pysyvämpi, mutta kalliimpi vaihtoehto.

Hitsaustekniikat ja lisäaineet kehittyvät kaiken aikaa, ja se mahdollistaa sen, että luokituslaitokset alkavat suhtautua suopeammin märkähitsaukseen. Nykyisin saavutettava väliaikainen luokitus korjaukselle voidaankin nähdä lähinnä kompromissina, jonka avulla alus voi suunnitella korjaustelakoinnin löysemällä aikataululla, mikä mahdollistaa sen, että korjaustoimet aiheuttavat mahdollisimman vähän haittaa aluksen liikennöinnille.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Degree Programme in Marine Technology

HONKASALO, NIKO

Underwater Repair Welding

Bachelor's Thesis

42 pages + 7 pages of appendices

Supervisor

Ari Helle, Senior Lecturer

Commissioned by

KymiTechnology

May 2012

Keywords

repair welding, wet welding, dry welding, underwater welding, welding, repairing

This thesis examines underwater repair welding, analyzing especially its usability in ship repairs. The aim was to form a complete document allowing any reader to form a general view on the techniques, metallurgy, issues, equipment used, possibilities, documentation, classification, weld testing, education and competencies and prospects in the field of underwater repair welding.

The required knowledge to analyze underwater welding was obtained from technical journals, welding textbooks, expert interviews and by studying underwater welding repairs performed by professionals. The analysis revealed wet welding to be a financially sound solution to perform small repairs. However, due to difficulties in the metallurgy and material technology involved, these repairs are rarely classified as permanent repairs. Dry welding was found to provide more permanent solutions at a higher cost.

The on-going research on filler materials and techniques has further improved the possibilities this technology can provide. The current negative attitudes of the classification societies towards wet welding are likely to become more favourable as more development is made. The temporary classifications gained for repairs today can mostly be seen as a compromise to allow the shipping companies to organize permanent repairs more flexibly so the necessary repairs affect the ship's normal service as little as possible.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	VEDENALAINEN HITSAUS	7
2.1	Kuivahitsaus	7
2.2	Märkähitsaus	9
2.3	Vedenalaisen hitsauksen metallurgia	12
2.3.1	Vedenalaisen hitsin muodostuminen ja vyöhykkeet	13
2.3.2	Hitsin karkeneminen ja vetyhalkeilu	14
2.3.3	Hitsin huokoisuus	16
2.3.4	Magneettinen puhallus	17
2.4	Laitteisto ja lisäaineet	18
2.4.1	Oheis- ja turvalaitteet	20
2.4.2	Perusaine ja hitsauspuikot	22
2.5	Yleisimpiä korjauskohteita ja menetelmiä	24
2.5.1	Runkovauriot	24
2.5.2	Peräsinvauriot	25
2.5.3	Muut vauriot	26
2.6	Dokumentointi	27
3	KORJAUSTEN LUOKITUS, SÄÄNNÖKSET JA KOESTUSMENETELMÄT	27
3.1	Korjaushitsaukset ja luokituslaitokset	27
3.2	Märkähitsien standardisoitu laatuluokitus	29
3.3	NDT-menetelmät	30
3.3.1	Visuaalinen tarkastus	30
3.3.2	Magneettijauh tarkastus	30
3.3.3	Tunkeumanestetarkastus	31
3.3.4	Ultraäänitarkastus	32
3.3.5	Radiografiset tarkastukset	33

3.3.6 Yhteenveto NDT-menetelmistä	34
4 KOULUTUS JA PÄTEVYYDET SUOMESSA	35
4.1 Sukelluskoulutus ja pätevyudet	35
4.2 Hitsaussukeltajan pätevyudet	36
5 KEHITYSTYÖ JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	37
6 YHTEENVETO	39
LIITTEET	
Liite 1. Märkähitsauksessa yleisimmin ilmeneviä hitsausvirheitä	
Liite 2. Suoritettuja vedenalaisia korjaushitsauksia	
Liite 3. Märkähitsauksen alustava hitsausohje (P-WPS)	

1 JOHDANTO

Nykyaikaisessa merikuljetuksessa korostuu aikataulujen tärkeys ja pyrkimys mahdollisimman vähäisiin seisonpäiviin. Rungon ja koneistojen huollon osalta tähän on pyritty suunnittelemalla kuivatelakoinnit tarkasti jo pitkiä aikoja etukäteen. Pyrkimys välttää suunnittelemattomia seisonpäiviä ja etenkin kuivatelakointeja on merkittävää aikataulussa pysymisen kannalta. Toisinaan esimerkiksi luonnollisesta kulumisesta, mekaanisesta rasituksesta, inhimillisestä erehdyksestä tai materiaaliiviasta johtuen laivan vedenalaiset osat kärsivät vahinkoa, jonka korjaaminen laivan oman henkilöstön voimin on mahdotonta ilman kuivatelakointia. Tuolloin vedenalainen korjaushitsaus voi monesti säästää aikaa, rahaa ja vaivaa.

Vedenalaisen hitsauksen tekniikka on kehittynyt vuotavien niittausten väliaikaisista korjauksista nykypäivän suuriinkin korjauksiin, joissa on jopa vaihdettu kokonaisia laivan rungon osioita esim. MS Navios Sagittarius 2011 (Hydrex (183) 2011, 5-10). Hyvän vedenalaisen hitsaustuloksen on mahdollistanut se, että ymmärretään hitsauspuikkojen päällysteiden ja sydänlangan seostuksen vaikutus hitsaukseen, sekä se, että hitsauspuikkojen vesieristys on kehittynyt. Siihen, että vedenalainen hitsaus on yleistynyt käytettävänä korjaustekniikkana, on olennaisesti vaikuttanut myös mahdollisuus toteuttaa pieniä korjauksia nopeasti sekä huomattavan edullinen hinta. Kasvaneet mahdollisuudet ja tekniikan yleistymisen antoivat aiheen selvittää vedenalaisen hitsauksen käyttökelpoisuutta ja mahdollisuuksia laivojen korjauksissa.

Opinnäytetyössä on tarkoitus analysoida vedenalaisen hitsauksen teoriaa, menetelmiä, mahdollisuuksia, välineistöä sekä korjauksiin liittyviä ongelmia. Vedenalaisista hitsauksista esitellään nykyään käytössä olevat tekniikat, mutta tarkempi analyysi rajoittuu aluksille yleisimmin käytettyihin korjaushitsaustekniikoihin. Olennaisia aluspuolen korjaushitsauksissa ovat luokituslaitokset, joten töiden suorittamiseen vaadittaviin pätevyysiin ja lopputuloksen tarkastustekniikoihin perehdytään sekä pyritään selvittämään luokituslaitosten tämänhetkistä kantaa ko. korjauksiin. Siellä missä mahdollista, suoritettavia korjauksia pyritään vertaamaan optimaalisissa oloissa suoritettaviin hitsauksiin, jotta lukijalla olisi selvä vertailukohta. Tavoitteena on toteuttaa kokonaisuus, jonka avulla asiaan entuudestaan perehtymättömätkin pystyvät muodostamaan kokonaiskuvan vedenalaisista korjaushitsauksista.

2 VEDENALAINEN HITSAUS

Vedenalaiseksi hitsaukseksi käsitetään kaikki vedenpinnan alapuoliset hitsaustapah-
tumut. Karkeasta jaottelusta huolimatta hitsaustekniikat, käytettävät materiaalit sekä
saavutettava lopputulos vaihtelevat paljon työkohteiden välillä. Tässä osiossa käsitel-
lään erilaisten hitsausmenetelmien eroja, niihin liittyvää metallurgiaa sekä käytettäviä
laitteistoja ja lisäaineita. Kuten aina ennen hitsausta, tulee hitsattava kohde puhdistaa
huolellisesti ruosteesta ja kasvustosta paljaalle metallille. Veden alla työ suoritetaan
yleensä joko hydrauliiikan tai pneumatiikan avulla toimivilla työvälineillä tai täysin
manuaalisesti. (Pukki 2012.)

Tärkein valinta vedenalaisessa hitsauksessa on kuivan ja märän hitsausympäristön vä-
lillä. Tekniikat eroavat toisistaan valtavasti käyttökelpoisten laitteiden, työskentely-
olosuhteiden, kustannusten sekä lopputulosten kesken. Molemmat tekniikat luetaan
vedenalaiseksi hitsaukseksi, mutta koska märkähitsaukset ovat laivapuolen korjauksis-
sa huomattavasti yleisemmin käytössä, keskitytään tässä opinnäytetyössä märkähitsa-
uksen tutkimiseen ja analysointiin

Korjauksen luokituksen kannalta on olennaista, toteutetaanko korjaus ns. insertillä vai
dubblerilla. Insertillä korjattaessa korjattava osa leikataan pois ja korvataan uudella
metallilevyllä. Tällöin hitsaus on toteutettava aina kuivahitsauksella. Dubblerilla puo-
lestaan tarkoitetaan korjattavan kohdan päälle hitsattavaa metallilevyä, jolloin korjat-
tava kohta jätetään levyn alle. Tällöin korjaus voidaan toteuttaa myös märkähitsauk-
sella. Lloyd's Registerillä on esimerkiksi vallitseva käytäntö luokitaa dubblerkorjauk-
set väliaikaisiksi, kun taas inserttikorjaus voidaan tapauskohtaisesti luokitaa myös py-
syväksi. (Björkestam 2012.)

2.1 Kuivahitsaus

Erityisen tarkoissa hitsaustöissä, joissa vedenalaisen hitsisauman on tarkoitus jäädä
pysyväksi osaksi konstruktiota, tukeudutaan yleensä kuivahitsaukseen (engl. Dry wel-
ding). Periaatteena on joko muodostaa hitsattavan kohdan ympärille paineistettava
suojarakenne (engl. Mini-habitat) tai vesirajassa hitsatessa rakentaa vesitiivis mekaa-
ninen este työkohteen ja veden väliin (engl. Cofferdam / Caisson). Paineistettava suo-
jarakenne paineistetaan ympäröivän veden hydrostaattista painetta suuremmaksi (riip-
puvainen työskentelysyvyydestä sekä veden suolapitoisuudesta) ja näin saadaan ja yl-

läpidetään kuiva hitsausympäristö. Vesirajassa kofferdamilla erotetuissa kohteissa rakenteen yläosa on monesti ylhäältä avoin, jolloin työskentelysyvyyttä rajoittaa suojarakenteen fyysinen koko. (USN 2002, 81.)

Vaikka työympäristö on kuiva, ei se kuitenkaan täysin vastaa optimaalista hitsausympäristöä etenkin paineistetuissa vaihtoehdoissa. Paineistetun suojarakenteen sisällä vallitseva paine on poikkeuksetta ilmakehän painetta suurempi, jolloin on riskinä, että hitsin sulaan liukenee ympäröivästä ilmasta suuria määriä kaasuja, jotka huonontavat saumaa. Ongelmaa pyritään vähentämään paineistamalla suojarakennus ilman sijaan heliumin ja hapen seoksella, jolloin pystytään lähes eliminoimaan typen liukeneminen hitsiin. Lisäksi työskentelysyvyyden kasvaessa noin kahteenkymmeneen metriin (tarkka syvyys riippuu vedenpinnantasolla vallitsevasta ilmanpaineesta sekä veden suolapitoisuudesta) tulee kaasuseoksen olla mahdollisimman inerttiä, koska paineen mukana kasvava hapen osapaine lisää palovaaraa, mikä tulee huomioida tulitöitä suoritettaessa (USN 2002, 81). Myös sukeltajantautia voidaan ehkäistä poistamalla typi hengitettävästä ilmasta. Kuiva ympäristö mahdollistaa kaarihitsaustekniikoiden lisäksi myös kaasukaarihitsauksen, jolloin ympäröivien kaasujen liukeneminen sulaan pienee entisestään aktiivisen tai inertin suojavaaran ansiosta. Esimerkiksi TIG-hitsaus on tärkeä tekniikka erityisesti vedenalaisten putkilinjojen yhdistämisessä ja korjauksissa, koska sillä saavutetaan hyvä tunkeuma ja sulan hallinta lukuisissa metallisissa perusaineissa; vedenalaisissa laivakorjauksissa kaasukaaritekniikalla ei tosin saavuteta suuria hyötyjä kaarihitsaukseen verrattuna. (Joshi; Lukkari 1997, 249-255.)

Suojarakennetekniikan suurin haitta on sen korkea hinta. Suojarakenteen tulee olla muodoltaan hyvin kohteen muotoja mukaileva; putkistokorjauksissa samaa rakennetta voi usein hyödyntää useammassa kohteessa, mutta laivojen tapauksissa tulee monesti suunnitella ja rakentaa uusi rakenne. Suojarakenteen hinta kasvaa lisäksi valtavasti suunnitellun työskentelysyvyyden mukana. Työskentelyyn riittävän kokoisen suojarakenteen sijoittaminen työkohteen ympärille voi olla toisinaan mahdotonta tai erittäin työlästä, jolloin märkähitsaus on ainoa toimiva vaihtoehto veden alla suoritettavaan korjaukseen.

Viime aikoina on yleistynyt myös toimintatapa, jossa pieni vaurioitunut alue erotetaan merestä täysin tiiviillä kofferdamirakenteella. Etuna on, että tällöin vaurioitunut pala voidaan leikata pois aluksen sisäpuolelta käsin ja korvata uudella insertillä. Vaurion

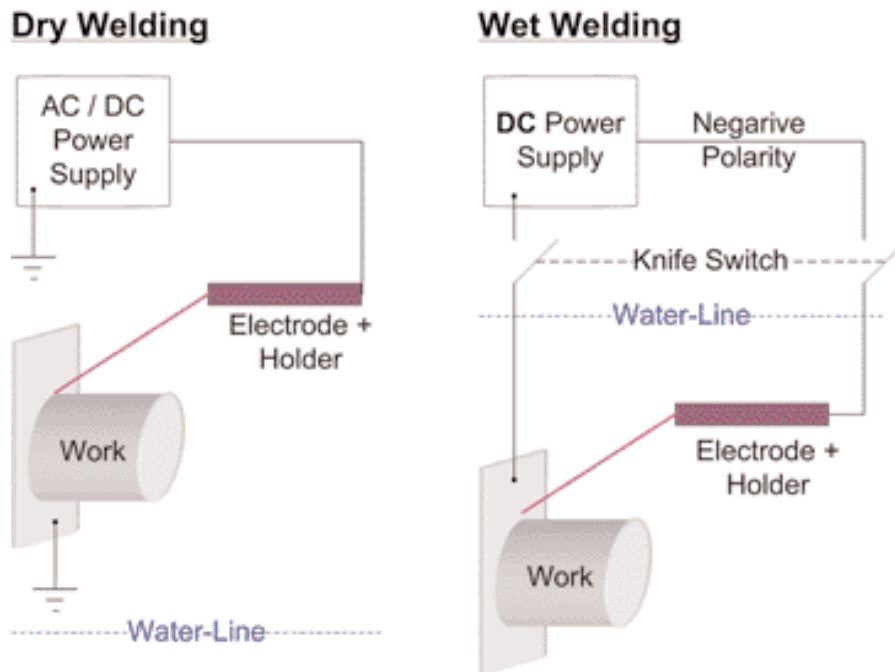
koosta ja sijainnista riippuen tämä toimintatapa tulee suhteellisen halvaksi, ja monesti luokituslaitos hyväksyy sen pysyväksi korjaukseksi, koska iso osa hitsauksesta on kuivahitsausta. (Hydrex 2012, 5-11.) Olennaista on huomioida tekniikan käyttökelpoisuus ainoastaan silloin, kun kohteen molemmin puolin pääsee työskentelemään.

Voidaankin todeta kuivan ympäristön hitsauksen olevan soveltuvin osin laivojen korjaushitsauksiin sopiva. Vaikka kuivahitsauksella saavutetaan pysyvämpiä korjauksia, suurempi kokonaiskustannus, aikaa vievät valmistelut sekä kallis hinta heikentävät tekniikan kilpailukykyä. Tosin jos tekniikan avulla pystytään välttämään suunnittelematon kuivatelakointi, eikä samaan tulokseen päästä märkähitsaustekniikoilla, on vedenalainen kuivahitsaus huomioon otettava vaihtoehto.

