

Ilkka Kopo

LAIVAN ULKOKANSIVARUSTELUN MATERIAALIVALINNAT
ARKTISIIN OLOSUHTEISIN

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2013



LAIVAN ULKOKANSIVARUSTELUN MATERIAALIVALINNAT ARKTISIIN OLOSUHTEISIN

Kopo, Ilkka
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2013
Ohjaaja: Nurmi Lassi
Sivumäärä: 44
Liitteitä:

Asiasanat: Arktiset olosuhteet, iskutkeys, korroosionkestävyys, laivanrakennus, suunnittelulämpötila

Opinnäytetyön tarkoituksena oli arktisiin olosuhteisiin suunniteltavan laivan ulkokansivarustelussa käytettävien materiaalien tutkiminen ja sen pohjalta materiaalivalintasuosituksen löytäminen.

Laivanrakennusta säädellään melko tarkoin erilaisin standardein ja säännöksin. Opinnäytetyössä pyrittiin esittämään olennaisesti materiaalin valintaan vaikuttavat osat helposti löydettävässä muodossa. Standardin vaatimusten lisäksi tutkittiin muita olennaisesti materiaalin valintaan vaikuttavia seikkoja, kuten iskutkeys, korroosionkesto, hitsattavuus ja materiaalin hinta.

Opinnäytetyön aineistona käytettiin DNV -standardeja, alan asiantuntijoiden kirjoittamia kirjoja ja julkaisuja sekä konepaja-alan toimijoiden internet-sivuja. STX:n ja muiden alan toimijoiden haastatteluista saatiin erittäin arvokasta lisätietoa, jota ei olisi löytynyt kirjallisista lähteistä.

Opinnäytetyössä käsiteltiin laivanrakennuksen tärkeimpien metalliraaka-aineiden, rakenneterästä vastaavan laivanrakennusteräksen, ruostumattoman teräksen ja alumiiniseosten valintaan vaikuttavia ominaisuuksia, joiden perusteella laadittiin suunnittelijoiden apuvälineenä toimiva materiaalinvalintataulukko. Materiaalin hintaa käsittelevään osaan laadittiin taulukko, jossa ruostumattomasta teräksestä ja alumiinista valmistettavan osan hinta suhteutettiin laivanrakennusteräksestä valmistettuun osaan.

Opinnäytetyön tulos tiivistyi suositukseen käyttää materiaalina useimmissa rakenteissa perinteisiä lujuusluokkien 235 ja 355 N/mm² laivanrakennusteräksiä. Korkeamman myötölujuuden omaava laivanrakennusteräs on sopivin erikoiskohteisiin, jossa korkealla myötö - ja murtolujuudella on ratkaiseva merkitys. Alumiini ja austeniittinen ruostumaton teräs on paras valinta kohteisiin, joissa maalipinta on kulukselle alttiina tai kun rakenteelta vaaditaan ei-magneettisuutta. Suunnittelulämpötilan ollessa erittäin alhainen, alumiinin ja austeniittisen ruostumattoman teräksen erittäin hyvä iskutkeys matalissa lämpötiloissa korostuu.

MATERIALS FOR ACCESSORIES ON THE SHIPS'S OUTER DECK FOR THE ARCTIC CIRCUMSTANCES

Kopo, Ilkka

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

April 2013

Supervisor: Nurmi Lassi

Number of pages: 44

Appendices:

Keywords: Arctic circumstances, impact toughness, corrosion resistance, ship building, design temperature

The thesis was intended to study the materials that are used in outer deck of ships for arctic circumstances and to find the best material solutions for them.

The shipbuilding is regulated quite strictly by various standards and rules. The thesis aimed to present essential items to material selection by easily accessible format. In addition to the requirements of the standard were examined other factors, such as the selection of the material substantially impact toughness, corrosion resistance, weldability and material price.

The material of thesis was used DNV standards, the articles and books of experts in metal technology and also web pages of companies in that field. Very valuable information was found by interviews with STX's and other companies specialists. This kind of information couldn't be found elsewhere.

The thesis was examined properties of most important metallic raw materials of shipbuilding, such as shipbuilding steel, stainless steel and aluminium alloys. On the basis of essential properties for material selection, were formulated material selection table. In the section considering the price, were made up the table comparing the price of part made of stainless steel or aluminium to the shipbuilding steel.

As the result of the thesis, were recommended to use mostly traditional shipbuilding steel. When the yield- or tensile strength is most conclusive property, could be used high strength shipbuilding steel. Aluminium and austenitic stainless steel is best choice when painting is under the wearing circumstances. As well aluminium and austenitic stainless steel are recommendable when construction should be antimagnetic. The precious impact toughness in very low designing temperatures highlights the properties of aluminium and austenitic stainless steel.

LYHENTEET

-A₅% : Materiaalin murtovenymä prosentteina vetokokeessa sauvalle, jossa venyvän osan pituus l on 5 x d

- DAT(x⁰C): Suunnittelu lämpötila, jossa aluksen on pystyttävä toimimaan ja jossa rakenteiden on kestävä alukselle määritellyt toiminnot.

- DNV: Luokituslaitos, joka tuottaa mm. laivojen tarkastus- ja hyväksyntä palveluita sekä laivanrakennuksen sääntöjä. Tunnetaan myös nimellä Det Norske Veritas. Käyttää nykyään virallisesti nimeä DNV.

- IMC kerros: Eri metalleja yhteen liitettäessä lämmön vaikutuksesta kemiallisen reaktion tuloksena syntyvä kova ja hauras metallien välisiä yhdisteitä sisältävä kerros

- LIWL : Lowest ice waterline. Laivan ulkokyljessä oleva linja, joka juuri nousee veden- tai jäänpinnan yläpuolelle laivan ollessa lastaamattomana, sisältäen kuitenkin laivan toiminnalle välttämättömän öljy-, vesi- ym. lastin.

- k_{c1}: Ominaislastuamisvoima, joka tarvitaan 1 mm paksuisen lastun irrottamiseen 1 mm² alalta. Yksikkö N/ mm².

- Alkuaineiden kemialliset lyhenteet

- Al Alumiini
- C Hiili
- Cr Kromi
- Cu Kupari
- Mg Manganese
- Mn Mangaani
- Nb Niobi
- Ni Nikkeli
- Ti Titaani
- V Vanadiini

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	STX	8
3	ARKTISET OLOSUHTEET.....	9
	3.1 TILAT, JOISSA OLOSUHTEET OVAT ARKTISET	9
	3.2 ARKTISIIN OLOSUHTEISIIN MITOITETTAVAT OSAT	9
4	DNV- LUOKITUSLAITOKSEN VAATIMUKSET.....	10
	4.1 DNV+1A1 PASSENGER SHIP	10
	4.2 ICE CLASS IACS PC5 (Runko ICE-10).....	10
	4.3 WINTERIZATION.....	11
	4.4 DAT (-35)	14
5	MATERIAALIVALINTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	17
5.1	MURTO- JA MYÖTÖLUJUUS.....	17
	5.1.1 KUUMAVALSSATUT LAIVANRAKENNUSTERÄKSET	17
	5.1.2 RUOSTUMATTOMAT TERÄKSET.....	18
	5.1.3 ALUMIINISEOKSET	18
5.2	ISKUSITKEYS.....	20
	5.2.1 RAKENNETERÄKSET	20
	5.2.2 RUOSTUMATTOMAT TERÄKSET	22
	5.2.3 ALUMIINISEOKSET	22
5.3	HITSATTAVUUS	22
	5.3.1 HITSAAMINEN VARUSTELUOSLOSUHTEISSA	23
	5.3.2 RUOSTUMATTOMIEN TERÄSTEN HITSAUS.....	23
	5.3.3 ERIPARILIITOKSET.....	24
	5.3.4 ALUMIINIEN HITSAUS.....	25
5.4	KORROOSIONKESTO	26
	5.4.1 LAIVANRAKENNUSTERÄKSET.....	28
	5.4.2 RUOSTUMATTOMAT TERÄKSET.....	28
	5.4.3 ALUMIINISEOKSET	29
5.5	TYÖSTETTÄVYYS.....	30
	5.5.1 LASTUAVA TYÖSTÖ.....	30
	5.5.2 TAIVUTUS	32
5.6	HINTA	34
	5.6.1 MATERIAALIN HINTA	34
	5.6.2 TYÖSTETTÄVYYDEN VAIKUTUS HINTAAN	37
	5.6.3 HITSATTAVUUDEN VAIKUTUS HINTAAN	38
6	SUOSITUKSET MATERIAALIVALINNOIKSI	40

7 LOPPUSANAT.....	43
LÄHTEET.....	44

1 JOHDANTO

Päättötyön tarkoituksena oli selvittää arktisiin olosuhteisiin rakennettavan laivan ulkokansivarusteluun sopivimmat materiaalit. Esimerkkilainana käytettiin STX Rauman telakan valmistamaa, Etelä-Afrikan ympäristöhallinnon tilaamaa huolto- ja tutkimusalusta, joka toimii sekä jäänmurtajana että matkustaja-aluksena. Laivanrakennusalan standardit määrittivät materiaalivalintoja suuressa määrin. Erilaisissa olosuhteissa sovelletaan standardin eri luokituksia, joten heti aluksi on syytä selvittää tarkasti eri tekijöiden vaikutus vaadittaviin luokituksiin. Tarkastelin työssäni DNV-luokituslaitoksen sääntöjä, koska ne ovat Skandinaviassa eniten sovellettuja ja myös S.A. Agulhas II -aluksessa oli määritelty sovellettavaksi DNV sääntöjä.