2.2 Märkähitsaus

Yleisin vedenalainen hitsaustekniikka on ns. märkähitsaus (engl. Wet welding). Niimensä mukaisesti hitsaus tapahtuu makean tai suolaisen veden ympäröimänä, ilman mekaanista erottavaa suojarakennetta, hitsaajan ollessa vedessä (SFS 15618-1 2001, 12). Tekniikan yleistymisen korjaushitsauksissa on mahdollistanut kohtuullinen hintataso, pieni tilantarve työympäristössä sekä vähäisten ennakkovalmisteluiden tarve. Lisäksi vaadittava kalusto saadaan siirrettyä työkohteeseen nopeasti ja pienellä vaivalla. (Pukki 2012.)

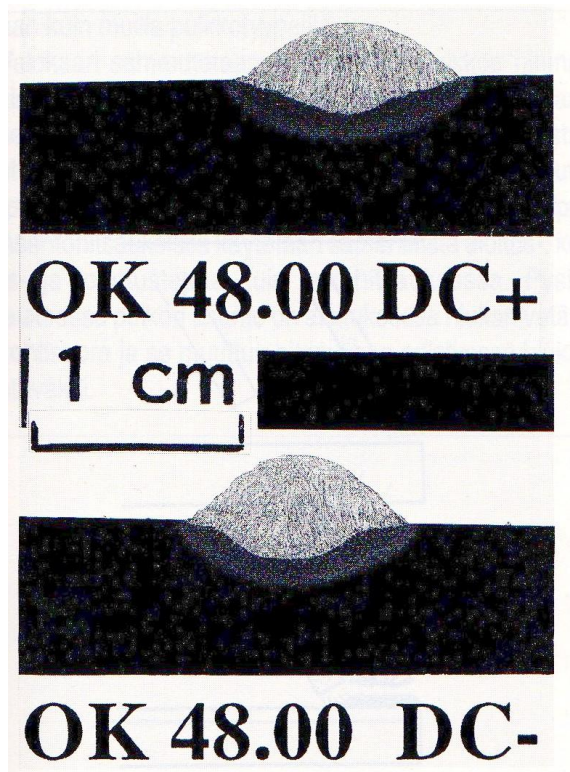
Märkähitsauksen periaate on teknisesti verrattavissa työpajalla toteutettavaan kaarihitsaukseen. Huomattavaa on kuitenkin, että määrän ympäristön hitsauksessa käytetään aina tasavirtaa (DC), koska vaihtovirta (AC) on työn suorittajalle vaarallisempaa. Tasavirta on käyttökelpoisempi myös, koska valokaari palaa tasaisemmin ja varmemmin, kun polaarisuus ei vaihdu kesken prosessin. Sähköturvallisuussyistä hitsausvirtapiirin tulee olla varustettu vesirajan yläpuolelle sijoitetulla katkaisijalla, joka kykenee avaamaan virtapiirin (kuva 1). Katkaisija pidetään turvallisuussyistä, sekä tyhjäkäyntivirran ylläpitämisen elektrolyysin aiheuttaman korroosion ehkäisemiseksi auki aina, kun hitsaustapahtuma ei ole käynnissä. Katkaisijan toimintaa, suositeltuja tyyppisiä sekä asennustapoja on kuvailtu tarkemmin kohdassa 2.4.1 Oheis- ja turvalaitteet. (Feeleus 2007, 25; USN 2002, 114 – 121.)



Kuva 1. Hitsausteholähdejärjestelyt märkä- ja kuivahitsauksissa (Feeleus, 2007).

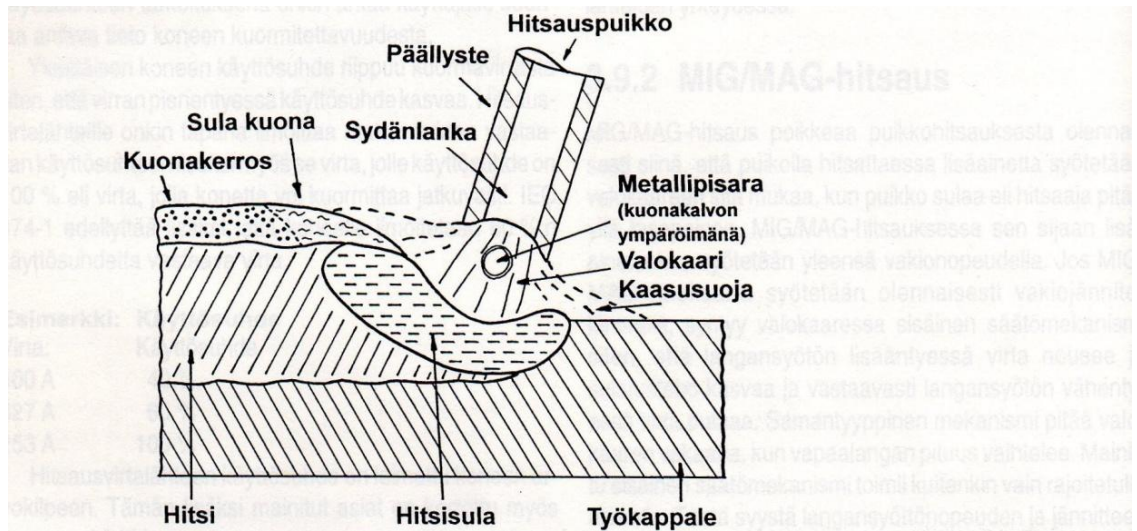
Optimaalisessa toimintaympäristössä tasavirtahitsauksessa voidaan polaarisuuden valinnalla vaikuttaa saavutettavaan tunkeumaan (kuva 2) kun tunnetaan positiivisen navan luontainen ominaisuus saavuttaa negatiivista napaa korkeampi lämpötila siihen iskeytyvien elektronien suuren liike-energian takia. Lisäksi lämpötilaan, ja sitä kautta tunkeumaan, vaikuttavat käytettävän hitsauspuikon ominaisuudet. (Lukkari 1997, 67.) Märässä ympäristössä hitsattaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon tasavirtahitsauksessa muodostuva hapetus-pelkistysreaktio elektrolyyttiliuoksessa, joka aiheuttaa anodisen metallin liukenemista virtapiiriin ollessa kiinni. Tästä syystä puikonpidin kytketään yleensä negatiiviseen napaan (ns. DC- / electrode negative -kytkentä) ja työkohte positiiviseen napaan, jolloin puikonpidin on ns. ulkopuolisella virtalähteellä katodisesti suojattu. Tilanteissa, joissa puikonpidin joudutaan kiinnittämään positiiviseen napaan (ns. DC+ / electrode positive -kytkentä), tulee puikonpitimen sisällä olevat metalliset osat pyrkiä eristämään mahdollisimman hyvin elektrolyyttiltä korroosion ehkäisemiseksi. Tällaisia tilanteita voivat olla esimerkiksi seuraavat:

- Hitsauspuikon valmistaja suosittelee näin tehtäväksi - erityisesti ruostumattoman teräksen hitsaukseen tarkoitetut puikot.
- Hitsauspuikko on suunniteltu sulamaan paremmin positiiviseen napaan kytkettynä.
- Sulan muodon ja tunkeuman hallitseminen vaatii sitä (esim. kuva 2).
- Vallitsevat magneettikentät vaativat sitä magneettisen puhalluksen rajoittamiseksi. (Pukki 2012; USN 2002, 85 – 87.)



Kuva 2. Napaisuuden vaikutus hitsin tunkeumaan emäspuikolla päällehitsissä (Lukkari 1997, 115.)

Hitsauspuikon sydänlankaa ympäröivän päällysteen merkitys märkähitsauksessa on suuri. Hitsin muodostumiseen vaikuttavien komponenttien lisäksi päällysteessä on aineita, jotka muodostavat kuumaa hitsiä suojaavan kuonakerroksen sekä sulaa suojaavan kaasusuojan (kuva 3). Optimaalisissa olosuhteissa hitsattaessa suojaavien aineiden tärkeimmät ominaisuudet ovat auttaa ylläpitämään valokaarta sekä suojata hitsiä ympäröivältä ilmalta. (Lukkari 1997, 97.) Normaalissa ilmanpaineessa kaasusuoja saadaan pienellä vaivalla pysymään sulan suojana, mutta veden alla hitsattaessa vallitseva hydrostaattinen paine, kapillaarivoima sekä mahdolliset virrat aiheuttavat ongelmia – kaasusuojan merkitys korostuu märkähitsin onnistumisessa. Kaasusuojan kannalta hitsauspuikon oikea kuljetusasento ja -nopeus ovat olennaisia tekijöitä. Väärin hitsattaessa suojakaasujen toiminta voi estyä täysin. Puikon asennon kannalta suurin riski suojakaasujen toiminnan estymiselle on, kun valokaaren annetaan kasvaa liian pitkäksi. Liian suuri kuljetusnopeus estää suojakaasun muodostumisen riittävällä nopeudella koko sulan suojaaksi. Liian hidas kuljetusnopeus puolestaan aiheuttaa kaasusuojan paineen kasvamisen siihen rajaan asti, että kapillaarivoima luhistaa suojan päästäen ympäröivän veden kosketuksiin sulan kanssa. (USN 2002, 87.)



Kuva 3. Puikkohitsaustapahtuma (Lukkari 1997, 88.)

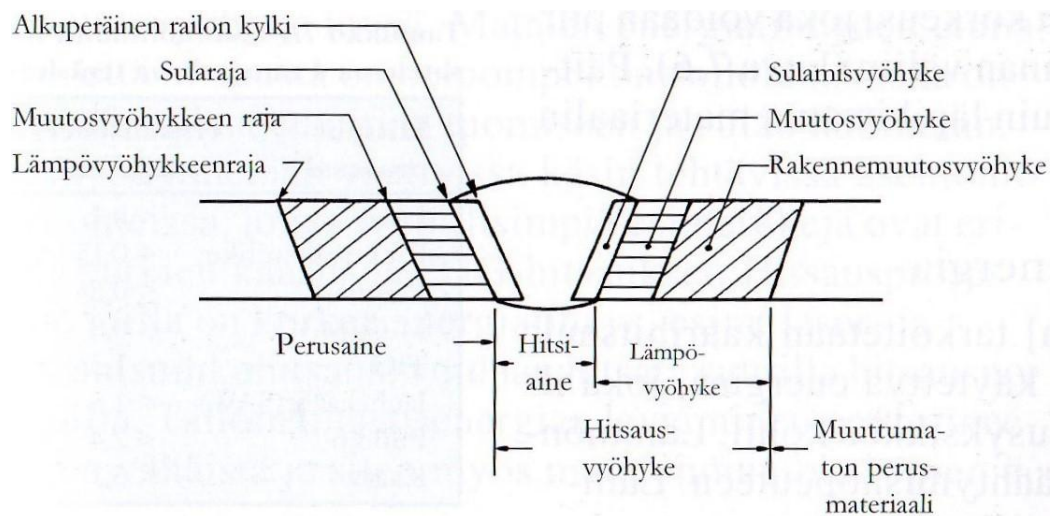
Ammattitaitoisessa työsuorituksessa oikein valitulla hitsipuikolla voidaan saavuttaa kuitenkin lähes optimaalisissa olosuhteissa suoritettua hitsausta vastaavia tuloksia. Suomessa ongelmia aiheuttaa etenkin huono näkyvyys, valaistuksen haasteellisuus vesien likaisuuden takia sekä vesien alhaiset lämpötilat. Lisäksi hitsattavan perusaineen vaikutus tällä tekniikalla on merkittävä. Käytettävän hitsauspuikon ja perusaineen materiaalin merkitystä hitsauksen onnistumisen kannalta analysoidaan luvussa 2.4.2. Vaikkei täydellisiin tuloksiin päästäisikään, on tekniikka kuitenkin nopeutensa ja kustannustehokkuutensa ansiosta sopiva erityisesti väliaikaiskorjauksiin, joiden avulla voidaan jatkaa liikennöintiä normaalisti seuraavaan suunniteltuun kuivatelakointiin asti.

2.3 Vedenalaisen hitsauksen metallurgia

Vedenalaisen hitsauksen ja ns. työpajahitsauksen periaate ja metallurgia ovat soveltuvin osin samanlaisia, mutta erityisesti märkähitsaus eroaa käytettävien materiaalien ja lopputuloksen osalta optimaalisessa ympäristössä toteutettuun hitsaukseen verrattuna. Vedenalaisiin hitseihin voi muodostua samanlaisia hitsausvirheitä kuin optimaalisissa olosuhteissa hitsattaessa, mutta tässä opinnäytetyössä analysoidaan ainoastaan niitä virheitä, joita poikkeavat olosuhteet aiheuttavat yleisesti, sekä niiden välttämismenetelmiä. Asia käsitellään näin, koska ainoastaan ammattitaitoisen hitsaajan tulee suorittaa ko. hitsauksia, jolloin tavallisimpien hitsausvirheiden määrä on pieni.

2.3.1 Vedenalaisen hitsin muodostuminen ja vyöhykkeet

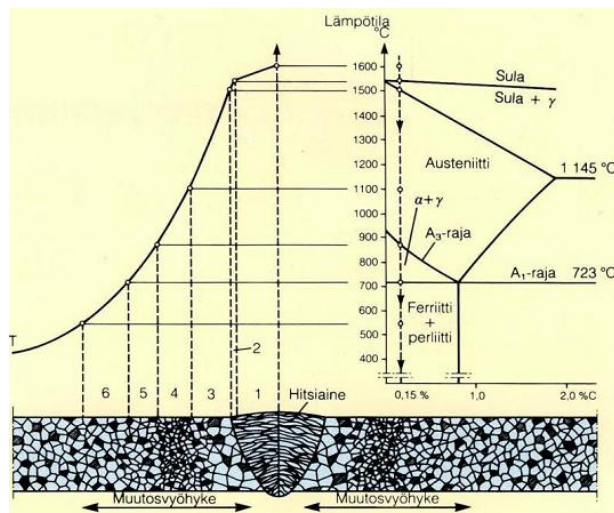
Hitsaus tarkoittaa osien toisiinsa liittämistä lämmön tai puristuksen avulla, jolloin muodostuu yhtenäinen kokonaisuus. Hitsaus voidaan toteuttaa perusaineita yhteen liittämällä tai käyttämällä lisäaineita, joiden sulamispisteet ovat riittävän lähellä perusaineen sulamispistettä. (Lukkari 1997, 11.) Vedenalaisissa hitsauksissa käytetään lähes poikkeuksetta lisäaineita. Hitsauksen metallurgiaa käsiteltäessä on olennaista huomioida lämmön tuonnin, lisäaineen tuonnin ja ympäristön vaikutus koko *muutosvyöhykkeellä* (kuva 4), vaikka hitsaustapahtuman aikana on jatkuvasti sulana vain perusaineen ja lisäaineen heterogeenisestä liuoksesta koostuva *hitsiaine*. *Muutosvyöhykkeen rajat* erottavat alueen, jonka sisäpuolella ollut metalli on ollut niin korkeissa lämpötiloissa, että siinä on tapahtunut kiderakenteen muutoksia. (Starck 2011, 10.) *Muutosvyöhyke* voi olla leveydeltään jopa viisi kertaa perusaineen paksuuden verran, mutta vedenalaisissa hitsauksissa ympäröivä vesi jäähdyttää hitsaustapahtuman ympäristöä runsaasti, mikä kaventaa *muutos- ja lämpövyöhykkeen* leveyksiä huomattavasti, ja samalla muutokset ovat voimakkaampia. Hitsauksessa syntyvä kaasusuoja syrjäyttää veden hitsitapahtumasta, jolloin ammattitaitoinen hitsaaja saa sauman parhaimmillaan virheettömäksi, mutta monesti ympäröivälle *muutosvyöhykkeelle* tapahtuviin metallurgisiin muutoksiin ei juurikaan voida vaikuttaa. Yleisimmät ongelmat hyvän hitsin muodostumiselle aiheuttaa ympäröivän veden sekä ylipaineen yhteisvaikutus. Etenkin huonolaatuista terästä hitsattaessa ongelmia voivat aiheuttaa myös perusaineen epäpuhtaudet, jotka kiteytyvät sulkeumiksi hitsiin, tai valmistusteknisten ongelmien aiheuttamat erot perusaineessa (esim. suotautuminen). (USN 2002, 82-83.)



Kuva 4. Hitsausliitoksen vyöhykkeet (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry. 2004, 91)

2.3.2 Hitsin karkeneminen ja vetyhalkeilu

Kauppalaivaston aluksista valtaosassa on teräksinen runko. Käytettävä teräs sisältää raudan lisäksi tietyn osan hiiltä sekä muita seosaineita. Hiiltä sisältävällä teräksellä tiedetään olevan taipumus *karkenemaan*, kun sopivat olosuhteet saavutetaan. Olennaisena osana karkenemista on teräksen lämpeneminen austeniittiselle alueelle (kuva 5), jolloin teräksen hilaan mahtuu liukenemaan ferriittistä hilarakennetta huomattavasti enemmän hiiltä; teräs austenitoituu. Samasta kuvasta voidaan huomata lähes koko hitsauksen muutosvyöhykkeen austenitoituvan osittain. Tämän tiedetään tapahtuvan diffuusion avulla, eli hilaan sitoutuva hiilen määrä riippuu alkutilanteen lisäksi myös ajasta, jonka teräs on austeniittia muodostavassa lämpötilassa; hitsattaessa aika jää suhteellisen lyhyeksi, jolloin austeniittia ei ehdi muodostua paljoa. Teräksen jäähtyessä hitaasti faasimuutoksen rajan yli austeniitista ferriitin ja sementiitin seokseksi, hiili ehtii diffuusiota pois hilarakenteesta ja rakenne palaa lähelle lähtötilannetta. Hitsattaessa veden alla tilanne on erilainen, koska ympäröivä vesi ns. *sammuttaa* teräksen, jolloin austeniitista muodostuu leikkautumalla *martensiittia*. Syntyvän martensiitin määrä on pitkälti riippuvainen olosuhteista, kuten hilarakenteen sisältämän hiilen määrästä ja sammutuksen toteutumisesta. Tätä kutsutaan karkaisuksi, jossa muodostuneet martensiittiset kiderakenteet ovat ferriittisen ja perliittisen matriisirakenteen seassa olevia kovia, mutta hauraita kohtia. Martensiitin hilarakenne on ympäröivää matriisia tilavuudeltaan huomattavasti suurempi, jolloin karkenemistapahtumassa on riskinä välitön halkeilu. Lisäksi sitkeyttänsä menettänyt martensiitti on herkempää halkeilemaan tai repeilemään, kun siihen kohdistuu jännityksiä. Näistä syistä karkeneminen on hitsauksessa ilmenevä ei-toivottu ominaisuus. (Lukkari 2000, 8-9; Starck 2011, 10-11.)



Kuva 5. Rauta-hiilitasapainopiirros ja hitsin lämpötilat (Starck 2011, 10.)

Jo pelkkä karkeneminen voi aiheuttaa murtumia, mutta yleensä hitsissä on mukana karkenemisen lisäksi myös ns. *vetytekijä* sekä *jännitystekijä*, jolloin puhutaan yleisesti vetyhalkeamasta, kylmähalkeamasta, karkenemishalkeamasta tai viivästyneestä halkeamasta. Vetyhalkeamia voi siis syntyä, kun hitsataan karkenevaa perusmateriaalia ja sulaan pääsee liukenemaan vetyä. Vaadittu jännitystekijä voi olla ulkoisten jännitysten lisäksi myös esimerkiksi hitsauksien aiheuttamista lämpöjännityksistä johtuvaa (kuva 6). Hitsattavan teräksen karkenevuutta ja sitä kautta myös hitsattavuutta ja vetyhalkeilutaipumusta voidaan arvioida teräksen *hiiliekvivalentin* avulla, josta käytetään alan kirjallisuudessa usein lyhennettä **CE** (engl. **Carbon Equivalent, Equivalent Carbon Content**). Hiiliekvivalentin laskemiseen on useampia likimääräiskaavoja, joista yleisimmin käytetty (kaava 1) sekä sen vaikutus hitsattavuuteen on esitelty alla olevassa taulukossa (taulukko 1). (Lukkari 2000, 8.) Optimaalisissa olosuhteissa esi- ja jälkilämmityksillä voidaan ehkäistä vetyhalkeilua, mutta vedenalaisessa hitsauksessa, etenkin märkähitsauksessa, näiden tekniikoiden käyttö on lähes mahdotonta.

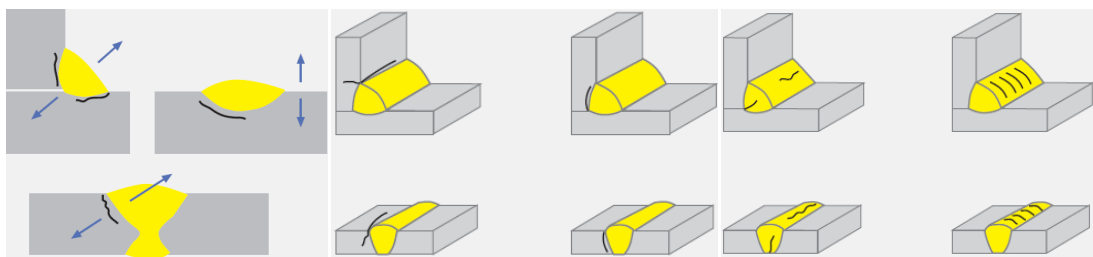
$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} * (\%) \quad (1)$$

Kaavassa (1) hiiliekvivalentti lasketaan ns. **IIW** (**I**nternational **I**nstitute of **W**elding) – kaavan mukaisesti. Kaavaan sijoitetaan seostusprosentit lisäainekohtaisesti. IIW – kaavassa otetaan huomioon ainoastaan hiilen (C), mangaanin (Mn), kromin (Cr), molybdeenin (Mo), vanadiumin (V), nikkelin (Ni) sekä kuparin (Cu) seostus sopivilla laskukertoimilla. Kaava on kehitetty kokeiden perusteella ja kelpaa parhaiten käytettäväksi hiili-, hiilimangaani- ja mikroseostetuille teräksille, kun niiden hiilipitoisuus on $\geq 0,16$ %. Hitsattavassa kohdassa olevan perusaineen seostussuhteet sekä sitä kautta hiiliekvivalentti voidaan laskea teräksen ainestodistuksen tiedoilla. (Suomen Hitsausteknillinen yhdistys ry. 2004, 104.)

Taulukko 1. Hiiliekvivalentti ja sen vaikutus hitsattavuuteen (Lukkari 2000, 8)

CE (%)	Hitsattavuus	Muuta huomioitavaa
< 0,40	Hyvä	Puikkojen kuivaus
0,40 – 0,50	Hyvä / kelvollinen	Niukkavetyiset lisäaineet ja puikkojen kuivaus
0,50 <	Heikko	Niukkavetyiset lisäaineet ja puikkojen kuivaus

Vaikka karkenevuus ja jännitys ovat olennaisessa osassa vetyhalkeilua, suurin yksittäinen tekijä on vedyn määrä hitsissä. Vety päätyy hitsiin yleensä hitsipuikon sydänlangan tai päällysteen epäpuhtauksista; erityisesti päällysteeseen sitoutunut kosteus lisää vedyn määrää hitsissä. (Lukkari 2000, 9.) Vedenalaisessa hitsauksessa vetyä voi liueta hitsiin helposti vallitsevan korkean paineen takia myös ympäristöstä, etenkin jos kaasusuoja ei suojaa hitsiä kuten sen on tarkoitus (USN 2002, 87). Veden alla erityistä huomiota tulee kiinnittää hitsattavan kohdan puhdistukseen, koska pientenkin materiaaliin muodostuneiden vesitaskujen sisältämä vesi voi liuottaa hitsiin suuria määriä vetyä veden kaasuuntuessa. Vetyhalkeilun riski on kärjistetyksi suurimmillaan kovia, paljon hiiltä sisältäviä teräksiä kosteilla puikoilla hitsattaessa. Suositeltavaa onkin välttää näiden terästen hitsausta. Jos ko. teräksiä kuitenkin joudutaan hitsaamaan, tulee käytettävät hitsauspuikot kuivata hitsauspuikkovalmistajan ohjeiden mukaisesti ennen käyttöä. Halkeilun riskiä voi vähentää myös käyttämällä hitsauspuikkoja, joiden sydänlanka on materiaalia, joka pystyy sitomaan ferriittisiä hitsiaineita paremmin vetyä. Tällöin vety pysyy sula-alueen sisällä eikä diffusoidu muutosvyöhykkeelle. Tällaisia puikkoja ovat esimerkiksi nikkelipohjaiset sekä ruostumattomat. Myös tiettyjen päällysteeseen seostettavien karbonaattien tiedetään muodostavan vetyä sulassa syrjäyttäviä, vähemmän haitallisia kaasuja. Hitsausparametrien muutoksella ei tiedetä olevan huomattavaa vaikutusta vetyhalkeilun vähentämiseen. (Lukkari 2000, 9.) Vetyhalkeilun aiheuttamia erilaisia halkeamia on esitetty alla olevissa kuvissa (kuvat 7 ja 8) sekä liitteessä 1.



Kuvat 6, 7 ja 8. Lämpöjännityksen vaikutus hitsatulla alueella ja vetyhalkeilun aiheuttamia erilaisia halkeamia (Lukkari 2000, 8).

2.3.3 Hitsin huokoisuus

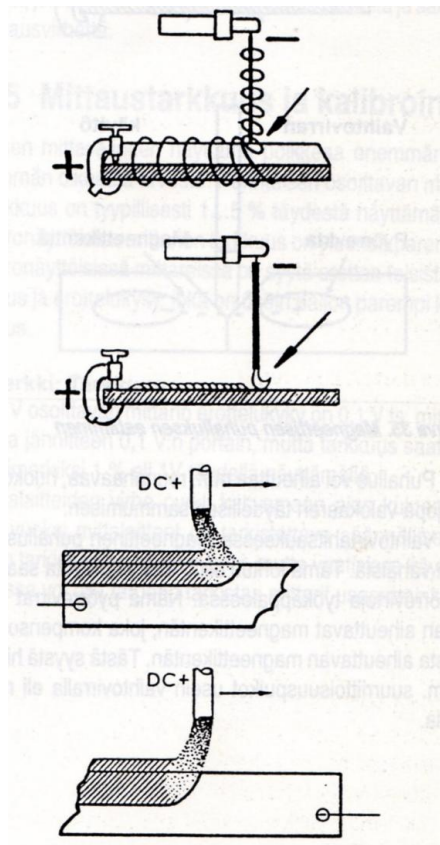
Hitsisaumaan muodostuu huokosia hitsisulaan päässeiden kaasujen vaikutuksesta. Syntyvät huokokset muodostavat kaasulla täyttyneitä ontelomaisia virheitä hitsisaumaan. Onteloiden muodostuminen voi johtua ympäröivästä vedestä sulaan liukenevista vedystä, typestä tai hapestä, kun kaasusuoja ei suojaa hitsitapahtumaa kuten sen on

tarkoitus. Veden alla vallitseva paine suurentaa huokosten muodostumisen todennäköisyyttä syvyyden funktiona. Onteloita voi muodostua myös, kun sulaan pääsee kaasuja tai kaasuja muodostavia aineita sydänlangan, päällysteen tai railon epäpuhtauksista. Näissä tapauksissa puikkojen kosteus ja hitsattavan railon huono puhdistus ovat yleisimpiä virhetekijöitä. (Lukkari 2000, 10; USN 2002, 87.)

Helpoimpia menetelmiä huokoisuuden ehkäisyyn on käyttää niukkavetyisiä hitsauspuikkoja, jotka kuivataan hitsauspuikkovalmistajan ohjeiden mukaisesti ennen vesieristystä ja käyttöä. Lisäksi hitsausrailon huolellinen puhdistus, valokaaren pituuden hallinta (yleensä lyhyenä pitäminen vähentää huokoisuutta), hitsausvirran kasvattaminen sekä hitsausnopeuden hallinta (yleensä hitaampi kuljetusnopeus vähentää huokoisuutta) vähentävät huokoisuuden riskiä. (Lukkari 2000, 8-10.) RTG-kuvissa havaittuja huokosten aiheuttamia hitsausvirheitä on esitetty liitteessä 1.

2.3.4 Magneettinen puhallus

Kulkeva sähkövirta muodostaa ympärilleen magneettikentän, jonka voimakkuus riippuu virran voimakkuudesta ja kulkureitistä. Vaihtovirtahitsauksessa hitsattavaan kappaleeseen indusoituvat pyörrevirrat kompensoivat syntyneitä magneettikenttää vähentäen magneettista puhallusta, mutta tasavirralla hitsattaessa muodostuva magneettikenttä tulee huomioida. Magneettisten voimaviivojen paikoittainen tihentyminen ja laajentuma muodostavat epätasaisen magneettikentän valokaaren lähelle (kuva 9), mikä aiheuttaa valokaaren taipumista ja samalla sulapisaroiden haitallista siirtymistä väärin kohtiin. Magneettinen puhallus toteutuu kuitenkin lähes säännönmukaisesti negatiivisesta navasta poispäin, joten kokemusperäisellä ammattitaidolla voidaan puhallus muuttaa sopivampaan suuntaan ja sen voimakkuutta pienentää. Alla olevassa kuvassa (kuva 9) havainnollistetaan graafisesti magneettisen puhalluksen yleinen suunta. Magneettisen puhalluksen suunnasta riippuen hitsiin voi muodostua hieman erilaisia hitsausvirheitä, mutta yleisimpiä ovat kuonasulkeumat, huokokset ja reunahaavat. (Lukkari 1997, 75 – 76.)

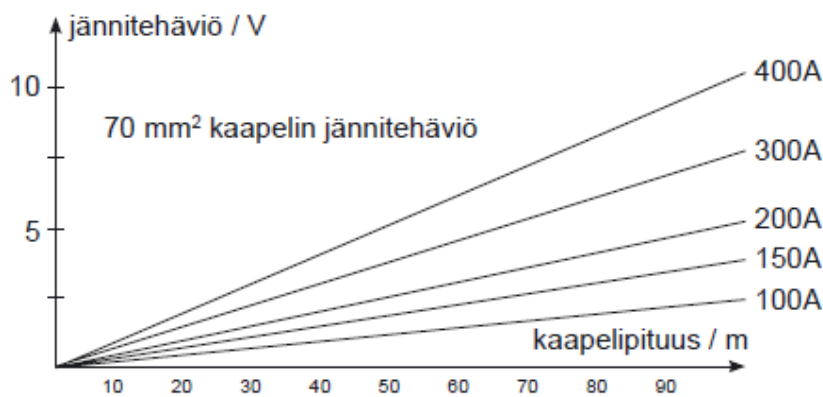


Kuva 9. Magneettinen puhallus (Lukkari 1997, 75)

2.4 Laitteisto ja lisäaineet

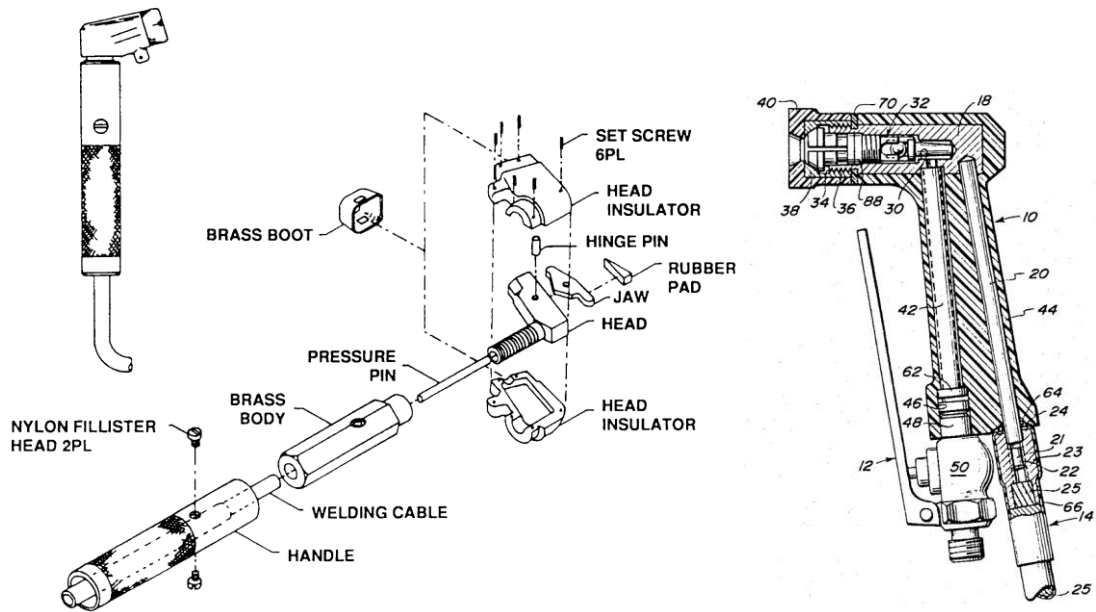
Vedenalaiseen hitsaukseen sopii laajalti samat *hitausteholähteet* kuin kuivalla maalakin. Hitsausasennosta, käytettävästä puikosta ja työskentelysyvyydestä riippuen vaadittava virta vaihtelee yleisesti sadan ja kahdensadanviidenkymmenen ampeerin välillä (100 A...250 A). Yleensä työssä käytetään suurempiin virtoihin kykeneviä tehollähteitä, jotta samaa tehollähdettä voidaan käyttää tarvittaessa myös polttoleikkamiseen tai hiilitalittaukseen, jotka vaativat tehokkaaseen operointiin jopa kolmestasadasta neljäänsataan ampeeria (300 A...400 A). Tehollähteestä tulee olla valittavissa kaapeleihin syötettävä virta ja jännite erikseen, jotta ne voidaan asettaa tilanteeseen sopivaksi. Hitsauspuikkojen valmistajat antavat taulukkoarvot, mutta tilanteeseen sopivimmat arvot löytyvät monesti parhaiten kokemuksen ja kokeilemisen avulla. Jokainen korjauskohde on yksilöllinen, ja esimerkiksi käytettävien hitsauskaapeleiden pituus sekä käytettävä hitsausvirta vaikuttavat muodostuvaan jännitehäviöön. (USN 2002, 114, 184.) Käytettävät tehollähteet ovat yleensä moottorikäyttöisiä helpon liikuteltavuutensa vuoksi. Tuolloin on olennaista muistaa maadoittaa laiterunko, koska maapotentiaalia ja henkilösuojausta ei tule verkkokaapelin kautta kuten maasähköverkkoon kytkettävissä laitteissa. (Pukki 2012.)