Materiaalivalinnoissa päähuomio kiinnitettiin iskusitkeyteen matalissa lämpötiloissa, mutta myös hitsattavuus, työstettävyys, korroosionkesto ja hinta olivat tarkastelun kohteina.



Kuva 1: S.A.Agulhas II Koeajossa Rauman telakan edustalla

Lähde: www.stxeurope.com/media



2 STX

STX Europe

STX Europe on kansainvälinen johtavassa asemassa oleva risteilyalusten, autolauttojen, offshore-rakenteiden ja erikoisalusten rakentaja. STX Europe omistaa 15 telakkaa Suomessa, Norjassa, Ranskassa, Brasiliassa, Romaniassa ja Vietnamissa. Työntekijöitä on n. 14500 henkilöä.

STX Finland

STX Finlandilla on 2 kokonaan omaa telakkaa, toinen Turussa ja toinen Raumalla. Helsingissä sijaitsevan Artech Helsinki Shipyard Oy:n STX Finland omistaa tasa-osuukin yhdessä United Shipbuilding Corporationin kanssa.

Rauman telakka

Rauma on erikoistunut n. 900 henkilön voimin autolauttojen, pienten risteilyalusten, sekä erikoisalusten kuten tutkimusalusten, jäänmurtajien ja merivoimien alusten suunnitteluun ja rakentamiseen. Rauman telakan rakennusallas on 260 x 85 m.

Turun telakka

Turun telakka on Suomen suurin ja työllistää n.1500 henkilöä. Turku on erikoistunut risteily- ja automatkustajalaivoihin, sekä teknisesti vaativiin offshore-hankkeisiin. Rakennusallas on 365 x 80 m.

Helsingin telakka

Helsingin telakka työllistää n. 400 henkilöä, keskittyen arktisten erikoisalusten kuten jäätä murtavien alusten rakentamiseen. Rakennusaltan mitat ovat 280 x 34 m.

Lähde: www.stxeurope.com

3 ARKTISET OLOSUHTEET

3.1 TILAT, JOISSA OLOSUHTEET OVAT ARKTISET

Arktisissa olosuhteissa toimivan laivan rakenteista läheskään kaikki tilat eivät altistu suunnittelussa käytettävälle matalimmalle lämpötilalle.

LIWL rajan eli alimman jää/vesirajan alapuoliset rakenteet eivät missään olosuhteissa altistu ulkoilman lämpötilalle, joten suunnittelussa voidaan käyttää veden lämpötilaa. S.A. Agulhas II -laivassa käytettiin lämpötilaa -2°C .

Sen sijaan kaikki suoraan ulkoilmaan rajoittuvat tilat sekä lämmittämättömät lastitilat on suunniteltava arktisiin olosuhteisiin.

Alhainen lämpötila johtuu rakenteita pitkin osittain laivan sisälle, joten 0,6 m laidoituksesta sisäänpäin vesilinjan yläpuolisten rakenteiden sekä kansirakennusten ja jäykisteiden suunnittelulämpötilana on käytettävä tilaajan määrittämää DAT ($x^{\circ}\text{C}$) suunnittelulämpötilaa.

3.2 ARKTISIIN OLOSUHTEISIIN MITOITETTAVAT OSAT

Aluksen rungon osille, kuten kylkilevyille, ylärakenteille, palkeille ja jäykisteille asetetaan erilaisia vaatimuksia, jotka riippuvat suunnitellusta jääluokasta (luku 4.2). Keskityn kuitenkin varsinaiseen työn aiheeseen, ulkokansivarusteluun.

Winterization-luokitus määrittää missä kansirakenteissa ja varustelussa arktiset olosuhteet on huomioitava. Nämä kohteet on selostettu luvussa 4.3

4 DNV-LUOKITUSLAITOKSEN VAATIMUKSET

Laivat luokitellaan hyvin monen eri kriteerin, käyttötarkoituksen, jääolosuhteiden ym. mukaan. S.A. Agulhas II- laiva on luokiteltu DNV + 1A1 PASSENGER SHIP, ICE CLASS IACS PC5 (ICE-10 for Hull), WINTERIZED BASIC, DAT (-35) luokan alukseksi. Laivan luokitus erilaisiin jääolosuhteisiin ja eri luokitusten vaatimukset on käsitelty DNV:n säännöissä Ships for navigation in Ice.

4.1 DNV+1A1 PASSENGER SHIP

PASSENGER SHIP tarkoittaa, että S.A Agulhas II on luokiteltu ensisijaisesti matkustaja-alukseksi, vaikka se onkin tehty monitoimialukseksi palvelemaan arktisten alueiden tutkimus- ja huoltotoimintaa.

4.2 ICE CLASS IACS PC5 (Runko ICE-10)

PC-5 jääluokan alus suunnitellaan operoimaan ympärivuotisesti vesissä, joissa on ensimmäisen vuoden keskipaksu jääkansi, joka voi kuitenkin sisältää lohkareita vanhemmasta jääpeitteestä.

Taulukko 1: Jääluokat

PC-1 Ympärivuotinen operointi kaikilla jääalueilla
PC-2 Ympärivuotinen operointi vaikeahkoilla monivuotisilla jääalueilla
PC-3 Ympärivuotinen operointi toisen vuoden jääpeitteessä, joka saattaa sisältää lohkareita monivuotisesta jääpeitteestä
PC-4 Ympärivuotinen operointi paksussa ensimmäisen vuoden jääpeitteessä, joka saattaa sisältää lohkareita vanhasta jääpeitteestä
PC-5 Ympärivuotinen operointi keskivaikeassa ensimmäisen vuoden jääpeitteessä, joka saattaa sisältää lohkareita vanhasta jääpeitteestä
PC-6 Kesä/syys kauden operointi keskivaikeassa ensimmäisen vuoden jääpeitteessä, joka saattaa sisältää lohkareita vanhasta jääpeitteestä
PC-7 Kesä/syys kauden operointi ohuessa ensimmäisen vuoden jääpeitteessä, joka saattaa sisältää lohkareita vanhasta jääpeitteestä

Rungon luokitus jääolosuhteisiin ICE-10 tarkoittaa, että laiva pystyy operoimaan ilman syöksyjä 1 m vahvuisessa jäässä, jossa ei ole ahtaumia.

Nämä luokitukset määrittävät mm. rungon, jäävahvisteiden, moottoreiden ja potkurien mitoituksen, mutta eivät ota kantaa kansivarusteluun.

4.3 WINTERIZATION

Winterization -luokituksella määritellään kylmien ilmasto-olosuhteiden huomioimista laivan varusteissa. Winterization määrittelee mm. rakenteet, jotka vaativat jääneston ja -poiston sekä niissä vaadittavan tehon. Luokitus määrittelee myös paineilman syötön ja palosammutuslaitteistojen järjestelyn ulkokansilla, sekä winterization cold ja - arctic- luokituksissa hydraulikan lämmityksen. Tällä luokituksella on suunnittelulämpötilan ohella suurin vaikutus ulkokansivarusteiden materiaaleihin. Keskitynkin winterization-luokitukseen vain materiaalivalintoihin vaikuttavilta osin.

WINTERIZED BASIC-alukset on tarkoitettu toimimaan kylmän ilmaston olosuhteissa lyhyitä ajanjaksoja. Materiaaleille ei basic-luokassa ole asetettu mitään erityisvaatimuksia edes suunnittelulämpötilan suhteen. Jäänpoistoa ym. sen sijaan koskevat kaikki edellisessä kappaleessa mainitut asiat.

WINTERIZED COLD (t^1 , t^2) -alukset on tarkoitettu toimimaan kylmän ilmaston olosuhteissa pitkiäkin ajanjaksoja.

t^1 = materiaalin suunnittelulämpötila = alin vuorokauden keskilämpötila toiminta-alueella

t^2 = suunnittelun ääriämpötila, jona käytetään yleensä 20 °C alemmaa kuin t^1 .

Winterized Cold -luokkaa koskevat Basic -luokan vaatimusten lisäksi myös määräykset materiaaleista.

Materiaalin rungon ulkopuolisissa rakenteissa, alimman jää/vesilinjan (LIWL) yläpuolella, on vastattava materiaalin suunnittelulämpötilan ($DAT \times ^\circ C$) määrittämää luokitusta. Ulkopuolisiksi rakenteiksi katsotaan mm. laivan kylkilevyt ja myös jäykisteet ulkopinnasta 600 mm sisäänpäin, avoimet kannet ja kansirakennukset.

Kaikki matalalle lämpötilalle altistuvat laitteet, jotka ovat välttämättömiä laivan toiminnalle, on valmistettava materiaalin suunnittelulämpötilaa vastaavasti luokitellusta aineesta.