Hitsauksessa käytettävät *hitsaus- ja paluuvirtakaapelit* ovat kuivassa ympäristössä käytettäviin verrattaessa yleensä paremmin eristettyjä, mutta teknisesti muuten samantaisia. Olennaista on huomioida kaapelin riittävä mitoitus, sekä pyrkiä käyttämään aina vain yhtenäisiä kaapeleita, koska liittimet lisäävät aina ylimääräistä jännitehäviötä (USN 2002, 122). Alla olevassa kuvassa (kuva 10) on havainnollistettu jännitehäviötä 70 mm² hitsauskaapelissa eri hitsausvirroilla pituuden funktiona. Kuvasta voidaan huomata käyttökohteeseen tarpeettoman pitkän kaapelin käyttämisen aiheuttama ylimääräinen jännitehäviö. Kuvaa voidaan käyttää myös hyvänä lähtötietona hitsauksen parametreja suunniteltaessa. Ylipitkää hitsauskaapelia märkähitsauksissa käytettäessä kaapeligeometrian aiheuttamaa induktanssia ei tarvitse huomioida käytettävän tasavirran ansiosta. (Mäkima 2006, 12.)



Kuva 10. Jännitehäviö pituuden funktiona 70 mm² hitsauskaapelissa (Mäkima 2006, 12)

Vedenalaisessa hitsauksessa käytettävä *puikonpidin* eroaa kuiviin tiloihin suunnitelluista komponenteista huomattavasti, vaikka toimintaperiaate on aivan vastaava. Suurin ero aiheutuu tarpeesta saada veden alla käytettävät pitimet paremmin eristettyä sekä tarpeesta päästä vaihtamaan korroosion takia kuluvia osia. On olemassa myös malleja, joita voidaan käyttää sekä vedenalaiseen hitsaukseen että kaaripolttoleikkaukseen. Tällöin pitimessä on puikon kiinnitykseen tarvittavien osien lisäksi liitin happiletkulle sekä käyttökahva hapen syötölle. Vedenalaiseen hitsaukseen tarkoitettua puikonpidintä tulee käyttää ainoastaan veden alla, koska niiden suunnittelussa on otettu huomioon lämmönjohtuminen ympäröivään veteen. Vedenpinnan yläpuolella käytettäessä on riskinä ylikuumentumisen aiheuttama sulaminen. Räjähdytyskuva, josta näkee vaihdettavat osat yhden tyyppisessä puikonpitimessä, on esitetty kuvassa 11. Kuvassa 12 on poikkileikkaus puikonpitimestä, jolla voi hitsata sekä kaaripolttoleikkata veden alla. (USN 2002, 124.)



Kuvat 11 ja 12. Vedenalaiseen hitsaukseen suunnitellun puikonpitiimen räjäytyskuva, sekä hitsaukseen ja kaaripolttoleikkaukseen soveltuvan puikonpitiimen poikkileikkaus. (USN 2002, 105; USPTO 4361746 1980)

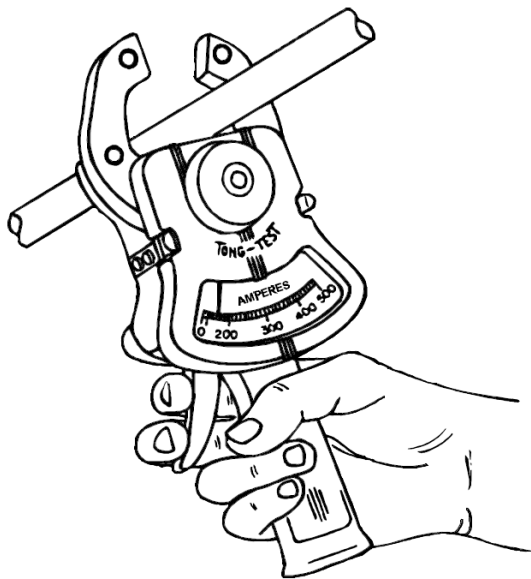
2.4.1 Oheis- ja turvalaitteet

Oheislaitteiksi käsitetään tässä selvityksessä kaikki ne laitteet, joita ilman hitsausvirtapiiriä kyetään käyttämään, mutta joiden käyttö on suositeltavaa. Turvalaitteella viitataan työn suorittajaa suojaaviin laitteisiin. Oheis- ja turvalaitteista on listattu alle tärkeimmät.

Pihtivirtamittari on halpa ja erittäin hyödyllinen oheislaite hitsauksissa. Merellinen työympäristö aiheuttaa hitsausteholähteessä helposti korroosiota, jolloin sähköiset ominaisuudet voivat muuttua ajan kuluessa. Mittalaitteella voidaan valvoa hitsausvirtapiirissä kulkevan virran määrää turvallisesti, ilman sähköistä kontaktia piiriin. Suorittamalla mittaus aina olosuhteiden, työkohteen tai hitsausparametrien muuttuessa voidaan varmistua siitä, että piirissä kulkee haluttu määrä virtaa. Liian suuren hitsausvirran käyttäminen suurentaa hitsin läpipalamisen riskiä, kun taas liian pieni virta vaikeuttaa valokaaren ylläpitämistä sekä hidastaa hitsaustyötä. Väärin valittu hitsausvirta lisää myös hitsausvirheiden määrää ja voi siksi huonontaa hitsin laatua. (USN 2002, 118.)

Analogisen pihtivirtamittarin käyttöä on havainnollistettu alla olevassa kuvassa (kuva 13). Mittarista nähdään hitsausvirta, kun piiri menee kiinni, eli hitsaus aloitetaan. Mit-

talaitetta valittaessa tulee huomioida, että mittalaitteen tulee pystyä mittaamaan tasa-
virtaa (DCA). Saadut arvot tulee kirjata hitsauksen dokumentointiin.

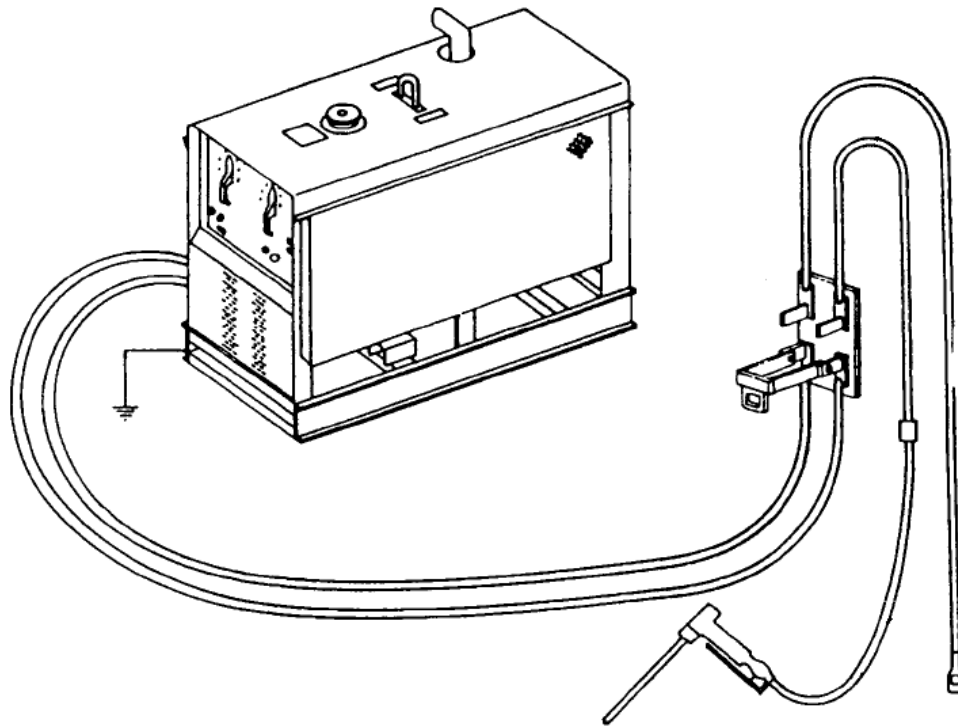


Kuva 13. Analogisen pihtivirtamittarin käyttö (USN 2002, 119)

DC-jännitemittarilla tarkoitetaan mitä tahansa yleismittaria, jolla voidaan mitata tasa-
jännitettä. Hitsausteholähteen tuottama jännite ei nouse kovinkaan suureksi, joten
CAT-II-mittalaite on suojauksiltaan riittävä. Jännitemittarilla mitataan avoimen ja sul-
jetun piirin jännitteet. Nämä arvot mitataan yleisesti hitsausteholähteen syöttö- ja pa-
luunavoista. Suljetun piirin jännitettä mitattaessa tulee kuitenkin huomioida hitsaus-
kaapeleiden jännitehäviö (kuva 9). Suljetun piirin jännite eli ns. *kaarijännite* on arvo,
jolle hitsauspuikkovalmistajat ovat antaneet ohjearvon. Arvo vaihtelee vedenalaiseen
hitsaukseen tarkoitetuissa puikoissa yleisesti välillä 20 V...40 V, avoimen piirin jänni-
te on huomattavasti korkeampi. (USN 2002, 118-120, 184.) Mittaukset tulee kirjata
hitsauksen dokumentointiin.

Olellaisiin työn suorittajaa suojaava komponentti on *turvakatkaisija*. Kirjallisuudessa
katkaisijasta käytetään yleisesti käytetyn katkaisijatyypin takia monesti termiä *veitsi-
kytkin* (engl. knife switch). Katkaisijan käytöllä pyritään suojaamaan hitsaajaa pitä-
mällä katkaisija auki aina, kun hitsaus ei ole käynnissä, koska suolaisen veden hyvän
sähkönjohtavuuskyvyn vuoksi hitsaaja olisi suuressa vaarassa joutua osaksi virtapiiriä,
jos hän asettuisi epähuomiossa eri potentiaalissa olevan hitsauspuikonpidikkeen ja
rungon väliin. Lisäksi katkaisijan ollessa kiinni piirin tyhjäkäyntijännite ylläpitää
elektrolyysiä aiheuttaen jatkuvasti anodin nopeaa liukenemista. Katkaisijan tulee kye-
tä avaamaan piiri hitsausteholähteen suurimmalla tuottamalla oikosulkuvirralla, ja se

on toteutettu yleisimmin nelinapaisella veitsikytkimellä. Jotta kytkin ei menisi vahingossa kiinni, tulee sen olla asennettu vertikaalisesti niin, että ala-asennossa piiri on auki (kuva 14). Näin piiri aukeaa, jos katkaisijan päälle esimerkiksi putoaa jotain. Kaksinapaista veitsikytkintä käytettäessä tulee se ehdottomasti liittää napaan, johon on kiinnitetty puikonpidin, koska paluuvirtajohtimen eristevika katkaisijan ja hitsausvirralähteen välillä voi aiheuttaa vuotovirtoja, jotka ohittavat suojakatkaisijan, ja muodostavat virtapiirin katkaisijan ollessa auki. (USN 2002, 121; Pukki 2012.)



Kuva 14. Suojakatkaisijana oikeaoppisesti asennettu nelinapainen veitsikytkin (USN 2002, 117).

2.4.2 Perusaine ja hitsauspuikot

Perusaineen materiaali on ratkaiseva tekijä hitsin onnistumisen kannalta. Vetyhalkeilun todettiin olevan yleinen ongelma vedenalaisissa hitsauksissa mm. hitsin nopean jäähtymisen vuoksi. Olennaisia tekijöitä vetyhalkeilussa ovat myös perusaineen koivuus ja karkenevuus, joita voidaan määrittää hiiliekvivalentin avulla. Koska materiaalin tarkkaa seostusta ei aina ole tiedossa tai helposti saatavilla, voidaan lähtökohtana käyttää taulukon 2 mukaista yleistämistä. Oikein valitulla puikolla voidaan minimoida vetyhalkeilun riski.

Taulukko 2. Perusmateriaalit ja käyttökelpoisia puikkoja. (USN 2002, 83)

Teräs	Esimerkki	Keskim. mur- tolujuus	Esimerkki- käyttökohteet	Hitsauspuikko (EN ISO 2560- A)
Normaalilujat	ASTM-A36	355 MPa	Kylkilevyt	E 42 0 RR 12 (OK 43.32) E 38 0 RC 11 (OK 46.16)
Lujat	ASTM-A3537	480 MPa – 620 MPa	Jäävyöhykelevyt, pilssin kaaret, peräsimet	E 38 0 RC 11 (OK 46.16)
Erikoislujat	HY-80	Yli 620 MPa	Osa peräsimistä, kölisarja, laidoi- tus	Hitsaaminen ei suositeltavaa

Märkähitsaukseen on kehitetty omia hitsauspuikkoja, mutta kuten taulukosta 2 huomataan, myös tavallisia rutiilipäällystepuikkoja (esim. OK 43.32 ja OK 46.16) pystytään käyttämään. Lujempia materiaaleja hitsattaessa voidaan käyttää esimerkiksi yliseostettuja ruostumattomia lisäaineita kuten OK 67.60 (Cr 23 %, Ni 13 %), OK 68.82 (Cr 29 %, Ni 9 %) tai nikkelpohjaisia kuten OK 92.26 (Inconel). (ESAB; Lukkari 2000, 9.)

Edellä mainituiden hitsauspuikkojen ominaisuudet on saatu halutuksi muuttamalla sydänlangan sekä päällysteen seostussuhteita. Kun yleisimmät hitsausvirheet selvitettiin, niiden muodostumiseen kyettiin vaikuttamaan. Monen seostettavan aineen todettiin tosin vaikuttavan eri tavoin työskentelysyvyydestä riippuen, jolloin eri syvyyksiin tuli tarve seostaa erilaisia puikkoja. Nykyaikaisilla vedenalaiseen hitsaukseen optimoiduilla puikoilla on pyritty vaikuttamaan erityisesti muodostuvan hitsin mikrorakenteeseen ja huokosten muodostumiseen sekä vähentämään vedyn liukenemista hitsiin. (Perez-Guerrero 2005, 54-59.)