Tällaisia laitteita ovat mm:

- ankkuriketjut ja ketjunpidättimet (mukaan lukien sakkelit, päätelenkit, vivut, kotelointi, akselit, akselien laakerit, laakeriholkit, ketjun pidättimen rullat ja ankkuripedit)
- kiinnityslaitteet, kuten pollarit, silmäkkeet, rullasilmäkkeiden jalustat, rullat, tapit, ketjupyörät, hammaspyörät, kiinnitystapit, rummut, vintturin taittopyörät ja kiinnitysvaijerit
- pelastusveneiden laskulaitteet ja vinssit
- peräsimen runko laippoineen ja ruuveineen
- cargo -öljyn lastaus/purkuputket ja tuuletusputket
- lastiruumien ja tankkien luukut
- hätähinauspisteet (strong point)
- kansikoneiden öljyputket ja kauko-ohjauksen venttiilit, ellei niissä ole lämmitystä ja eristystä
- hydrauliventtiilien toimilaitteet
- paineilmaohjattujen laitteiden ilmaputket, elleivät ne ole lämmitettyjä ja eristettyjä.
- helikopterikannet

Kiinnitys- ja ankkurointivintturien ruuviliitos jalustaansa, sekä laakereiden kiinnitysruuvit on tehtävä mataliin lämpötiloihin tarkoitettuun teräksestä. Harmaavaluraudan käyttö ei ole sallittua missään kuormitetuissa laakeriston ja perustusten osissa.

Ankkuriketjun tyyppi valitaan lämpötilan mukaan

$t^1 \geq -20^{\circ}\text{C}$ ketjutyyppe K2

$t^1 < -20^{\circ}\text{C}$ ketjutyyppe K3

Levymateriaalista valmistetuissa laitteissa ja laitteiden osissa on käytettävä seuraavia luokkia.

Luokka 3 pelastusveneiden laskulaitteet, ankkurointilaitteet

Luokka 2 muut laitteet, joita ei ole mainittu luokissa 1 ja 3

Luokka 1 tuuletusaukot, ovet, kulkuaukkojen luukut

Laitteissa ja laitteiden osissa, jotka on valmistettu taotusta tai valetusta materiaalista, materiaalin on täytettävä testausvaatimukset taulukon 2 mukaisissa lämpötiloissa ja iskuenergioilla.

Taulukko 2: Taottujen ja valettujen osien testauslämpötilan ja - iskuenergian vaatimukset suunnittelulämpötilan suhteen

t^1 , suunnittelu lämpötila	ttestaus	Charpy iskuenergia (minimi)
$t^1 \geq -20^\circ\text{C}$	0°C	27 J
$-20^\circ\text{C} > t^1 > -35^\circ\text{C}$	-20°C	27 J
	tai 0°C	48 J
$t^1 \leq -35^\circ\text{C}$	-20°C	27 J

Putkissa on käytettävä luokan D mukaista terästä. Vaihtoehtoisesti putkimateriaali voidaan valita samoilla periaatteilla kuin levymateriaali.

WINTERIZED ARCTIC (t^1 , t^2) ottaa huomioon myös Arktisen alueen haavoittuvuuden mm. mahdollisten öljypäästöjen varalta sekä joitakin lämmitykseen ja propulsiolaitteiden ohjaukseen liittyviä seikkoja. Näiden määräysten lisäksi Arctic -luokkaa luokkaa koskevat kaikki Basic- ja Cold -luokkaa koskevat vaatimukset.

Materiaalien osalta Arctic-luokka eroaa Cold-luokasta vain potkurin materiaalin osalta, sen on oltava joko austeniittista ruostumatonta terästä tai kylmä ominaisuuksiltaan vastaavaa materiaalia.

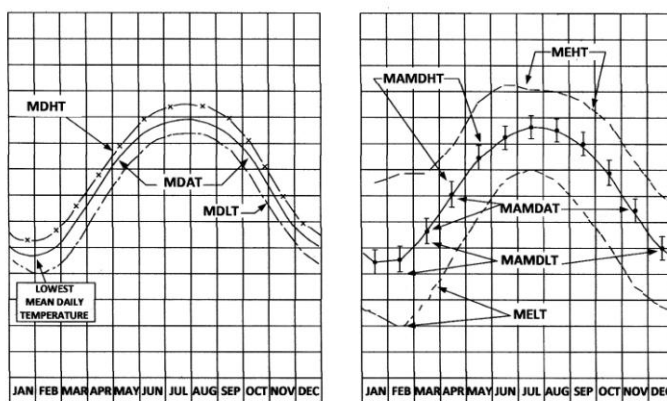
4.4 DAT (-35)

DAT tarkoittaa suunnittelulämpötilaa, jonka perusteella terästen luokat valitaan.

Ulkopuolisille rakenteille DAT määritellään aluksen toiminta-alueen keskimääräisen alimman ulkoilman vuorokausilämpötilan mukaan.

Keskilämpötilan määrittämiseen on monta eri tapaa, mutta DNV -säännöt käyttävät MDLT -lämpötilaa, joka on valittu ajanjaksolta, jolla alus tulee alueella operoimaan. MCLT -lämpötilan määrittystapa selviää alla olevasta kuvasta 2.

Kuva 2: Tavallisimmat lämpötilan määrittystavat



MDHT Mean* Daily High (or maximum) Temperature

MDAT Mean* Daily Average Temperature

MDLT Mean* Daily Low (or minimum) Temperature

MAMDHT Monthly Average** of MDHT

MAMDAT Monthly Average** of MDAT

MAMDLT Monthly Average** of MDLT

MEHT Monthly Extreme High Temperature
(ever recorded)

MELT Monthly Extreme Low Temperature
(ever recorded).

* Mean: Statistical mean over observation period (at least 20 years).

** Average: Average during one day and night.

MATERIAALIVALINTA

Aluksen rakenteet lujuusvaatimusten tai alueiden mukaan luokitellaan 4 erilaiseen luokkaan materiaalin valintaa varten. Luokat ovat yleisesti ottaen

Luokka IV

- Lujuuskansien rakenteet ja kylkilevyt laivan keskiosassa
- Raskaasti kuormitetut pitkittäistä kuormitusta vastaanottavat elementit

Luokka III

- Levyt, jotka pääasiassa vaikuttavat pitkittäiseen lujuuteen
- Aluksen keulan rakenne Icebreaker- ja Polar-luokan laivoissa
- Aluksen päätoimintojen laitteet kuten laivan perän kaaret, peräsimen runko, peräsin, potkurisuulakkeet ja akselipukit
- Laivan peräosan alusrakenteet, joihin potkurit kiinnittyvät
- Pääkoneiden ja laitteiden perustat ja päätukirakenteet
- Nosturinjalustat ja päätukirakenteet
- Päätukiranteet helikopterikansille
- Tukirakenteet vintturien rungoille, hätähinaukselle ja ketjunpidikkeille, mikäli laitteet on hitsattu runkoon tai kanteen (luokitus ei koske em. laitteita, mikäli ne on liitetty ruuveilla runkoon, tai kanteen).

Luokka II

- Yleisesti rakennelmat, jotka tukeutuvat pitkittäin ja/ tai poikittain runkopalkkeihin
- Valuma-altaat
- Vesitiiviysosastoinnin rakenteet
- Rahtitilojen, öljysäiliöiden ja painolastitankkien rakenteet
- Levyrakenteeseen liittyvät sisäpuoliset pitkittäiset tuet, jotka altistuvat ulkoilman matalalle lämpötilalle, jossa on vaatimuksena luokka III ja IV
- Kansihytit ja päärakennelmat, jotka keskilaivan osalta altistuvat pitkittäiselle rasiukselle alueella, joka on 0,6 x laivan pituus.

Luokka I

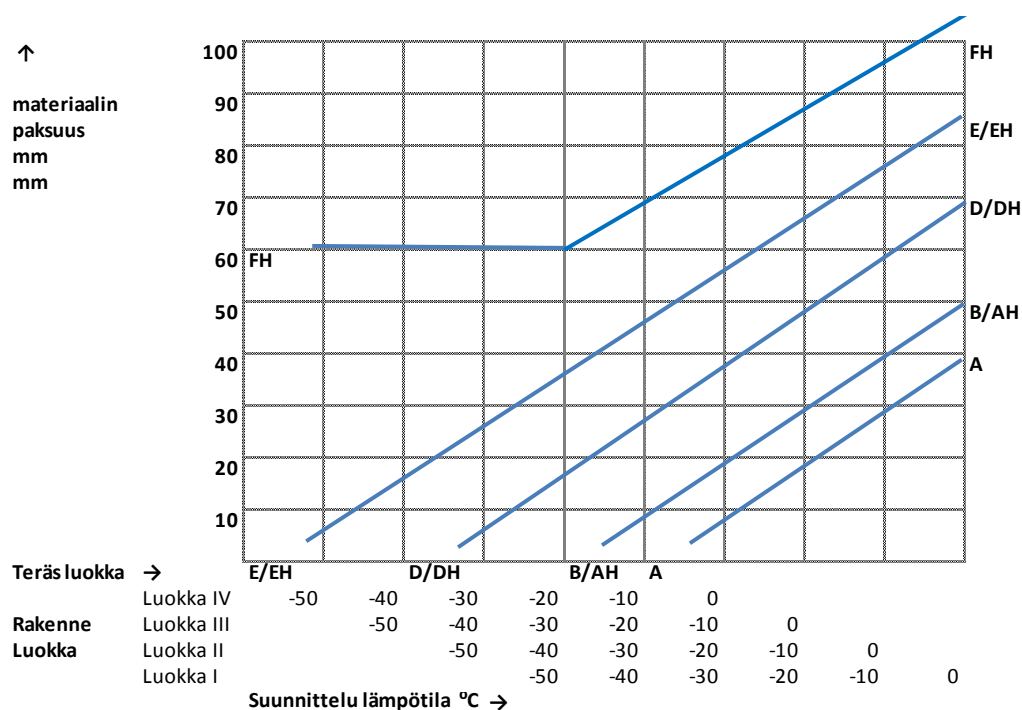
- Rajoitetut rakenteet yleensä, ellei niitä ole luokiteltu erikseen kuormitusasteen, kuormitustavan, kuormitustiheyden ja kuormituksen siirtymäpisteiden mukaan
- Kansirakennukset ja ylärakennukset yleisesti
- Lastiruumien kansiluukut.

Mikäli aluksella on DAT -luokitus, materiaalin iskutikeys ballast -vesilinjan yläpuolisiin levyrakenteisiin valitaan oheisen taulukon 3 mukaan.

Vaadittava levynpaksuus määritetään lujuuslaskelmien perusteella.

Luokka I-IV saadaan edellisen sivun luettelosta. Vaadittavan suunnittelulämpötilan kohdalta kyseisestä luokasta nähdään vaadittava DNV:n mukainen iskutikeysluokka kullekin levyn paksuudelle. Luokka on aina pyöristettävä vaativampaan suuntaan.

Taulukko 3: Iskutikeysten valinta levypaksuuden, suunnittelulämpötilan ja rakenne-
luokan perusteella



u

Esim. Helikopterikannen päätukirakenteet ovat rakenneluokkaa III. Suunnittelulämpötilan ollessa -35°C ja materiaalipaksuuden ollessa 20 mm, on valittava iskutikeysluokka E/EH, koska vaatimus on hieman korkeampi kuin D/DH.

5 MATERIAALIVALINTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

5.1 MURTO- JA MYÖTÖLUJUUS

Myötölujuus ilmoittaa materiaalin jännityksen, jonka ylityttyä syntyy pysyviä muodonmuutoksia. Useimpien terästen osalta kappaletta edelleen venytettäessä jännitys kasvaa aaltoilevasti. Näin ollen myötörajalta saadaan alempi myötöraja R_{eL} ja ylempi myötöraja R_{eH} . Valmistajat ilmoittavat usein kuitenkin vain arvon R_e . Väli on teräksille yleensä 10 - 40 N/mm².

Alumiinilla ja austeniittisella ruostumattomalla teräksellä ei ole selvää myötörajaa. Niillä myötörajan sijasta käytetään $R_{p0,2}$ rajaa eli jännitystä, jolla on syntynyt 0,2 % pysyvä venymä.

Murtolujuus on suurin vetojännitys, jolla kappaletta voidaan kuormittaa, ennen kuin se alkaa kuroutua ja katkeaa. Käytännössä rakenteita ei voida mitoittaa murtolujuuden mukaan vaan on käytettävä myötölujuutta.

5.1.1 KUUMAVALSSATUT LAIVANRAKENNUSTERÄKSET

Lämpötilan aleneminen alle 20°C lämpötilan vaikuttaa myötymiseen tarvittavaan jännitykseen vain vähän, joten lujuuslaskennassa voidaan käyttää teräksen valmistajan ilmoittamia laskentalujuuksia, jotka määritetään +20°C:ssa. Iskusitkeyden suhteen lämpötilalla sen sijaan on huomattava vaikutus.

Seostamattomat teräkset, jotka ovat nimelliseltä myötölujuudeltaan ≤ 360 N/mm², ovat edullisia ja turvallisia valintoja hitsattavuuden ja iskusitkeyden suhteen. Oikealla lisäainevalinnalla ja hitsaustekniikalla ne eivät vaadi erikoistoimenpiteitä. Haluttaessa korkeampi myötö/murtolujuus voidaan valita normalisoitu laivanrakennusluokan hienoraeteräs, jollaisia ovat 360 - 420 N/mm² myötölujuuden ns. 40 luokan laivanrakennusteräkset.

Mikäli tarvitaan vielä korkeampaa myötölujuutta, on siirryttävä termomekaanisesti valssattuihin teräksiin ns. 470 luokan tai 500-lujuusluokan laivanrakennusteräksiin, joiden hitsauksessa on huomioitava mahdollinen perusaineen pehmeneminen hitsauksen muutosvyöhykkeellä. Hitsauksen sijoittelulla vähemmän kuormitettuun koh-

taan, hitsauslisäaineen valinnalla, sekä oikein suoritettulla lämpökäsittelyllä haitat voidaan välttää.

Lujuusluokan 470 laivanrakennusteräksiä on iskutkeydeltään F luokkaan asti eli iskutkeys on koestettu - 60°C lämpötilassa. Lujuusluokan 500 laivanrakennusteräksiä sen sijaan valmistetaan E luokkaan asti [lähde: www.ruukki.fi].

5.1.2 RUOSTUMATTOMAT TERÄKSET

Yleisimmillä austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä saavutetaan lujuus $R_{p0,2}$ 220 - 280 N/ mm², joten myötölujuuden ollessa määräävä tekijä ainevahvuutta joudutaan kasvattamaan tavanomaisiin laivanrakennusteräksiin verrattuna. Murtolujuus sen sijaan asettuu niiden kanssa samaan luokkaan 500 - 600 N/ mm². Murtovenymä A_5 on erinomainen, parhailla laaduilla jopa 55 %.

Ferriittisillä ruostumattomilla teräksillä saavutetaan austeniittisiä teräksiä korkeampi lujuus $R_{p0,2}$, yli 300 N/ mm². Murtolujuuksissa ferriittiset ruostumattomat teräkset sen sijaan eivät yllä austeniittisten tasolle vaan jäävät välille 400 – 450 N/mm².

Ferriittisten ruostumattomien terästen murtovenymä A_5 on 18-25%.

5.1.3 ALUMIINISEOKSET

Alumiineilla saavutetaan Mg-seostuksella (5000-sarjan alumiinit) ja Mg+Si seostuksella (6000-sarja) n. 150N/mm² lujuus $R_{p0,2}$. Kylmämuokkauksella tai erkautuskarkaisulla voidaan saavuttaa lähes normaalien laivanrakennusterästen $R_{p0,2}$ taso , 300 - 400 N/mm². Hitsauksessa alumiini käytännössä aina kuumenee niin paljon, että kylmämuokatun tai erkautuskarkaistun alumiinin myötölujuus laskee pelkällä seostuksella aikaansaadun lujuuden tasolle. Lujuuden pieneneminen voidaan usein kompensoida hitsaussauman sijoituksella vähän rasitettuun kohtaan.

Matalissa lämpötiloissa alumiinin murto- ja $R_{p0,2}$ - lujuus sekä murtovenymä jopa paranevat hieman huoneenlämpötilaan verrattuna.

Alumiiniseosten kimmokerroin on vain n.1/3 eli n. 70 GPa teräksen kimmokertoimesta. Alhaisemman kimmokertoimen johdosta rakenteet on mitoittettava mitoiltaan järeämmiksi esim. taivutuskuormituksen aiheuttaman taivutuksen ollessa määräävä

tekijä. Tällöin huomattava osa teräkseen nähden vain n.1/3 ominaispainon tuomasta edusta menetetään.

Alumiiniseoksia kuvataan kemialliseen koostumukseen perustuvalla numeerisella nimikejärjestelmällä, sekä niiden tilaa kuvaavalla tunnuksella. Esim. AW 5754-H22

Taulukko 4: Alumiinin numeerinen nimikejärjestelmä pääseosaineen mukaan

1xxx(x)	Seostamaton (puhdas alumiini)
2xxx(x)	Kupari
3xxx(x)	Mangaani
4xxx(x)	Pii
5xxx(x)	Magnesium
6xxx(x)	Pii+ magnesium
7xxx(x)	Sinkki
8xxx(x)	Muut

Taulukko 5: Tilojen tunnuksset

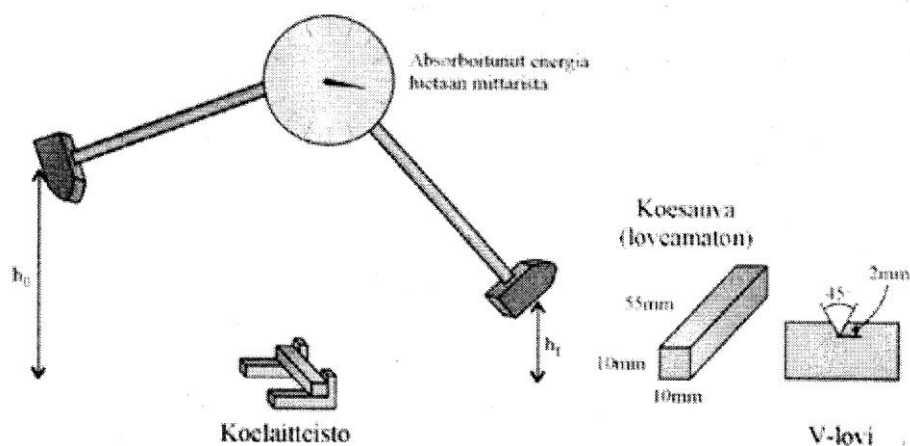
F	Valssaustila, "as fabricated"
O	Pehmeäksi hehkutettu
H	Muokkauslujitettu
W	Liioshehkutettu
T	Lämpökäsitelty muuhun stabiiliin tilaan. Usein erkautuskarkaisu.