Puikot tulee kuivata ennen käyttöä vetypitoisuuden minimoimiseksi. Suositeltavaa on ottaa käytettävät puikot pois kuivausuunista vasta juuri ennen mahdollista vesieristystä ja käyttämistä. Valmistajasta riippuen hitsauspuikot voivat olla valmiiksi vesieristettyjä. Vesieristysenä voidaan käyttää periaatteessa mitä tahansa materiaaleja, jotka estävät ympäröivän veden imeytymisen hitsauspuikon päällysteeseen. Ainetta valittaessa tulee kuitenkin huomioida aineen käyttäytyminen valokaaren kuumuudessa sekä mahdollinen haitallisuus hitsisauman ominaisuuksille; varmintaa on käyttää ainoastaan vesieristykseen suunniteltuja ja valmistettuja tuotteita. (Pukki 2012.)

2.5 Yleisimpiä korjauskohteita ja menetelmiä

Yleisimpiä hitsaamalla suoritettavia korjauksia ovat pienten halkeamien paikkaukset sekä korroosion, kavitaation, eroosion tai esimerkiksi pohjaan tai satamarakenteeseen törmäämisestä tulleiden repeämien kunnostamiset. Korjauksia voidaan tehdä lähes mihin osaan runkoa tahansa, mutta perusmateriaali sekä korjattavaan kohtaan vaikuttavat jännitykset ja virtaukset tulee huomioida. Perusmateriaalin vaikutus on olennaista lisäaineiden valinnan kannalta, ja vaikuttavien jännitysten ja virtausten merkitys korostuu oikeaa korjaustapaa valittaessa. Kohteissa, joissa virtaukset ovat suurimmillaan, tulee välttää epäjatkuvuuskohtien muodostumista kasvavan eroosio- ja korroosioriskin takia. Suurien rasituskuormien vaikutusvyöhykkeellä olevia kohteita korjattaessa on olennaista arvioida ylimääräisten jäykkäajien tarvetta. Yleisimpiä korjauskohteita ovat pienet hitsauskorjaukset, mutta liitteessä 2 on esitetty myös isompia, luokituslaitoksen hyväksymiä korjauksia.

2.5.1 Runkovauriot

Mekaanisen rasituksen ja vallitsevien olosuhteiden seurauksena aluksen runkoon voi muodostua murtumia, lommoja tai repeämiä. Vauriot voivat aiheuttaa vuotoja, ja ellei niihin puututa ajoissa jopa aluksen katkeamisen.

Pienten murtumien korjaus on yleensä helposti ja nopeasti toteutettavissa poraamalla murtumien päät auki ja hitsaamalla päälle metallipaikka. Poraamalla murtuman päät auki saadaan murtumaa aiheuttavia jännityksiä poistettua, jolloin murtuma ei todennäköisesti jatka kasvamistaan. Päälle hitsattavan paikan tarkoitus on lähinnä tukkia muodostunut vuoto. Lisäksi murtuneita tai puhki asti korrosoituneita hitsisaumoja voidaan avata ja hitsata uudestaan suhteellisen helposti. Liitteessä 2/1 on esitetty oikeaoppinen tapa korjata rungossa oleva murtuma sekä Det Norske Veritaksen hyväksymä pysyvä korjaus. (Hydrex (185) 2012, 8-10.) Tämän tyyppiset korjaukset ovat nopeita ja edullisia korjata vedenalaisilla korjaushitsauksilla.

Isompia murtumia tai repeämiä korjattaessa korjauskohdan merkitys korostuu. Suuret rasituskuormat vaativat sekä hyviä hitsisaumoja että monesti myös ylimääräisiä jäykkäajia. Nämä asennukset ovat harvemmin hyväksytyjä pysyviksi korjauksiksi. Hyvän, kestävän ja luokituslaitoksen hyväksymän korjauksen mahdollistamiseksi vaaditaan monesti vaurioituneen kohdan erottaminen vedestä kofferdamirakenteella, kohdan irti-

leikkaaminen ja korvaaminen uudella insertillä sekä testaus NDT-menetelmillä (Hydrex (185) 2012, 5). Liitteessä 2/2 on esitetty ko. menetelmän kanssa käytetty koffer-damirakenne sekä luokituslaitoksen pysyväksi korjaukseksi hyväksymä 600 mm x 300 mm kokoisen ulkosivun osan kuva korjauksen jälkeen. Liitteessä 2/3 on esitetty ylimääräisillä jäykkäjillä vahvistettu väliaikaiskorjaus, jolla mahdollistettiin aluksen liikennöinti määränpäähensä ilman tarvetta purkaa lastia pois karilleajosta johtuvien vaurioiden takia. Eritoten pienten ja pienehköjen korjausten toteuttaminen tällä tekniikalla on kokonaiskustannuksiltaan siedettävää; isommat korjaukset tulee laskea tarkasti tapauskohtaisesti. (Hydrex (175) 2011, 18.)

Kun aluksen pohjaan tai kylkiin muodostuu isoja lommoja, ne ovat yleensä seurausta törmäämisestä pohjaan, satamarakenteisiin tai vastaavaan. Tällöin lommoja ja yleensä myös repeämiä syntyy isoille alueille, etenkin törmäyksen tapahtuessa risteilynopeudella. Monesti tämän kokoluokan korjaukset vaativat kuivatelakointia, mutta väliaikaisia korjauksiakin on tehty. Esimerkkitapauksena mainittakoon kesällä 2011 Suomesta Kiinaan matkalla olleen MS Navios Sagittariuksen pohjakosketuksessa syntyneiden vaurioiden korjaus. Alukseen tuli pienten murtumien ja lommojen lisäksi yksi noin 5 m x 5 m kokoinen ja toinen noin 8 m x 1,8 m kokoinen repeämä. Repeämistä isompi korjattiin korvaamalla kokonainen lohkon osa, pienemmän päälle hitsattiin repeämän muotoja mukaileva levy, joka oli vahvistettu jäykkäjillä. Liitteessä 2/4 on esitetty mallinnukset sekä valmiit kappaleet isoimpien repeämien korjaamiseen. Tässä tapauksessa hitsaukset suoritettiin märkähitsauksella, ja hitsatut saumat hyväksyttiin sekä omistajan että luokituslaitoksen puolelta väliaikaisiksi korjauksiksi, jolloin alus sai luvan jatkaa liikennöintiä seuraavaan telakointiin asti. (Hydrex (183) 2012, 5-10.) Tämän kokoluokan korjaukset ovat erittäin kalliita, jolloin kokonaiskustannuksia tulee arvioida tarkasti saavutettavaan hyötyyn nähden.

2.5.2 Peräsinvauriot

Vedenalaisilla korjaushitsaustekniikoilla voidaan korjata peräsinvaurioita soveltuvin osin. Lähinnä murtumien sekä korroosion ja kavitaation aiheuttamia vaurioita teräksessä voidaan korjata sekä hitsata tarvittaessa lisäjäykkäjiä. Murtumat korjataan vastaavasti kuin laivan rungossakin olevat, tosin yleensä pyritään välttämään epäjatkuvuuskohtien muodostumista, ettei potkurivirtaus aiheuttaisi eroosiota. Erittäin korrooituneita kohtia peräsimestä voidaan leikata pois ja korvata uudella muotoon muo-

katulla insertillä. Peräsimiä hitsattaessa ongelmia voi aiheuttaa peräsimissä toisinaan käytetyt kovat, runsaasti seostetut metallit. Liitteessä 2/5 on kuva veden alla korjatusta peräsimestä myöhemmin kuivatelakalla kuvattuna sekä kuva peräsimen korroosiovauriosta, joka on korjattavissa vedenalaisen hitsauksen avulla. (Hydrex (179) 2011, 17.) Pienet korjaukset ovat hintatasoltaan kohtuullisia, mutta isompien korjauksien hinta voi kohota suureksi. On tosin huomioitava, että huonosti toimivalla peräsimellä liikennöinnin jatkaminen on lähes mahdotonta. (Pukki 2012.)

Isoja korjauksia esimerkiksi peräsintapille tai -laakeroinnille voidaan suorittaa veden alla, kuten myös kylmämuokkausta, mutta koska ne eivät ole vedenalaisia korjaushitsaustekniikoita, ei niitä käydä läpi tässä opinnäytetyössä.

2.5.3 Muut vauriot

Potkuri- ja ohjauspotkurivaurioita ei yleensä korjata veden alla hitsaamalla, lähinnä vaadittavan työn luonteen ja käytettyjen materiaalien takia. Suojaverkkojen ja akselisuojauksien kiinnittämisiä ja kiinnityspulttien varmistuksia voidaan hitsata vedenalaisin hitsaustekniikoin, mutta isommat kunnostukset vaativat muita tekniikoita. Hitsauksilla onkin lähinnä käyttöä valmistelu-, avustus- ja viimeistelyvaiheissa. (Hydrex (179) 2011, 5-10, 21.)

Evävakainvaurioita voidaan korjata soveltuvin osin. Esimerkiksi muodostuneita murtumia sekä korroosion tai kavitaation aiheuttamia vaurioita metalliosiin voidaan korjata vastaavasti kuin peräsimien korjauksissa. Jos komponentit vaativat paljon korjaamista ilman kuivatelakointia, on monesti mahdollisuus irrottaa vakaaja konepajakorjausta varten. Tuolloin vedenalainen korjaushitsaus on käytössä lähinnä valmistelu-, avustus- sekä viimeistelyvaiheissa. (Hydrex (179) 2011, 21.)

Merivesikaivoille voidaan suorittaa pieniä korjaushitsauksia konstruktiosta riippuen. Suojaverkkojen ja imusihtien korjaukset ja vaihdot sekä pahasti korrosoituneiden kohtien korjaukset ovat mahdollisia veden alla. Myös merivesikaivoissa sijaitsevien jäädyttimien pienet paikkaukset voivat onnistua soveltuvin osin. (Hydrex (179) 2011, 21.)

2.6 Dokumentointi

Hitsausteollisuudessa yleisesti käytetyt *hitsausohje* (**WPS** - **Welding Procedure Specification**) tai *alustava hitsausohje* (**P-WPS**) ovat laajalti käytössä myös vedenalaisten korjaushitsausten dokumentoinnissa. Maapuolella mainittavien asioiden lisäksi dokumentointiin tulee kirjata märkähitsiin vaikuttavat olennaiset muuttujat, mutta tarkkaa standardia märkähitsausten dokumentoinnista ei ole. Näitä oleellisia muuttujia voivat olla esimerkiksi:

- vesieritysmateriaali
- hitsauspuikkojen säilytys- ja kuljetustapa työkohteeseen
- kokonaissukellusaika
- näkyvyys työkohteessa
- veden laatu (makea- / murto- / merivesi)
- työskentelysyvyys
- hitsaustekniikka
- hitsaussuunta paluuvirtajohtimeen nähden (Speciality Welds, 3.)

Liitteessä 3 on esimerkki märkähitsauksessa käytetystä alustavasta hitsausohjeesta (P-WPS), jonka on hyväksynyt Lloyd's-luokituslaitoksen tarkastaja.

3 KORJAUSTEN LUOKITUS, SÄÄNNÖKSET JA KOESTUSMENETELMÄT

3.1 Korjaushitsaukset ja luokituslaitokset

Luokituslaitosten suhtautuminen vedenalaisiin korjaushitsauksiin vaihtelee hieman luokituslaitoksen ja toimipisteen mukaan. Yleistäen voidaan kuitenkin todeta, että vedenalaista korjaushitsausta ei pidetä suositeltavana toimenpiteenä. Lloyd's Registerin säännöksissä esimerkiksi todetaan yksiselitteisesti, että hitsaaminen vedessä tai veden alla ei ole sallittua. Samoissa säännöksissä on eroteltu ns. vettä vasten hitsaaminen, joka puolestaan on sallittua tietyin rajoituksin. **Oleennaista on kuitenkin huomata, että korjauksia voidaan toteuttaa märkähitsauksella poikkeustilanteen sitä vaatiessa.** Tällöin on tosin epätodennäköistä, että korjaus luokitetaan pysyväksi. Yleistä onkin, että suoritettu korjaus luokitetaan väliaikaiseksi, mahdollistaen aluksen liikennöinti määräajaksi. Tällä pyritään mahdollistamaan pysyvien korjaustoimenpiteiden

järjestely niin, että niistä aiheutuu mahdollisimman vähän haittaa aluksen normaalille liikennöinnille, mutta samalla kuitenkin varmistetaan, ettei puolikuntoisilla aluksilla liikennöidä tarpeettoman pitkiä aikoja. (Björkestam 2012; Lloyd's Register 2010, 12.)

Vettä vasten hitsaaminen ei ole märkähitsaamista, eikä siksi täysin kiellettyä, mutta hitsattavan materiaalin toisella puolella oleva merivesi vaikuttaa haitallisesti muodostuvaan hitsiin, ja asiaan liittyy siksi erikoisvaatimuksia. Jokainen tilanne tulee arvioida tapauskohtaisesti, ja lupa hitsaukselle voidaan myöntää määrätyiden kriteereiden täytyessä. Lloyd's Registerillä nämä kriteerit ovat:

- Tulee suorittaa koehitsaus, jossa muodostunut kappale analysoidaan NDT- ja DT-menetelmin.
- Koehitsaus tulee suorittaa teräslevylle olosuhteissa, jotka vastaavat veden virtausnopeuden sekä lämpötilan osalta oletetun tuotantohitsin olosuhteita.
- Koehitsauksessa tulee käyttää teräslevyjä joiden hiiliiekvivalentti on IIW-kaavan (kaava 1) mukaisesti yli 0,41 %. Jos tuotantohitsit tullaan toteuttamaan materiaalille, jonka hiiliiekvivalentti on tuota alhaisempi, voidaan saman hiiliiekvivalentin omaavaa terästä käyttää myös koehitsauksessa.
- Koehitsaukset tulee suorittaa ilman hitsattavien kappaleiden esilämmitystä.
- Koehitsauksessa käytettävän materiaalin paksuus määrää suoraan korjauksessa käytettävän materiaalin vähimmäispaksuuden.
- Koehitsin kovuus ei saa ylittää Vickersin kovuutta 350 HV10. Kymmenen prosenttia (10 %) tuotantohitsien aloituskohtien muutosvyöhykkeestä tulee testata, jotta voidaan varmistua ettei ko. kovuus ylity tuotantohitsissäkään.
- Koehitsauksen lämmöntuonti määrittää tuotantohitsin vähimmäislämmöntuonninmäärän suoraan.
- Ainoastaan niukkavetyisten hitsauspuikkojen käyttö on sallittua.
- Normaaleiden rikkomattomien aineenkoestuksien lisäksi kymmenen prosenttia (10 %) tuotantohitseistä tulee tarkastaa 48 tunnin kuluttua hitsauksesta magneettijauh tarkastuksella. (Lloyd's Register 2010, 12.)

Kuivahitsauksia suoritettaessa vallitsevat säännökset ovat kevyemmät. Tuolloin hitsi ei ole kosketuksissa ympäröivän veden kanssa, jolloin toimeen ei liity samoja metallurgisia ongelmia kuin märkähitsauksessa. Vedenalaisten korjaushitsausten osalta tämä on merkityksellistä huomata, jos korjaus on toteutettu esimerkiksi erottamalla hit-

sauskohte vedestä kofferdamirakenteella ja korjaus on suoritettu insertillä. Runkorakenteita kuivahitsattaessa tulee kuitenkin huomioida vaatimus luokitaa nekin vallitsevien säännösten mukaisesti. (Björkestam 2012)

3.2 Märkähitsien standardisoitu laatuluokitus

Märkähitsien luokitukseen käytetään kansainvälisesti AWS D3.6M:2010-standardia. Standardi on osa Yhdysvaltojen hitsausyhteisön (engl. **American Welding Society**) luomaa vedenalaista hitsausta koskevaa koodia. Hitsit luokitetaan standardin mukaisesti A-, B- tai C-laatuluokkaan. Laatuluokan varmistamiseksi vaaditaan DT-menetelmien käyttöä, joten niitä hyödynnetään lähinnä hitsaajan ammattitaidon arvioinnissa sekä hitsauslisäaineiden tutkimisessa. Asiakas voi halutessaan vaatia koehitsit työolosuhteita vastaavassa ympäristössä, jolloin työnsuorittajan hitsisauma luokitetaan NDT- ja DT-menetelmillä yleensä B-laatuluokkaan. B-laatuluokan saavuttaneen hitsaajan oletetaan tuolloin suoriutuvan tuotantohitseistä vastaavissa olosuhteissa B-luokan hitseillä. (Feeleus 2007, 25-28.)