Jokaisella tilalla on vielä alaluokituksensa, jonka käsittelyn rajaan tämän työn ulkopuolelle. Luokitus on määritelty standardissa EN 515.

5.2 ISKUSITKEYS

Materiaalin kykyä sitoa energiaa ennen murtumista kutsutaan iskusitkeydeksi. Riittävän suurella voimalla tapahtuva iskumainen rasitus johtaa murtumaan, joka voi tapahtua hauraasti tai sitkeästi. Iskusitkeyttä mitataan standardissa EN10045-1990:1 määritellyllä iskusitkeyskokeella.

Testattavasta materiaalista valmistetaan koesauva jonka keskelle koneistetaan joko V- tai U- lovi. Loven kohdalle kohdistetaan isku heilahdusiskurilla ja mitataan sauvan sitoma energia. Eri lämpötiloissa suoritettujen kokeiden tuloksista piirretään käyrä. Iskusitkeysluokaksi ilmoitetaan luokka, joka vastaa lämpötilaa jossa seostamattomat teräkset sitovat 27 J iskuenergian ja hienoraeteräkset 40 J energian.



Kuva 3: Iskusitkeys kokeen suoritus

5.2.1 RAKENNETERÄKSET

Iskusitkeys on hyvin tärkeä tekijä valittaessa materiaaleja arktisiin olosuhteisiin. Yleisimmät rakenneteräkset kuten S235 ja S355 sekä niitä myötölujuudeltaan vastaavat laivateräkset NV A (A-F) ja NV A (A-F) 36, ovat seostamattomia teräksiä, joiden rakenne on suurimmaksi osaksi ferriittinen. Ferriittisillä teräksillä on transiitolämpötila, jonka alapuolella murtumiskäyttäytyminen muuttuu sitkeästä hauraaksi.

Käytettävä teräs on syytä valita niin, että käyttölämpötila ei alita transitiolämpötilaa, jonka alapuolella iskusitkeys laskee hyvin voimakkaasti. Ferriittisten terästen iskusitkeyttä voidaan parantaa seostuksella ja lämpökäsittelyllä.

Tiivistyksellä teräksestä poistetaan siihen valmistusprosessissa jäänyttä happea, jotta se ei aiheuta iskusitkeyttä ja lujuutta heikentäviä rautaoksidisulkeumia. Tiivistäminen tehdään lisäämällä vähintään 0,1% piitä tai alumiinia vähintään 0,02%. Alumiini reagoi myös typen kanssa jarruttaen rakeenkasvua ja parantaen näin iskusitkeyttä. Typen määrän väheneminen pienentää myös taipumusta myötövanhenemiseen.

Mangaani- ja nikkelseostus parantavat iskusitkeyttä. Mangaaniseostusta voidaan lisätä 1,6 %:iin asti ennen kuin se heikentää merkittävästi hitsattavuutta. Nikkelseostus laskee transitiolämpötilaa erittäin tehokkaasti. Transitiolämpötilaksi voidaan saavuttaa jopa alle -80 °C seostamalla teräs 0,5% nikkelseostuksella. Hienoraeteräksissä nikkeliä kuitenkin käytetään huomattavasti pienempiä määriä kalleutensa ja suhdanneherkkyytensä vuoksi.

Pieni raekoko parantaa iskusitkeyttä. Hienoraeteräkset valmistetaan mikroseostuksella ja lämpökäsittelyillä. Alumiinin lisäksi Nb- ja Ti- seostus jarruttavat rakeenkasvua jo melko pieninä pitoisuuksina. Pelkkä mikroseostus ei kuitenkaan riitä vaan lisäksi tarvitaan normalisointi tai termomekaaninen käsittely. Väärä lämpökäsittely voi kuitenkin saada hienoraeteräksenkin raekoon kasvamaan, joten lämpökäsittelyssä on seurattava tarkasti valmistajan ohjeita.

Hiili, rikki ja fosfori heikentävät iskusitkeyttä. Hiili on kuitenkin lujuuden kannalta tarpeen, joten matalissa lämpötiloissa käytettävissä teräksissä hiilen vaikutusta on kompensoitava muilla seosaineilla. Rakenneteräksissä yleistä 0,18%:n hiilipitoisuutta on arktisissa olosuhteissa rajoitettava iskusitkeyden ja hitsattavuuden parantamiseksi.

5.2.2 RUOSTUMATTOMAT TERÄKSET

Useimmat ruostumattomat teräkset ovat mikrorakenteeltaan austeniittisia ja näin ollen niillä on hyvä iskutikeys jopa hyvin matalissa lämpötiloissa. Esim teräksillä AISI 304 ja -316 vastaavilla teräksillä on erinomainen iskutikeys arktisissa olosuhteissa.

Ferriittiset ruostumattomat teräkset vastaavat matalissa lämpötiloissa iskutikeydeltään kutakuinkin tavallisimpia laivarakennusteräksiä, joten niiden tärkeimmäksi eduksi jää korroosiokesto. Korroosionkestossa ne eivät yllä meri-ilmastossa austeniittisten terästen tasolle.

5.2.3 ALUMIINISEOKSET

Alumiiniseoksilla ei ole matalissa lämpötiloissa haurasmurtumataipumusta. Iskutikeys pysyy lähes muuttumattomana lämpötilan laskiessa huoneen lämpötilasta -200°C:een, joten ne soveltuvat arktisiin olosuhteisiin erinomaisesti.

5.3 HITSATTAVUUS

Hitsaus ja lämpöä tuovat leikkausmenetelmät aiheuttavat herkimmin säröjä ja rakenteen muutoksia jotka aikaansaavat esim. matalassa lämpötilassa iskun herättämänä murtuman ydintymisen. Murtuman ydinyttyä se saattaa edetä hauraassa materiaalisissa erittäin nopeasti. Sitkeässä materiaalissa murtuma sen sijaan etenee hitaammin mm. murtumaa edeltävän muodonmuutoksen siirtäessä osan kuormituksesta toisalle. Hitsatun alueen jäähtymisnopeus välillä 800°C - 500°C on ratkaiseva raekoon kasvun kannalta. Hidas jäähtyminen johtaa suurempaan raekokoon, mikä heikentää iskutikeyttä. Teräksen koostumuksella on rakeenkasvun kannalta ratkaiseva merkitys. Laivanrakennusterästen kemiallisessa koostumuksessa on huomioitu hitsattavuus. Hiilipitoisuus on alle 0,18%, mitä pidetään yleisesti hyvin hitsattavan teräksen maksimi hiilipitoisuutena. Hitsattavuutta kuvataan hiiliekvivalentilla CEV.

$$CEV = C\% + Mn\%/6 + (Cr\% + Mo\% + V\%)/5 + (Ni\% + Cu\%)/15$$

CEV < 0,40% = hyvä hitsattavuus

CEV = 0,40 – 0,45 % = hyvä hitsattavuus niukkavetyisillä lisäaineilla

CEV > 0,45% = tarvitaan esikuumennusta

Esim. Ruukin NVD 36-teräksellä CEV= 0,40 % (C = 0,152%, Mn = 1,4% Cr = 0,05% Mo = 0,05% V = 0,05% Ni = 0,05% Cu = 0,04%)

5.3.1 HITSAAMINEN VARUSTELUOLOSUHTEISSA

Hitsattava kohta on aina suojattava tuulelta, sateelta ja lumelta. Kosteus hitsattavan aineen pinnassa saattaa aiheuttaa hitsiin huokosia ja vetyhalkeiluriskin. Pakkasessa hitsattaessa hitsattava materiaali molemmin puolin railoa on aina esilämmitettävä lämpötilaan +50 ...+100°C sekä kosteuden poistamiseksi että jäähtymisnopeuden hidastamiseksi.

5.3.2 RUOSTUMATTOMIEN TERÄSTEN HITSAUS

Austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat nykyisin erittäin hyvin hitsattavia, koska sekä teräksen valmistus, että lisäaineet ovat kehittyneet. Herkistyminen raerajakorroosiolle sekä kuumahalkeilu ovat olleet austeniittisten ruostumattomien teräksien hitsauksen merkittäviä ongelmia. Kromilla on taipumus erkautua ja muodostaa kromikarbideja teräksen lämpötilan ollessa lämpötila-alueella 550-850°C. Tällöin raerajoille syntyy kromiköyhiä alueita, joissa korroosionkesto on heikentynyt. Raerajakorroosio voidaan välttää valitsemalla perusainetta seostetumpi lisäaine, jolloin hitsausliitoksessa on köyhtymisen jälkeenkin riittävästi kromia. Kromikarbidin toisen ainesosan, hiilen, pitoisuudella teräksessä on myös suuri merkitys raerajakorroosion esiintymiselle. Useimmat ruostumattomat teräkset sisältävät alle 0,05% hiiltä, jolloin herkistymiseen tarvittava aika kriittisellä lämpötila-alueella, 550 -750°C on yli 0,5 h. Ruostumattomasta teräksestä valmistettavat ulkokannen rakenteet ehtivät jäähtyä riittävän nopeasti raerajakorroosion välttämiseksi.

Kuumahalkeilu syntyy hitsiaineen jähmettyessä, kun hitsissä olevat matalassa lämpötilassa sulavat epäpuhtaudet suotautuvat ja ovat viimeiseksi sulassa tilassa hitsin keskellä. Hitsin jäähtyessä sen sisälle syntyy kutistumisesta johtuva vetojännitys, joka aikaansaa halkeaman viimeiseksi sulana olevaan ja myös heikoimpaan epäpuhtaus-suotautumaan. Kuumahalkeilu voidaan välttää käyttämällä lisäainetta, joka muodostaa hitsiin 5-10% ferriittiä. Tällainen lisäaine on esim. AWS 316L eli 19% Cr-12% Ni-3% Mo. Ferriitillä on austeniittia parempi kyky sitoa epäpuhtauksia sekä pienempi lämpölaajenemiskerroin. Liikaa ferriittiä muodostavia hitsauslisäaineita tulee välttää, koska ferriitillä on austeniittia heikompi korroosionkesto ja iskutkeys matalissa lämpötiloissa.

Korroosionkestävyys heikkenee hitsausvirheiden ja roiskeiden johdosta, joten liitokset on viimeisteltävä huolella pistekorroosion välttämiseksi.

Austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat hitsattuinkin erittäin turvallisia kylmähaurauden suhteen. Iskutkeys säilyy hieman yliseostetulla lisäaineella hitsattaessa erinomaisena. Ferriittisillä ruostumattomilla teräksillä kylmähaurausriski ja korroosioriski kasvavat hitsattaessa huomattavasti.

5.3.3 ERIPARILIITOKSET

Varusteluhitsauksessa ja varusteluosien valmistuksessa tehtävät eripariliitokset ovat tyypillisesti melko pieniä hitsauksia, joten hitsausjännitykset eivät ole merkittäviä.

Jännitystenpoistohehkuksia ei yleensä tarvita, eikä se ole käytännössä mahdollistaakaan suuriin rakenteisiin, joihin eripariliitoksia hitsataan. Kuten ruostumattomien terästen hitsauksessa, laivanrakennusteräksiä ja ruostumattomia teräksiä yhteen liitettäessä kuumahalkeilu ja hitsausliitoksen köyhtyminen lisäaineista voidaan välttää oikealla lisäainevalinnalla.

Esim. Laivanrakennusteräksen ja AISI 316L -teräksen yhteen liittäminen voidaan suorittaa turvallisesti 24% Cr – 13% Ni tai 23% Cr-13% Ni-3% Mo lisäaineella, kun perusaineen ja lisäaineen sekoittumisaste ovat 15-40%.

5.3.4 ALUMIINIEN HITSAUS

Mg ja Mg+Si -seosteiset alumiinit, jotka ovat parhaiten laivanrakennukseen soveltuvia, ovat hyvin hitsattavia alumiineja. Osa Cu-seosteisista (2000-sarja) ja Zn-seosteisista (7000-sarja) alumiiniseoksista ovat voimakkaasti kuumahalkeiluun taipuvaisia. Sopivalla lisäainevalinnalla taipumusta tosin voidaan pienentää. Cu-seosteisiä tulisi välttää ulkokansivarustelun materiaalina, koska myöskään sen korroosionkesto ei yllä Mg-seosteisten alumiinien tasolle. 7000-sarjan alumiineja ei tulisi käyttää hitsatuissa rakenteissa, koska niillä esiintyy taipumusta jännityskorroosi-oon.

Kaarihitsauksen tekee haastavaksi, terästen hitsaukseen verrattuna, alumiinin alhainen sulamislämpötila n. 600°C. Alumiinissa ei tapahdu hitsauslämpötilassa vielä värimuutoksia, joten hitsaajan ammattipätevyysvaatimukset ovat korkeat. FSW kitka-hitsaus, jossa puristuksen alainen hitsaussauma lämmitetään pyörivällä työkalulla, tulee osittain syrjäyttämään alumiiniseosten MIG- ja TIG-hitsauksen.

Alumiinin pinnalla on aina oksidikerros, jonka sulamislämpötila on hyvin korkea, jopa 2000°C. Oksidikerrokseen imeytynyt kosteus ja lika aiheuttavat huokoisuutta, ellei oksidikerrosta poisteta välittömästi ennen hitsausta.

Alumiinin ja teräksen yhteen liittämiseen on nykyään saatavilla ns. räjäytyshitsattua liitoselementtiä, jossa alumiinin ja teräksen yhteen hitsautuminen on aikaansaatu räjähdysten aiheuttamalla kovalla paineella. Liitoksen vetomurtolujuus on lähes alumiinin vetomurtolujuutta vastaava, koska matalan lämmöntuonnin johdosta liitoskohta syntyy vain hyvin ohut IMC kerros (intermetallic compounds).

Liitoselementin toinen puolisko voidaan liittää normaalina hitsauksena teräsrakenteisiin, ja alumiinipuoliskoon voidaan hitsata tuleva alumiinirakenne. Hitsattaessa liitettäviä rakenteita Al/Fe räjähdyskiskoon on huomioitava mahdollisimman pieni lämmöntuonti räjähdyskiskoon, jotta ei syntyisi lujuutta heikentävää IMC kerrosta.

5.4 KORROOSIONKESTO

Arktisissa meriolosuhteissa korroosio-olosuhteet ovat hyvin haastavat.

Suolaisessa meri-ilmastossa metallirakenteiden pinnalla on lähes aina edellytykset sähkökemialliselle korroosiolle. Metallirakenteet ovat joko vesikalvon peittämiä, tai ilman suhteellinen kosteus ylittää 60%, jota pidetään teräksen korroosion kynnsarvona. Meriveden Na^+ ja Cl^- ionien johdosta merivesi johtaa sähköä makeaa vettä paremmin. Korroosiolla on monia erilaisia esiintymismuotoja

- Tasaisessa korroosiossa materiaali syöpyy lähes samalla nopeudella koko pinnaltaan. Korroosion vaikutus voidaan suunnittelussa ottaa huomioon syöpymisvarana.

- Piste- ja kuoppakorroosiossa syntyy syöpymäkeskittymiä materiaalin ollessa kosketuksissa kloridipitoisen liuoksen, esim. meriveden, kanssa. Esim. ruostumattoman teräksen korroosion kesto perustuu metallin pinnalle hapen vaikutuksesta syntyvään passivoituneeseen oksidikerrokseen. Kloridi-ionit voivat murtaa passiivikerroksen paikallisesti, jolloin passivoituneen pintakerroksen ja aktiivisessa tilassa olevan perusaineen välille syntyy galvaaninen pari, joka aiheuttaa voimakkaan pistemäisen korroosion. Pistekorroosion vaara on erityisen suuri hitsausvirheiden kohdalla jälkikäsittelemättä jätetyissä hitseissä, joissa pinta on hapettunut, sekä pinnan naarmuuntuneissa kohdissa.

- Rakokorroosio syntyy rakenteiden ahtaisiin rakoihin, joihin vesi imeytyy kapillaarisesti. Piilokorroosio syntyy vastaavalla tavalla metallipinnan ja saostuman tai lika-kerroksen väliin.

- Galvaaninen korroosio syntyy kun galvaanisesti eri jännitepotentiaalin omaavat metallit ovat vesiliuoksen kautta yhteydessä toisiinsa. Jännitesarjassa alempi metalli toimii anodina ja luovuttaa ioneja jalommalle osapuolelle, eli katodille. Epäjalompi materiaali syöpyy. Yhteen liitettävien materiaalien tulisi olla jännitepotentiaaliltaan mahdollisimman lähellä toisiaan tai ne on sähköisesti eristettävä toisistaan esim. maalaamalla. Mikäli yhteen liittämistä ei voida välttää, epäjalomman materiaalin pinta-alan tulisi olla huomattavasti suurempi, kuin jalomman vastaparin. Tärkeimpien metallien jännitesarja on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6: Eräiden metallien galvaaninen jännitesarja merivedessä

Metalli	Jännitepotentiaali / V
Magnesium ja magnesium seokset	-1,6 ... -1,63
Sinkki	-0,98 ... -1,03
Alumiiniseokset	-0,76 ... -1,00
Seostamaton teräs	-0,6 ... -0,71
Valurauta	-0,6 ... -0,71
AISI 304 ruostumaton teräs aktiivisessa tilassa	-0,46 ... -0,58
AISI 316 ruostumaton teräs aktiivisessa tilassa	-0,43 ... -0,54
Messinki	-0,30 ... -0,40
Kupari	-0,30 ... -0,57
Lyijy-Tina-seos (50 % -50%)	-0,28 ... -0,37
Lyijy	-0,19 ... -0,25
Nikkeli	-0,10 ... -0,20
AISI 304 ruostumaton teräs passiivisessa tilassa	-0,05 ... -0,10
AISI 316 ruostumaton teräs passiivisessa tilassa	-0,00 ... -0,10
Titaani	-0,05 ... -0,06
Grafiitti	+0,20 ... +0,30

- Raerajakorroosio etenee metallin raerajoja pitkin. Esim. ruostumaton teräs voi hitattaessa herkistyä kromin erkautuessa hiilen kanssa kromikarbideiksi ja viereisen aineen köyhtyessä epäjalommaksi.