Hitsien laatuluokka arvioidaan suoritettavien testien mukaisesti. Hitsauslaatuluokan saavuttaakseen hitsin mittatulosten tulee olla tiettyjen toleranssien sisällä. Koehitsille tulee suorittaa ainakin silmämääräinen tarkastus, radiografinen kuvaus, taivutuskoe, murtokoe, vetokoe, hitsin kovuuskoe (perusaineen, hitsin ja muutosvyöhykkeen) sekä makrohietutkimus. (Feeleus 2007, 26-28.)

A-laatuluokan hitsi vastaa ominaisuuksiltaan lähes optimaalisessa ympäristössä suoritettua hitsiä, ja sen saavuttaminen märkähitsauksella on erittäin haastavaa. A-laatuluokkaa vaaditaan suurille rasituksille altistuvissa kohdissa. (Feeleus 2007, 27.)

B-laatuluokan hitsi on hyvillä hitsauslisäaineilla ja ammattitaidolla saavutettavissa. Vaadittavat ominaisuudet ovat A-luokan hitsiä hieman alhaisemmat, mutta siltikin B-laatuluokan saumaa pidetään hyvänä vedenalaisena hitsinä. A- ja B-luokkien suurin ero on B-luokalle suotava suurempi taivutussäde sekä huokoisuus. B-laatuluokan hitsisauma on riittävä kohteissa, joissa vähäinen huokoisuus sekä alentunut myötöraja eivät aiheuta ongelmaa. (Feeleus 2007, 27.)

C-laatuokka sisältää loput hyväksyttävät märkähitsit. Vaadittavalla laadulla on pyritty lähinnä varmistumaan, ettei hitsisauma heikennä perusmateriaalia. Nämä hitsit ovat väliaikaisia, ja ne tulee korjata tilaisuuden tullen. (Feeleus 2007, 27.)

3.3 NDT-menetelmät

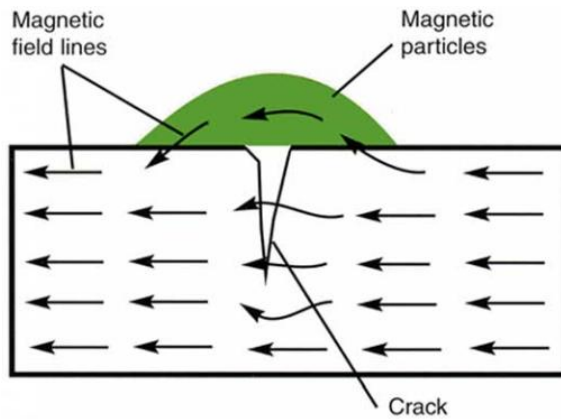
Rikkomattomalla aineenkoestuksella (engl. **Non-Destructive Testing**) voidaan tarkastaa vedenalaisia korjaushitsauksia virheiden varalta sekä esimerkiksi havaita murtumia, jotka voidaan korjata hitsaamalla. Sertifioidut henkilöt toteuttavat valtaosan virallisista koestuksista, mutta veden alla koestuksen joutuu monesti suorittamaan korjauksen tai tarkistuksen suorittava sukeltaja, jonka kuvaamaa valokuva- tai videomateriaalia voivat lisäksi analysoida ammattilaiset. Olennaista on huomata, että yksityiskohtaisin tarkastus saadaan yleensä toteutettua useampaa NDT-menetelmää samassa kohteessa käyttäen, esim. UT ja MT.

3.3.1 Visuaalinen tarkastus

Maailman yleisimmin käytetty NDT-menetelmä on *visuaalinen tarkastus* (engl. **Visual Testing**). VT ei vaadi ylimääräisiä laitteistoja, mutta sillä ei myöskään havaitse pieniä taikka materiaalin pinnan alla olevia virheitä. Kaikki tarkistukset aloitetaan yleensä visuaalisella tarkastuksella.

3.3.2 Magneettijauh tarkastus

Magneettijauh tarkistuksella (engl. **Magnetic Testing, Magnetic Particle Testing**) voidaan helposti tarkastaa ferromagneettisia rungon tai koneiston osia sekä hitsattuja saumoja. Tarkastus perustuu epäjatkuvuuskohtien muodostamaan muutokseen magneetikentässä, joka saadaan näkyväksi magneettisilla hiukkasilla (kuva 15). Magneetikenttä muodostetaan joko kesto- tai sähkömagneetilla. Tällöin tarkastettava alue muodostuu magneetin napojen väliselle alueella ja lähiympäristöön, mutta magneetin magneettisuudesta riippuen vain jonkun matkaa materiaalin pinnan alle.

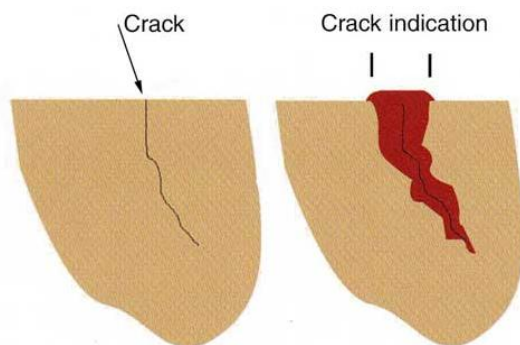


Kuva 15. Pintamurtuman vaikutus magneettikenttään saadaan näkyviin magneettijauhetarkastuksella (Larson 2012).

Magneettijauhetarkastus sopii vedenalaisten korjaushitsausten tarkastukseen vain soveltuvien osien, koska hitsisauman muodostamat epäjatkuvuuskohdat vaikeuttavat tuloksen tulkitsemista, erityisesti likaisissa vesissä. Muodostuneiden halkeamien (esim. vetyhalkeamat) havaitseminen on kuitenkin mahdollista hyvin suoritettuna tarkastuksen yhteydessä. (Larson 2012.) Veden alla käytettäväksi tarkoitettu magneettijauhe on monesti käsitelty esim. UV-valossa fluoresoivaksi, epäjatkuvuuskohtien havaitsemisen helpottamiseksi. (BlueLine NDT.)

3.3.3 Tunkeumanestetarkastus

Tunkeumanestetarkastuksella (engl. **Penetrant Testing**) voidaan havaita materiaalin pintaan ulottuvia epäjatkuvuuskohtia. Tunkeumaneste levitetään tarkastettavalle pinnalle, josta sitä vetäytyy voittuneisiin kohtiin kapillaarivoiman avulla. Ylimääräinen tunkeumaneste poistetaan ja samalle pinnalle levitetään kehite, joka saa epäjatkuvuuskohtiin kertyneen tunkeumanesteen nousemaan kappaleen pintaan (kuva 16). (Larson 2012.)

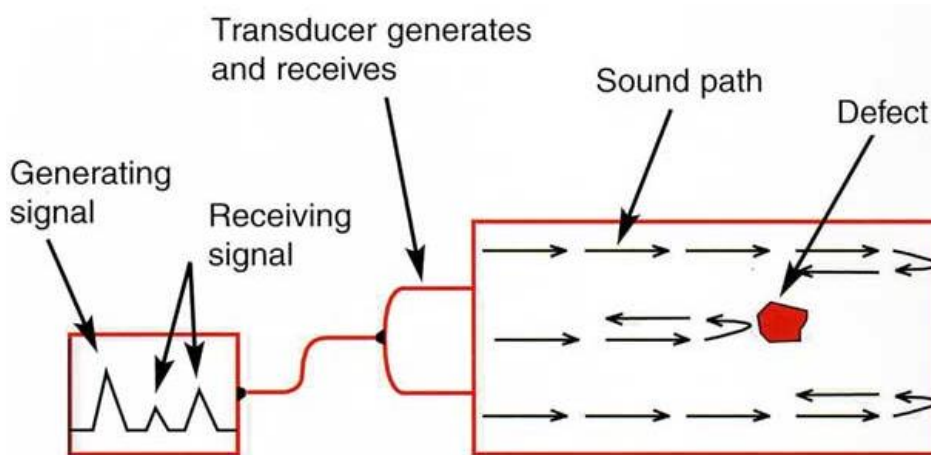


Kuva 16. Tunkeumanesteen toiminta ja halkeaman havainnointi (Larson 2012).

Koska tunkeumanestetarkastuksella saadaan näkyviin ainoastaan materiaalin pintaan asti ulottuvat viat, sopii se korjaushitsauksissa parhaiten erilaisten pinnallisten halkeamien (esim. osa vetyhalkeamista) sekä pintaan asti ulottuvien huokosten havaitsemiseen. Hyvin pienten vikojen havaitseminen veden alla on haastavaa, koska tunkeumanesteen tunkeutuminen veden täyttämiin aukkoihin voi olla epätäydellistä. Veden alla käytettävät tunkeumanesteet on lähes poikkeuksetta käsitelty fluoresoitumaan UV-valossa havaitsemisen helpottamiseksi. (BlueLine NTD.)

3.3.4 Ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastus (engl. **Ultrasonic Testing**) perustuu kohteeseen lähetettyjen ja siitä vastaanotettujen korkeataajuusääniaaltojen vertailuun. Vastaanottimen rekisteröimän impulssin voimakkuutta sekä lähetyksen ja vastaanoton välistä aikaa analysoimalla havaitaan materiaalissa olevia epäjatkuvuuskohtia. Saadut arvot piirtyvät näytölle, josta ammattilainen voi tulkita virheiden sijainnin sekä tyyppin materiaalissa sekä ainepaksuuden. Alla olevasta kuvasta (kuva 17) havainnoidaan yksinkertaistetusti, kuinka analysaattoriin piirtyy impulssit epäjatkuvuuskohdasta sekä materiaalin takareunasta. Kytkemällä ja suuntaamalla lähetyksen ja vastaanottoanturit eri tavoin voidaan epäjatkuvuuskohdan geometria peilata ja päätellä virheen tyyppi.



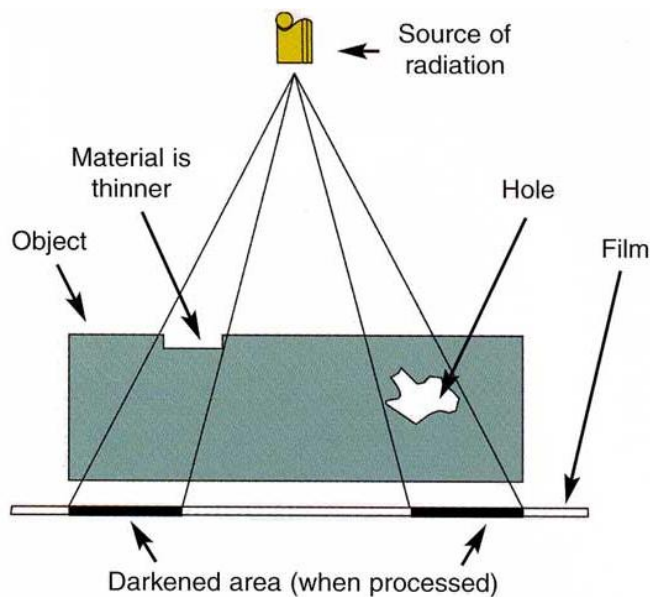
Kuva 17. Ultraäänen käyttäytyminen materiaalissa (Larson 2012.)

Menetelmän ehdoton vahvuus on mahdollisuus havaita pinnan allakin olevat virheet. Myös kyky määrittää virheiden syvyys, tyyppi ja muoto ovat valtavia hyötyjä. Tekniikkaa on myös nopea käyttää, joskin vain pienellä alueella kerrallaan. Suurin haitta on analyysien tekemiseen vaadittava valtava ammatti- ja tietotaidon määrä. (Larson 2012.)

3.3.5 Radiografiset tarkastukset

Radiografisilla tarkastuksilla (engl. **Radiographic Testing, Radiography**) viitataan alusten NDT-menetelmissä yleisimmin röntgensäteillä toteutettuun filmin valottamiseen. Tästä syystä myös lyhenteet RTG-tarkastus ja X-Ray testing ovat laajalti käytössä. Radiografiset menetelmät kattavat myös muilla säteilijälähteillä toteutetut valotukset, mutta yleisyytensä ja helppokäyttöisyytensä takia ainoastaan RTG-tarkastus käsitellään tässä opinnäytetyössä.

Menetelmä perustuu teräksen kykyyn absorboida sähkömagneettista säteilyä materiaalin paksuuden funktiona. Kun asetetaan materiaalin yhdelle puolelle säteilylähde ja toiselle puolelle filmi, materiaalin koostumuksen ja paksuuden perusteella filmiin valottuu kuva kohteesta (kuva 18). Tekniikkaa ei voi käyttää, jos tarkastettavan materiaalin toiselle puolelle ei ole pääsyä. (Larson 2012.)



Kuva 18. Poikkeamien vaikutus valotukseen RT-menetelmällä (Larson 2012.)

Tekniikan etuna on kyky havaita syvälläkin materiaalissa olevia vikoja selvästi. Myös virheiden tyyppien erottaminen onnistuu ammattitaitoiselta tarkastajalta. Menetelmän suurin haittapuoli on tarkastuksen hitaus ja eritoten korkea hinta. Hyödyllisimmillään tekniikka on, kun muilla menetelmillä ei ole saatu varmistusta virheettömyydestä tai jos luokituslaitos vaatii ko. tarkastuksen hitsin hyväksymiselle. Kuvien hyvään tulkinnaan vaaditaan monesti alansa ammattilainen. Röntgenkuvia hitsisaumojen virheistä on liitteessä 1.

3.3.6 Yhteenveto NDT-menetelmistä

Taulukkoon 3 on kerätty yhteenveto eri NDT-menetelmien soveltuvuudesta vedenalaisten korjaushitsausten tarkastamiseen. Soveltuvuutta määrittäessä on otettu huomioon menetelmän todennäköisyys havaita virheen olemassaolo (havaitsemiskyky), kyky tunnistaa virheen tyyppi (tunnistuskky), väärän tulkinnan riski (tarkkuus), hinta sekä ennakkovalmistelut ja lopetustoimenpiteet sisältävä käytettävä kokonaisaika (nopeus).

Taulukko 3. NDT-menetelmien soveltuvuus vedenalaisten korjaushitsausten tarkastamiseen

Menetelmä	Virheen havaitsemiskyky	Virheen tunnistuskky	Tarkkuus	Hinta	Nopeus
VT	Heikko, ainoastaan isot pinnalliset	Heikko	Hyvä, suorittajasta riippuvainen	Edullinen	Nopea
MT / MPT	Kelvollinen, ainoastaan lähellä pintaa olevat havaitaan	Kohtalainen, muoto ja sijainti hitsiin nähden havainnoidaan	Kelvollinen, epätasaisuudet aiheuttavat virhehavainnot	Edullinen	Nopea isoillekin alueille
PT	Kelvollinen, ainoastaan pintaan ulottuvat havaitaan	Kohtalainen, muoto ja sijainti hitsiin nähden havainnoidaan	Kelvollinen, pinnan epätasaisuudet aiheuttaa virhehavainnot	Edullinen	Nopea isoillekin alueille
UT	Hyvä, koko kappaleen paksuudelta havainnoidaan	Hyvä, useammalla mittauksella geometria saadaan selvitettyä.	Kelvollinen, epätasaisuudet aiheuttavat virhehavainnot	Kohtalainen, ammattihenkilö vaaditaan	Kohtalainen pienillä alueille
RT	Hyvä, koko kappaleen paksuudelta havainnoidaan	Hyvä, vaatii ammattitaitoa	Hyvä, pienet epätasaisuudet materiaalisissa eivät haittaa	Kallis, ammattihenkilö vaaditaan	Hidas, valmistelut ovat aikaavieviä

4 KOULUTUS JA PÄTEVYYDET SUOMESSA

4.1 Sukelluskoulutus ja pätevyudet

Suomessa suoritettavaa sukellustyötä tehtäessä vaadittavia pätevyksiä säädetään Työministeriön päätöksessä rakennustyötä veden alla tekevän sukeltajan pätevyydestä (674/1996). Työtä saa tehdä ainoastaan työtehtävään pätevä sukeltaja, sille määrättyssä suurimmassa työskentelysyvyudessa. Tarkastus-, pelastus-, tutkimus- sekä muut vastaavat sukellustehtävät alle kolmenkymmenen metrin (30 m) syvyydessä voidaan suorittaa *kevytsukeltajan* pätevyydellä. Muut kuin edellisessä mainitut työt sekä kaikki kolmenkymmenen ja viidenkymmenen metrin (30 m ... 50 m) välisessä syvyydessä suoritettavat sukellustyöt vaativat *ammattisukeltajan* pätevyuden. Lisäksi erikseen on eritelty yli viidenkymmenen metrin (50 m) syvyydessä suoritettavat sukellustyöt, joiden suorittamiseen vaaditaan lisäkoulutusta. Alusten korjaushitsaustöitä suorittavalta henkilöltä vaaditaan vähintään ammattisukeltajan pätevyys. Pätevyys voidaan osoittaa joko Suomessa ammattitutkintolain mukaisesti suoritettusta ammattisukeltajan koulutuksesta saatavalla todistuksella tai hyväksyttämällä muualla suoritettua Euroopan sukellusteknologisen komitean (EDTC) vaatimusten mukainen koulutus työministeriön työsuojeluosastolla. Lisäksi pätevyyttä voidaan hakea, mikäli kyetään osoittamaan ammattisukeltajalta vaadittava pätevyys muutoin. (Työministeriön päätös rakennustyötä veden alla tekevän sukeltajan pätevyydestä 1996.)

Suomessa ammattisukeltajan koulutusta annetaan Länsi-Uudenmaan aikuisopistossa Luksiassa. Koulutus aloitetaan suorittamalla *tarkastussukeltajan* (21 ov) koulutus, josta saadaan kevytsukeltajan pätevyys. Kevytsukeltajan tutkinto pätevöittää lähinnä tarkastussukellustoimintaan, mutta sen hyväksyty suorittaminen on ehtona hyväksymiselle *vedenalaisen rakentajan* (24 ov) koulutukseen. Tämän koulutuksen suorittamalla saadaan ammattisukeltajan pätevyys, joka vastaa kansainvälisesti tunnustettua IDSA (The International Diving Schools Association) Level 2 –koulutusta. Sekä kevyt- että ammattisukeltajan pätevyyksien saamiseksi tulee teoriakoulutuksen lisäksi suorittaa luokitussukellukset sekä työnäyttö. IDSA Level 2 –koulutus pätevöittää kansainvälisesti työskentelemään kolmenkymmenen metrin (30 m) syvyydessä sekä osoittaa mm. taidon märkähitsaukseen sekä -polttoleikkaukseen, mutta vedenalaista käytännön kokemusta ei vaadita. Tästä syystä lisäkoulutusta omalta ammattialalta (esim. märkähitsaus) suositellaan, ennen kuin henkilöä pidetään oikeasti pätevänä työtehtäväänsä.

(IDSA 2012; Luksia 2012.) Alla olevassa taulukossa (taulukko 4) on yhteenveto Suomessa annetusta koulutuksesta, sekä asioista joihin ne pätevöittävät Suomessa ja kansainvälisesti.

Taulukko 4. Yhteenveto sukeltajan tutkinnoista.

Tutkinto	Aikaisempi koulutus / kokemus	Pätevyys Suomessa	Suurin sallittu työsyvyys Suomessa	Suurin sallittu työsyvyys IDSA	IDSA Level
Tarkastus- / kevytsukeltaja	Ei vaatimuksia	Tarkastus, kunnossapito, pelastus, kevytrakennus	0 m ... 30 m	0 m ... 30 m	1
Vedenalainen rakentaja / ammattisukeltaja	Kevytsukeltajan pätevyys	Kone-, metalli-, maa-, vesirakennus	0 m ... 50 m	0 m ... 30 m	2

4.2 Hitsaussukeltajan pätevydet

Sukeltajahitsaajien vedenalaista hitsaustaitoa voidaan arvioida lisäksi näyttö- ja teoriakokein, jotka on määritetty eurooppalaisessa standardissa *SFS EN ISO 15618-1 Hitsaajan pätevyyskokeet vedenalaiselle hitsaukselle*. Standardi luotiin, jotta työnsuorittajan pätevyys suorittaa hitsauksia voidaan varmentaa tilaajan, tarkastusviranomaisen tai muun vastaavan tahon toiveesta. Suomessa vedenalaisia korjaushitsauksia tehtäessä ammattisukeltajan pätevyys vaaditaan lakisääteisesti, mutta ammattitaitoa osoittavaa ko. sukeltajahitsaajan pätevyyttä ei vaadita. Kansainvälisesti hitsaussukeltajan pätevydestä ilmoitetaan WPQ (**W**elder **P**erformance **Q**ualification) - todistuksella. (SFS 15618-1 2001, 8-13, 46-47.)

Kun halutaan pätevyystodistus, pätevytyminen tulee suorittaa erikseen eri pätevyysalueille ja uusia kahden vuoden välein. Tuon kahden vuoden aikana koordinoijan tai työnantajan tulee varmentaa puolivuositain allekirjoituksellaan hitsaajan suorittaneen pätevyysalueen hitsauksia kohtuudella. Pätevyyttä voidaan uusia kahden vuoden jaksoissa, edellyttäen että sukeltajahitsaajan hitsaamat tuotantohitsit vastaavat vaadittua tasoa, sukeltajahitsaajan ammattitaitoa ei ole syytä epäillä, puolivuositain allekirjoitetut todistukset hitsaajan ammattitaidosta sekä NDT- sekä DT-koepöytäkirjat näyttökokeiden hitsisaumoista ovat arkistoitu ja saatavilla. (SFS 15618-1 2001, 8-13, 46-47)

Pätevyys myönnetään tietyille *pätevyysalueelle* suoritettuna kokeen mukaan. Perusajatuksena on, että helpompien pätevyysalueiden hitsauksia saa suorittaa vaikeamman pätevyysalueen pätevyydellä. Kokeet tulee suorittaa oikeissa tai oikeita vastaavissa simuloituissa olosuhteissa. Pätevyysalueet muodostuvat ns. *oleellisista muuttujista*, joiden toleranssien ulkopuolelle mentäessä vaaditaan uusi koe ja pätevyystodistus. Koetilanteessa vallitsevat oleelliset muuttujat merkitään pätevyystodistukseen standardin SFS 15618-1 mukaisin kirjainlyhentein. Oleellisia muuttujia ovat:

- hitsausprosessi (puikkohitsaus)
- tuotemuoto (levy / putki)
- liitosmuoto (päittäis- / pienahitsi)
- perusaineryhmä (SFS EN ISO 15608 mukaisesti)
- hitsauslisäaine
- koekappaleen mitat (levyn paksuus / putken ulkohalkaisija)
- hitsausasennot
- hitsauksen suoritus (liitosmuoto)
- sukellussyvyys ja vesilaji (suolavesi / makeavesi) (SFS 15618-1 2001, 48-49)

Liitosmuodosta riippumatta, koehitsille suoritetaan aina silmämääräinen tarkastus sekä murtokoe. Lisäksi liitosmuodosta riippuen suoritetaan radiografinen kuvaus, ultraääni-tarkastus, makrohietutkimus tai taivutuskoe. Kokeen valvojalla on vastuu varmistua kokeen oikeellisuudesta sekä varmistua NDT- ja DT-menetelmillä suorituksen olevan standardin mukainen. Haluttaessa todistajaksi, testaajaksi tai sertifioijaksi voidaan käyttää luokituslaitosten edustajia. (SFS 15618-1 2001, 36, 50-53.)

5 KEHITYSTYÖ JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Kun laajoilla tutkimuksilla on kyetty havaitsemaan vedenalaisiin märkähitsauksiin liittyvät ongelmat, on kehitystyö voitu aloittaa. Suurimmassa osassa kehitysprojekteja päämääränä on ollut saavuttaa veden alla hitsisauma, joka olisi ominaisuuksiltaan optimaalisissa oloissa hitsattuun saumaan verrattavissa. Kehitystyötä on tehty sekä toimivaksi havaitun kaarihitsauksen, että tällä sektorilla vielä kaupallista käyttöä odottavan kitkahitsauksen saralla.

Kitkahitsaus perustuu tässä tapauksessa kiinteän metallin ja sitä vasten pyörivän tapin välillä syntyvän kitkan aiheuttamaan korkeaan lämpötilaan. Korkea lämpötila ja pyö-

rivä liike puhdistavat metallien väliset pinnat, jolloin lämmön avulla plastiseen tilaan saatetut metallit hitsautuvat puhtaasti yhteen. Tekniikalla voidaan saavuttaa hyviä hitsisaumoja nopeasti ja ilman tarvetta suojata hitsautumistapahtuma ympäristöltä. Ongelmana ovat aikaisemmin olleet isot laitteet, jotka vaativat suuria sähkötehoja; veden alla sähköisten laitteiden käyttö on ollut haastavaa. Lisäksi on huomattava, että hitsauksessa käytettävä tappi on pyöreä, mikä rajoittaa hitsin muotoa. Viime aikoina on tehty laitteita, jotka kiinnittyvät voimakkailla sähkömagneeteilla, alipaineimukupeilla tai mekaanisilla kiinnikkeillä aluksen runkoon ja käyttävät hydraulikkaa tai pneumaattikkaa voiman siirtämiseksi kitkahitsauslaitteeseen. Vaikka metallit eivät ole sulassa olotilassa missään vaiheessa prosessia, käytettävä korkea lämpötila tulee huomioida vedenalaisissa korjauksissa suuren karkenemisriskin takia – saavutettava lopputulos on siltikin metallurgisesti kaarihitsausta parempi. Tehokkaimmillaan tekniikka on esimerkiksi erilaisia geometrisesti säännöllisiä paikkoja halkeamien päälle hitsattaessa, ja tulee varmastikin olemaan jatkossa siinä suosiotaan kasvattava tekniikka hyvän lopputuloksen, nopeuden ja edullisuuden ansiosta. (USN 2002, 184-187.)

Kaarihitsauslisäaineiden kehitystyötä on tehty vuosikymmenien ajan pyrkimyksenä saavuttaa hitsauspuikon sydänlangalle sekä päällysteelle optimaaliset seostussuhteet. Tutkimukset ovat tuottaneet toivottua tulosta, ja viime vuosina on raportoitu korjaushitsauksia, joissa on saavutettu metallisilta ominaisuuksiltaan optimaalisissa olosuhteissa toteutettua hitsausta vastaavia lopputuloksia. (Perez-Guerrero 2005, 54-59.) Jatkuvasti paraneva hitsauspuikkojen taso vähentää hyvien hitsaussaumojen suorittamiseen vaadittavaa hitsaajan kokemuksen tarvetta, jolloin tekniikoiden oppimista voidaan siirtää enemmän koulutuksesta työssä oppimiseen. Tämä tulee luultavasti laskemaan suoritettavien töiden hintoja. Saavutettavat hyvät lopputulokset sekä työsuorituksen helpottuminen lisäävät varmasti tekniikan käyttöastetta entistään.

Pienuhkojen täysin tiiviiden kofferdamien käyttö pysyvien korjausten suorittamisessa on kasvattanut suosiotaan luokituslaitosten laajan hyväksynnän ansiosta. Jopa isohkoja korjauksia on suoritettu tällä tekniikalla, ja vältetty ennen aikainen kuivatelakointi. Isommat korjaukset ovat tosin kalliita ja harvoin hyväksytyjä pysyväksi korjauksiksi, jolloin kannattaa tehdä tarkkoja laskelmia kuivatelakoinnin ja vedenalaisen korjauksen välillä edullisimman vaihtoehdon löytämiseksi.

6 YHTEENVETO

Vedenalaiset hitsaukset voidaan jaotella karkeasti kuiva- ja märkähitsauksiin. Muun muassa saavutettava lopputulos sekä muodostuneet kokonaiskustannukset eroavat tekniikoiden välillä paljon, joten jokainen tapaus tulee analysoida erikseen, jotta voidaan valita optimaalinen korjaustekniikka. Opinnäytetyössä analysoidaan molempien tekniikoiden erityispiirteitä pohjimmaisena tarkoituksena jakaa tietoisuutta niiden mahdollisuuksista ja niihin liittyvistä ongelmista. Jo jokaisen työkohteen yksilöllisyyden takia ei ole tarkoituksenmukaista luoda opasta, jota voisi käyttää korjaustekniikan valitsemiseen, eikä tätä työtä tule siitä syystä semmoisena käyttää.

Tahdon kuitenkin korostaa, että nykytekniikka suo mahdollisuudet toteuttaa aluksen eri osille korjauksia aina pienien murtumien paikkauksista isoihin pelastusoperaatioihin asti. Alan nykypäivää on nopea kehitys, jolloin on saavutettu tilanne, jossa vesiviivan alapuolisille osille voidaan toteuttaa kuivahitsaustekniikoin pysyviksi luokitettavia korjauksia ilman kuivatelakoinnin tarvetta. Tekniikoista edullisempaa mutta metallurgisesti haastavampaa, märkähitsausta, on myös kehitetty, mutta hieman eri tavoin. Yleistäen voidaan sanoa, että kuivahitsauksissa on painotettu uusien innovaatioiden kautta kehitettyjä mekanismeja, joilla vaikutetaan korjaustapahtuman olosuhteisiin, kun taas märkähitsauksessa on pyritty vaikuttamaan itse hitsitapahtuman metallurgiaan. Molemmat tekniikat ovat monissa korjauksissa huomionarvoisia vaihtoehtoja, ja vaikka valtaosa korjauksista voidaan toteuttaa molemmilla tavoilla, olennaista on kyetä analyttisesti puntaroimaan kokonaisjärkevä ratkaisu, jossa on otettu huomioon kaikki näkökulmat.

Märkähitsauksen käyttökelpoisuudesta huolimatta luokituslaitosten vallitseva negatiivinen suhtautuminen sitä kohtaan vähentää tekniikan käyttömahdollisuuksia. Saavutettavien väliaikaisluokitusten merkitystä ei tule kuitenkaan jättää huomioimatta. Mahdollisuus jatkaa liikennöintiä vaurion syntymisestä vielä määräajan antaa huomattavasti joustoa suunnitella vaadittavien korjausten organisointi ja aikataulutus niin, että aluksen liikennöinnille koituu mahdollisimman vähän haittaa.

LÄHTEET

Björkestam, Päivi. Senior Surveyor, Lloyd's Register Finland. Puhelinhaastattelu 2.5.2012.

BlueLine NDT. Model FPS-1™ Fluorescence Photography System. Saatavissa: http://www.bluelinendt.com/fps1_gallery.htm (viitattu 7.3.2012)

ESAB. Puikkohitsaus. Saatavissa: <http://products.esab.com/Templates/T095.asp?id=27272&MainHeadCode=Mild> (viitattu 11.3.2012)

Feeleus, P. 2007. Underwater Contractor International May/June 2007. Teddington, Middlesex: Underwater World Publications Ltd.

Hydrex (171). 2011. Hydrex Underwater Technology Magazine 171.

Hydrex (175). 2011. Hydrex Underwater Technology Magazine 175.

Hydrex (179). 2011. Hydrex Underwater Technology Magazine 179.

Hydrex (183). 2012. Hydrex Underwater Technology Magazine 183.

Hydrex (185). 2012. Hydrex Underwater Technology Magazine 185.

IDSA. 2012. Diver Training Standards. Saatavissa: http://www.idsaworldwide.org/html/diver_tng_stan.html (viitattu 13.3.2012)

Joshi, Amit Mukund. Underwater Welding. Saatavissa: <http://www.metalwebnews.com/howto/underwater-welding/underwater-welding.pdf> (viitattu 27.2.2012)

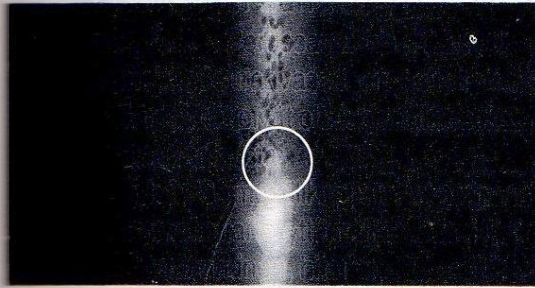
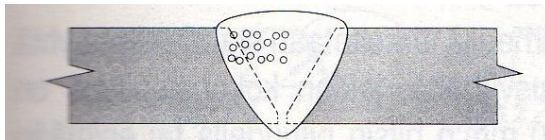
Larson, B. 2012. NDT Resource Center. NDT Education Resource Center. Saatavissa: <http://www.ndt-ed.org/> (viitattu 6.3.2012)

Lloyd's Register. 2010. Requirements for Welded Construction. Rules for the Manufacture, Testing and Certification of Materials, July 2010.