- Jännityskorroosio ilmenee raerajoja pitkin etenevinä halkeamina austeniittisilla teräksillä kun vetojännityksen alainen teräs on kloridien vaikutuksen alaisena yli 60°C lämpötilassa. Jännitys voi olla ulkoisen kuormituksen lisäksi myös hitsauksesta tai muokkauksesta syntyntä. Ferriitti ei ole altis jännityskorroosiolle. Sopivasti seostettu hitsauslisäaine synnyttää hitsauksessa riittävästi ferriittiä estämään jännityskorroosion.

5.4.1 LAIVANRAKENNUSTERÄKSET

Seostamattomalle teräkselle on laivassa aina, öljysäiliöitä lukuun ottamatta, edellytykset korroosiolle. Kosteusprosentti ylittää joka tilassa laivan elinkaaren aikana ainakin ajoittain 60%, ja happea on yleensä riittävästi.

Paras korrosio suoja seostamattomalle teräkselle syntyy kuumasinkityksellä ja sen jälkeisellä maalauksella. Kustannussyistä usein päädytään pelkkään maalaukseen. Maalauksellakin saavutetaan ulkokansilla riittävä korroosionkesto huolellisella pohjatyöllä. Sinkkisilikaatti antaa parhaan lopputuloksen korroosionkeston suhteen, mutta hinta yleensä ohjaa muihin maaleihin. Muiden maalien sekä uudelleenmaalauskerrosten tarttuvuus sinkkisilikaatteihin on heikko. Sinkkisilikaattia käytetään joskus esim. autokansien ainoana maalina. Yleisimmin partaan sisäisissä kannen yläpuolisissa rakenteissa pohjamaalina käytetään sinkkiepoksia tai ns. mastikpohjamaaleja. Pintamaalina käytetään tällöin uretaanimaalia.

5.4.2 RUOSTUMATTOMAT TERÄKSET

Ruostumattomilla teräksillä on erinomaiset korroosionkesto-ominaisuudet tasaista korroosiota vastaan. Ongelmallisin korroosionmuoto on pistekorrosio. Oksidikalvon rikkoutuessa ja meriveden peittäessä vauriokohdan, uutta hapettunutta kerrosta ei pääse heti muodostumaan.

Raerajakorroosio ei yleensä muodostu ongelmaksi hitsattaessa yhteen pelkästään ruostumattomia teräksiä. Kromikarbidiinien erkautuminen hitsissä erilleen ja kromiköyhän alueen muodostuminen voidaan helposti ehkäistä käyttämällä hitsauslisäainetta perusainetta kromi- ja molybdeenipitoisuudeltaan rikkaampaa lisäainetta.

Hitsausvyöhykkeen koostumus voidaan myös tasoittaa liuoshehkutuksella, mutta se on menetelmänä usein liian kallis ja hankala toteuttaa. Eripariliitoksissa, hitsattaessa tavanomaista laivanrakennusterästä ja ruostumatonta terästä yhteen, hitsausliitos on korrosio herkin kohta. Huolellinen hitsausvirheiden ja roiskeiden korjaus korostuu. Tavanomaiselle teräkselle tehtävä korroosiosuojaus on ulotettava reilusti hitsatun alueen yli ruostumattoman teräksen puolelle.

Hitsattaessa on huomioitava, että ruostumattoman teräksen ja tavanomaisen laivanrakennusteräksen eripariliitoksessa menetetään käytännössä ruostumattoman kor-

roosionkesto-ominaisuudet hionta- ja hitsausroiskeiden lentäessä ja kiinnittyessä ruostumattoman pinnalle. Ruostumaton teräs olisi syytä suojata kokonaan työn loppuun asti. Paras tapa on tehdä ruostumattomat teräsrakenteet kokonaan omina elementteinä ja asentaa ne paikalleen aivan loppuvaiheessa.

5.4.3 ALUMIINISEOKSET

Alumiiniseoksilla on erinomainen korroosionkesto kuivassa ilmassa, jossa suojaava oksidikerros voi aina vapaasti muodostua vaikka oksidikalvoo syntysisikin mekaanisesti vaurio. Merivesiolosuhteissa, jossa elektrolyytinä metallin pinnalla toimiva merivesi on kloridipitoinen, piste- ja rakokorroosion vaara on huomattavasti suurempi. Rakenteet tulisi suunnitella niin, ettei synny koloja, joihin kertyy kosteutta.

Meriveden kloridipitoisuuden vuoksi laivoissa on suositeltavaa käyttää vain ns. merivedenkestäviä alumiiniseoksia kuten AW 5074 ja AW5083, joissa on yli 3%:a magnesiumia.

Alumiinin ja teräksen liitoksessa syntyy galvaaninen jännitepari, jolle meriolosuhteissa on lähes aina tarjolla merivettä tehokkaaksi elektrolyytiksi. Epäjalompi alumiini toimii anodina ja syöpyy. Alumiinin pinnalle syntyvä passiivikerros ei ole riittävä korroosiosuoja, kuten ei teräksen pinnalla oleva maalikaan, vaan anodin ja kato-din välille tarvitaan eriste. Paras eristys saadaan aikaiseksi kumi- tms. levyllä, mutta silikonitiivistemassatkin yhdessä maalin kanssa riittävät kun myös ruuvien kierteet ja kannat eristetään.

5.5 TYÖSTETTÄVYYS

5.5.1 LASTUAVA TYÖSTÖ

Metalliset raaka-aineet jaetaan työstettävyyden mukaan ISO-standardissa kuuteen pääraaka-aineryhmään.

P-ryhmä on isoin ryhmä. P-ryhmään kuuluvat kaikki seostamattomat, niukkaseosteiset ja suurin osa runsasseosteisistä työkalu- ym. teräksistä. P-ryhmä sisältää myös ferriittiset ja martensiittiset teräkset, joiden Cr-pitoisuus on alle 12% . Kaikki laivanrakennusteräkset kuuluvat P-ryhmään. Lastuttavuus on yleensä hyvä, mutta se vaihtelee mm. kovuudesta ja hiilipitoisuudesta riippuen.

M-ryhmään kuuluvat ruostumattomat austeniittiset ja duplex-teräkset.

K-ryhmään kuuluvat erityyppiset valuraudat. Harmaavaluraudat ja adusoidut valuraudat ovat helposti lastuttavia. Pallografiittivaluraudat ja austemperoidut valuraudat ovat vaikeampia.

N-ryhmään kuuluvat ei-rautametallit, mm. alumiinit, kupari ja messinki. N-ryhmän aineet ovat yleensä pehmeitä ja lastun murtoon tarvittava voima on melko pieni.

Lastuttaessa voidaan käyttää suuria nopeuksia ja terä kestää pitkään, kunhan särmät ovat terävät.

S-ryhmä sisältää kuumalujia superseoksia, jotka ovat hyvin runsaasti seostettuja.

S-ryhmän aineet ovat hankalia koneistettavia tahmeutensa, irtosärmänmuodostuksen ja karkenevuutensa vuoksi.

H-ryhmä sisältää karkaistut teräkset. Kovuus vaihtelee välillä 45-65 HRC, mikä tekee niiden koneistuksesta hankalaa.

Terävalmistajat ovat vielä jakaneet aineet alaryhmiin, jolloin ne voivat antaa taulukoissaan työstettävälle aineelle ohjeelliset työstöarvot, mm. työstönopeuden.

Työstettävyyttä voidaan arvioida mm. näiden taulukoiden työstönopeuden ja ominaislastuamisvoiman avulla.

Ferriittiset ruostumattomat teräkset kuuluvat lastuttavuudeltaan seostamattomat teräkset sisältävään P-ryhmään. Lastuttavuus on hyvä, seostamattomien terästen luokkaa.

Alumiinit

Alumiiniseoksilla on yleensä hyvät työstöominaisuudet. Lastuamisvoimat ja lämmönmuodostuminen ovat suhteellisen pieniä ja näin ollen voidaan käyttää suuria lastuamisnopeuksia. Suuri lastuamisnopeus parantaa pinnanlaatua, joten se on suositeltavaa sekä tehokkuuden että pinnanlaadun vuoksi. Lastuamisnopeus voi olla jopa 700 – 800 m/min. Pitkät sitkeät lastut vaativat terävän teräpalan, jossa on erityisesti alumiinille suunniteltu lastunmurtoura. Lastun poiston seuranta on alumiinilla erityisen tärkeää.