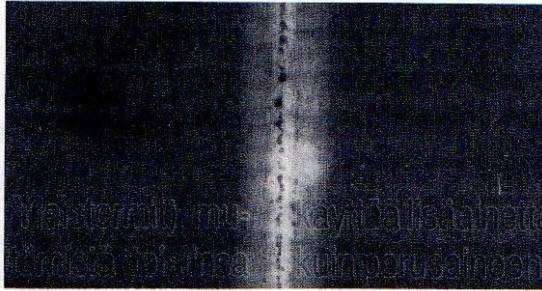
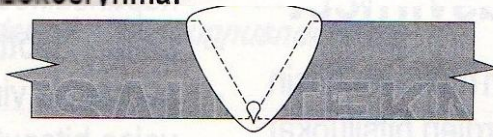
- Lukkari, J. 1997. Hitsaustekniikka: Perusteet ja kaarihitsaus. 3., tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.
- Lukkari, J. 2000. Hitsien laatu ja hitsausvirheet. Hitsausuutiset 1/2000. Helsinki: Oy ESAB
- Luksia. 2012. Ammattisukeltaja – sukellusalan ammattitutkinto. Saatavissa: <http://www.luksia.fi/default.aspx?id=1619> (viitattu 13.3.2012)
- Mäkimaa, T. 2006. Kaapelipituuden vaikutus valokaareen. Kemppi ProNews 2/2006.
- Perez-Guerrero, F. 2005. Maintenance and Repair Welding in the Open Sea - Advances in underwater wet welding, especially in the area of consumables, are making it a more viable means of maintenance and repair. The Welding Journal 11/2005.
- Pukki, Jouni. Merikapteeni, ammattisukeltaja. Haastattelu 2.5.2012. Kotka
- SFS 15618-1. 2001. Hitsaajan pätevyyskokeet vedenalaiselle hitsaukselle. Osa 1: Sukeltajahitsaajat vedenalaiselle märkähitsaukselle. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- Speciality Welds. Underwater Welding Electrodes. Saatavissa: <http://www.specialwelds.com/downloads/documents/barracuda-profile.pdf> (viitattu 26.3.2012)
- Starck, T. 2011. Ovakon terästen hitsausesityksen päivittäminen. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/67387/nbnfi-fe201102081219.pdf?sequence=3> (viitattu 28.2.2012)
- Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry. 2004. Hitsaustekniikan materiaalioppi. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry
- Työministeriön päätös rakennustyötä veden alla tekevän sukeltajan pätevyydestä. 23.6.1994/674

USN. 2002. U.S. Navy Underwater Cutting & Welding Manual. 3. painos. Saatavissa:
<http://www.metalwebnews.org/ftp/underwatercut-weld.pdf> (viitattu 27.2.2012)

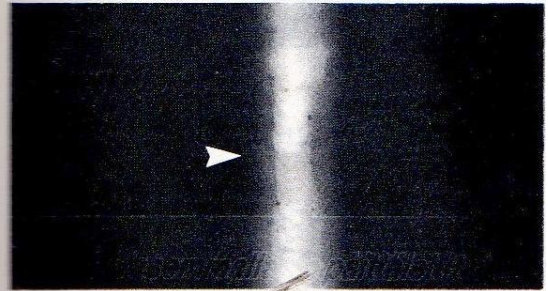
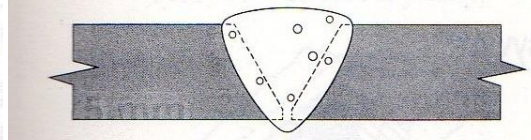
USPTO 4361746. 1980. Underwater cutting and welding torch. The United States Patent and Trademark Office.



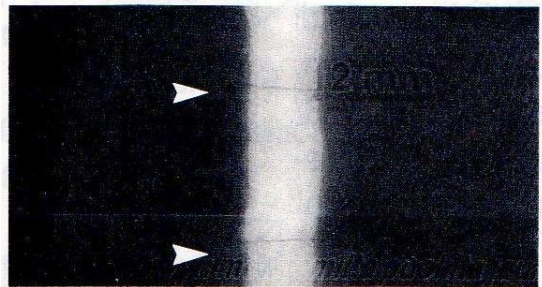
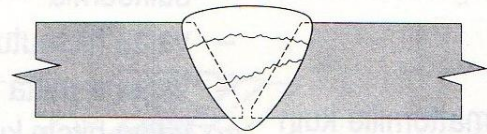
Huokosryhmä:



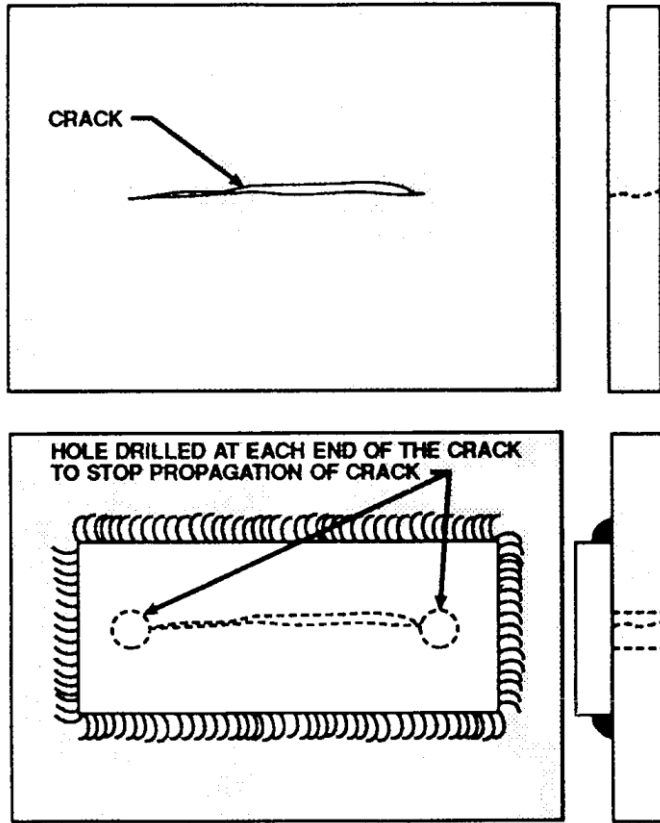
Huokosia hitsin juuressa:



Hajanainen huokoisuus:



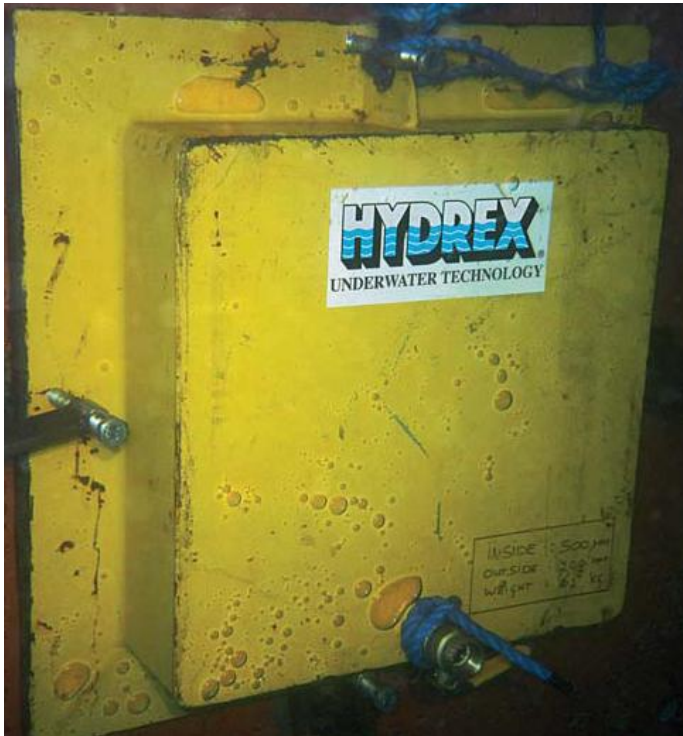
Poikittainen halkeama:
(Lukkari 1997, 43)



(USN 2002, 102)



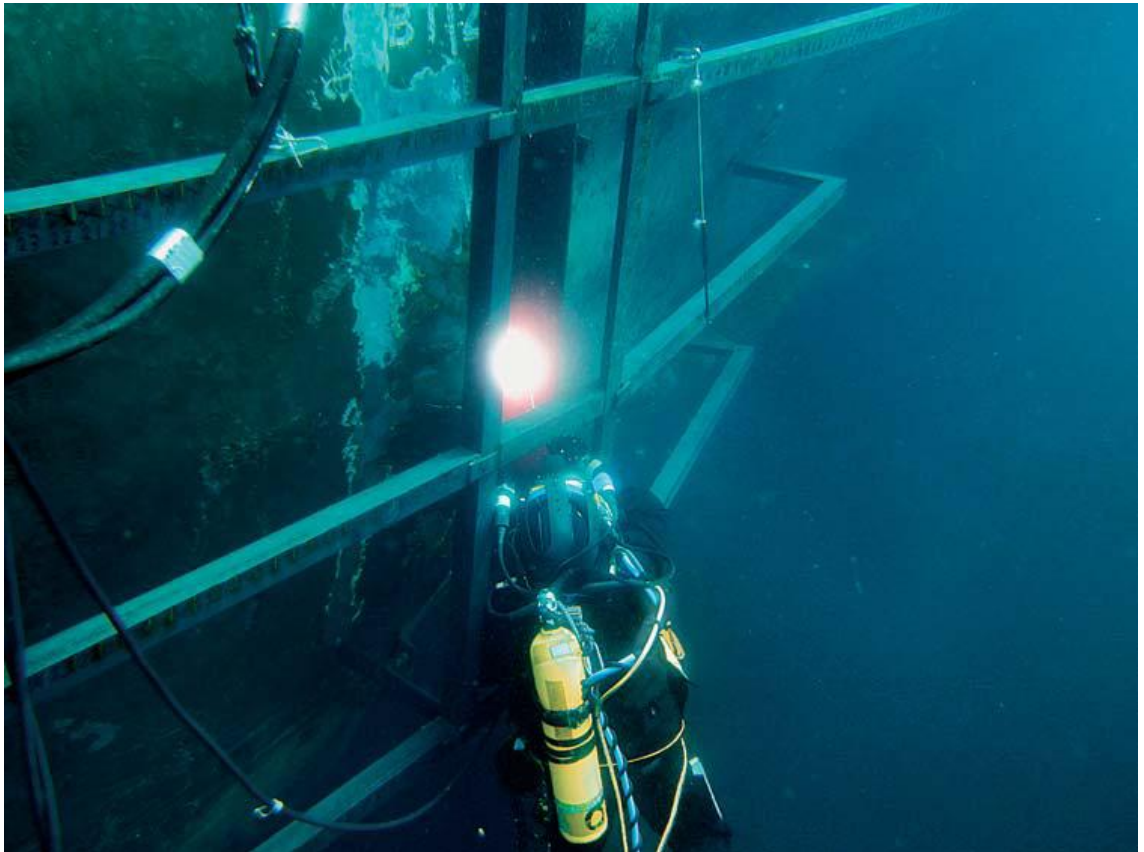
(Hydrex (185), 9-10)



(Hydrex (185), 5)



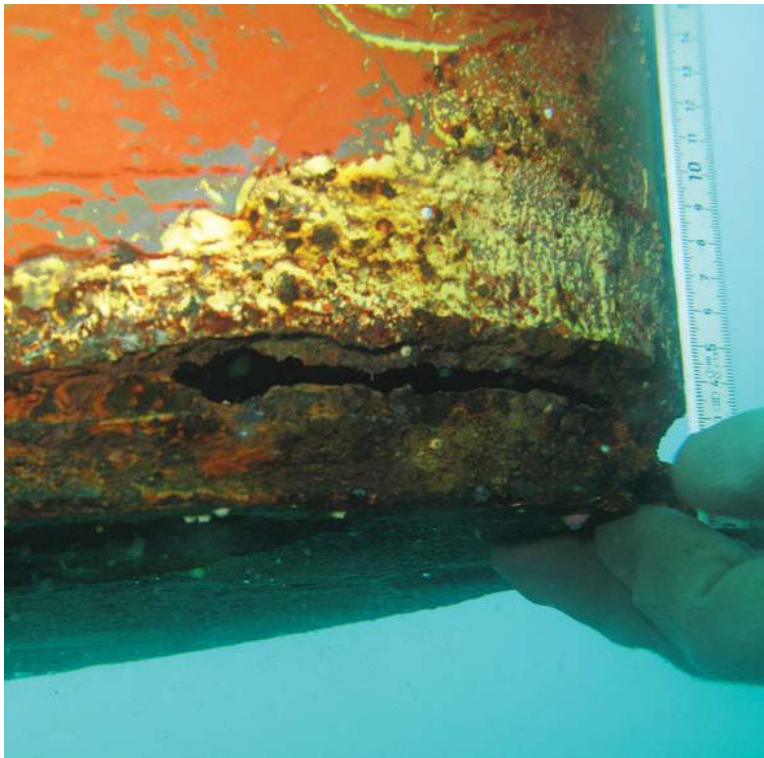
(Hydrex (175), 18)



(Hydrex (185), 32)



(Hydrex (179), 17)



(Hydrex (174), 15)

No. : p/WPS		PRELIMINARY UNDERWATER WELDING PROCEDURE (P-WPS) Electrode test Barracuda Gold 3.2 mm									
Rev. : 1											
Page : 1 of 1											
Date : 06-july-04											
Client : ONGC		Project : Mumbai		Project No. : 4236-01 wet welding							
Ref. Spec. : AWS D 3.6 -93 cat. B		Joint type qualified : Single sided V butt with backing									
Repair weld : MMA (wet)		Weld position : 3 G (PG) vertical-down									
Proposed by : Noordhoek Offshore B.V		Parent material thick : 20 mm									
Checked by : ONGC		Material dimensions : 400x130x20 mm									
Site / shop : Noordhoek Yard Zierikzee		Parent matr.spec : S 335 JRG 2									
Joint Design				Welding Sequence							
Side	Pass No.	Welding process	Weld Pos.	Electrode			DC Polarity	Amps	Volts	Welding speed	Welding Energy
				Size Ømm	Code AWS	Name		Min - Max	Min - Max	mm / min	Kj / mm
										Min - Max	Min - Max
		Root	Flat	3.25	D 3.6	Barracuda	-Ve	160-165	25-30	200	1.76 Kj
		Filler	Flat	3.25	D 3.6	Barracuda	-Ve	180-190	25-30	200	1.76 Kj
		Cap	Flat	3.25	D 3.6	Barracuda	-Ve	180-190	25-30	200	1.76 Kj
Filler Metal Make : Barracuda Gold				Tack welding procedure no. : Barracuda Gold							
Electrode Designation/Type : E 7014				Visibility : Freshwater							
BSEN 499 E42 0 1N1RR											
Waterproof Coating : Vinyl Lacquer				Water depth : 3 mtrs							
Total Immersion time min-max : 30-60 min				Water Tank Conditions : Training Tank							
Method of transportation : Wet quiver				Machine Make & Model : Powcon inverter							
Storage of electrodes : Std.boxes											
Cleaning Methods Techniques : Grind/wire Brush & Chip Hammer				Welding Techniques for root, fill & cap : Drag/Stringer Technique							
Joint Fit-up tolerance : As sketch				Weld Direction : Towards at start							
Remarks : <i>This procedure is for electrode tests only.</i>				Earth Lead Location : Away at end							
				Polarity is variable, as a rule -Ve is preferable. Depending the salinity of the seawater + Ve is an option.							
Noordhoek offshore				Approved by Client				Approved by Cert. Authority			
Name : P. Grootenboer				Name :				Name : Lloyds			
Signature				Signature :				Signature :			
Date : 07-07-2004				Date :				Date : 07-07-2004			
Noordhoek Offshore B.V.											
Industrieweg 23-29 - P.O. Box 200											
4300 AE Zierikzee The Netherlands											
Tel. (31) 0111-456000											
Fax (31) 0111-456001											