5.5.2 TAIVUTUS

Laivanrakennusteräket

Terästehtaat ovat kehittäneet erikoislaatuja, joilla on erityisen hyvä särmättävyys. Parhailta laaduilla valmistaja lupaa särmättävyyden 90° kulmaan taivutettaessa jopa taivutussäteelle 1x levynpaksuus. Laivanrakennusteräksille teräsvalmistajan eivät julkista vastaavia taulukoita. Vähimmäistaivutussäde voidaan arvioida teräksen murtovenymästä ja –kuroumasta, tai käytetään vastaavan rakenneteräksen taulukkoa. Yleisesti laivanrakennusterästen minimi taivutussäteet ovat teräksen valssaussuuntaan nähden pitkittäin.

Levynpaksuus < 6 mm: $R_{\min} = 2 \times t$ (t= levynpaksuus)

” 6 – 30 mm: $R_{\min} = 2,5 \times t$

Särmättävän levyn ulkoreuna venyy voimakkaasti, jolloin on otettava huomioon kylmämuokkautumisen aiheuttama iskusitkeyden aleneminen. Esim. taivutettaessa 10 mm levy $R=20$ mm säteellä, ulkoreuna venyy n. 11%. Tällöin iskusitkeyden transitiolämpötila nousee 20°C - 30°C.

Iskusitkeyden aleneminen ei ole kaikissa tapauksissa vaarallista.

- käytettävän teräksen iskusitkeysluokka ja näin ollen transitiolämpötila on suunnittelulämpötilan myötä valittu riittävän alhaiselle lämpötilalle
- kylmämuokattavissa rakenteissa materiaalit ovat yleensä ohuita, jolloin haurastumisriski on suhteellisen pieni
- kylmämuokatut osat eivät usein sijaitse jännitysten kannalta kriittisimmissä kohteissa

Käytettäessä kylmämuokattuja osia kriittisesti kuormitetuissa kohteissa, iskusitkeyden heikkeneminen särnäyttäessä on huomioitava valitsemalla iskusitkeydeltään korkeampi teräsluokka.

Ruostumattomat teräkset

Austeniittiset ruostumattomat teräkset muokkauslujittuvat voimakkaasti, joten taivutettaessa taivutuskohdan lujuus kasvaa, mutta samalla sitkeys heikkenee olotilan muuttuessa kylmämuokkauksen johdosta martensiitiksi. Lähtötasoltaan austeniittisten teräksen murtovenymä ja sitkeys on erinomainen. AISI 316L -laadun A5 on vielä -60 °C:ssa jopa 55 %, joten voimakaskaan särnäyminen ei heikennä iskusitkeyttä vaaralliseksi tasolle. Austeniittisten ruostumattomien terästen minimitaivutussäteenä voidaan käyttää materiaalin paksuutta.

Austeniittinen ruostumaton teräs on epämagneettinen. Kylmämuokkauksessa syntyvän martensiittin osuus ja samalla magneettisuus riippuvat seostuksesta, muokausasteesta ja muokkauslämpötilasta.

Ferriittisten ruostumattomien terästen murtovenymä ja sitkeys ovat huomattavasti heikommat kuin austeniittisten. Näiltä osin ne vastaavat läheisesti seostamattomia teräksiä, joten särnäyksen ja taivutuksen osalta niitä voidaan käsitellä kuten seostamattomia teräksiä.

Putkien ja profiilien taivutuksessa on murtovenymän lisäksi huomioitava profiilin mahdollinen lommahtaminen taivutuksessa. Isojen putkien ja profiilien taivutuksessa käytetään putkea sisäpuolelta tukevaa tuurnaa. Pienet putket voidaan taivuttaa putkea tukevan lestin ympäri.

Alumiiniseokset

Alumiiniseosten taivutettavuudessa on merkittäviä eroja seostuksesta ja muokkausasteesta johtuen. Keskityn tarkastelemaan lähinnä AW5754 ja -5083 laatujen taivutettavuutta, koska ne ovat merivedenkestäviä.

Murtovenymä on pienempi kuin seostamattomilla teräksillä, lisäksi muokkausaste vaikuttaa voimakkaasti murtovenymään. Esim. AW 5754 H11 laadulla, joka on lähes muokkaamaton, murtovenymä on 12 %, mutta AW5754 H22 laadulla, joka on enemmän muokattu, murtovenymä on vain 8 %. Kylmämuokkaamattomilla, tai vähäisen muokkausasteen omaavilla alumiineilla minimitaivutussäde on seostamattomien terästen luokkaa, tai hieman suurempi. Muokkausasteen kasvaessa minimitaivutussäde sen sijaan kasvaa selvästi. Alumiiniseosten taivutus sen sijaan ei sisällä merkittävää riskiä iskutkeyden heikkenemisestä taivutuskohdassa. Alumiiniseosten iskutkeyden säilyminen alhaisissa lämpötiloissa samalla tasolla +20 °C:n iskutkeyteen verrattuna tekee niistä turvallisen valinnan taivutusta vaativissa kohteissa.

5.6 HINTA

Ostettaessa mitä tahansa tuotetta, teknisten, ulkonäöllisten, ym. ominaisuuksien rinnalla hinta on olennaisesti valintaan vaikuttava tekijä. Tiukasti kilpailulla alalla kuten telakkateollisuudessa hinta on erittäin ratkaiseva tekijä kunhan tekniset vaatimukset tulevat täytetyksi. Lopulliseen materiaalin hintaan vaikuttavat materiaalin ostohinta, työstettävyys, hitsattavuus, materiaalin vaatima pintakäsittely sekä kilpailutilanne. Laivateräksestä tehtäville osille ja rakenteille on löydettävissä huomattavasti enemmän tekijöitä kuin ruostumattomalle teräkselle ja alumiinille.

Lisäksi lopulliseen hintaan vaikuttaa valitun materiaalin toimivuus rakenteessa sille asetetuissa olosuhteissa. Pienenkin reklamaation hoitamisesta koituvat kustannukset saattavat maksaa huomattavasti enemmän kuin materiaaleista saatavat kustannussäästöt.

5.6.1 MATERIAALIN HINTA

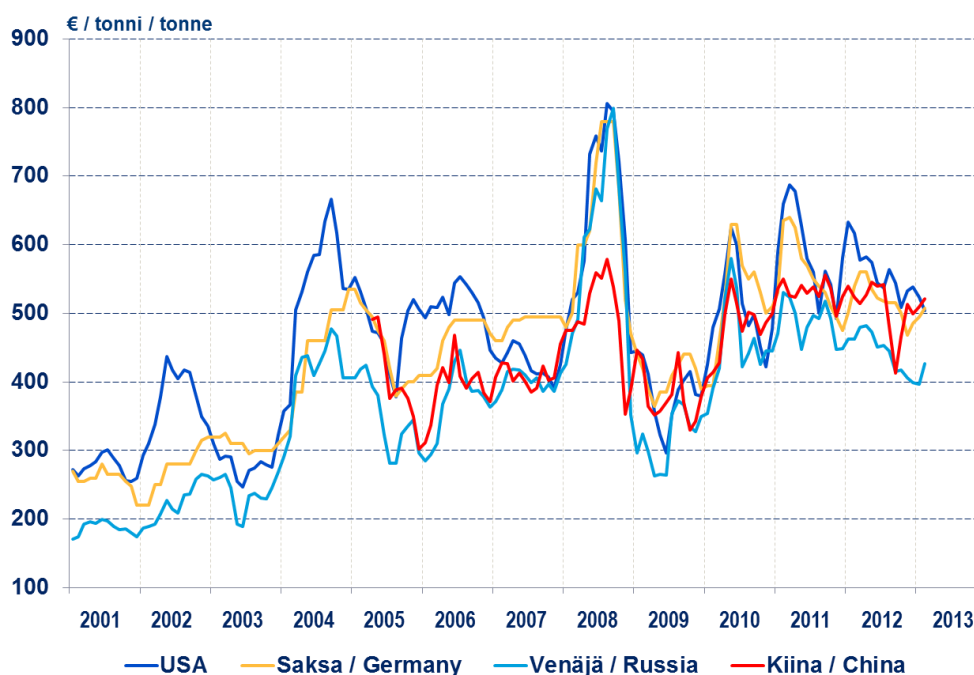
Laivanrakennusteräket ovat oikeastaan rakenneteräksiä, joilla on vain luokituslaitoksen hyväksyntä, jolloin niille käytetään laivateräsluokituksen mukaisia nimikkeitä. Laivanrakennusterästen hinta noudatteleeekin melko tarkkaan rakenneterästen hintaa. Laivaluokituksesta koituva lisähinta kompensoituu yleensä telakoiden suurten volyymien tuomalla ostoedulla. Tarkasteltaessa koko 2000-lukua hinnoissa on tapahtunut hyvin suuria heilahduksia, kuten ilmenee alla olevasta taulukosta 7.

Hinnat on kerätty spot-markkinoilta ja sisältävät vain perushinnan. Esimerkiksi Saksassa vuoden 2013 alussa perushinta on ollut n. 510€/tn. Kaikkine lisineen hinta asiakkaalla samalla ajanjaksolla esim. Suomessa S355J0 laadussa on ollut n. 750 €/tn.

Taulukko 7: Kuumavalssatun rakenneteräksen hintakehitys 2000-luvulla

Lähde: Teknologia teollisuus, Standardi terästuotteiden ja värimetallien hintoja.

Kuumavalssatut kelat / Hot-rolled Coils

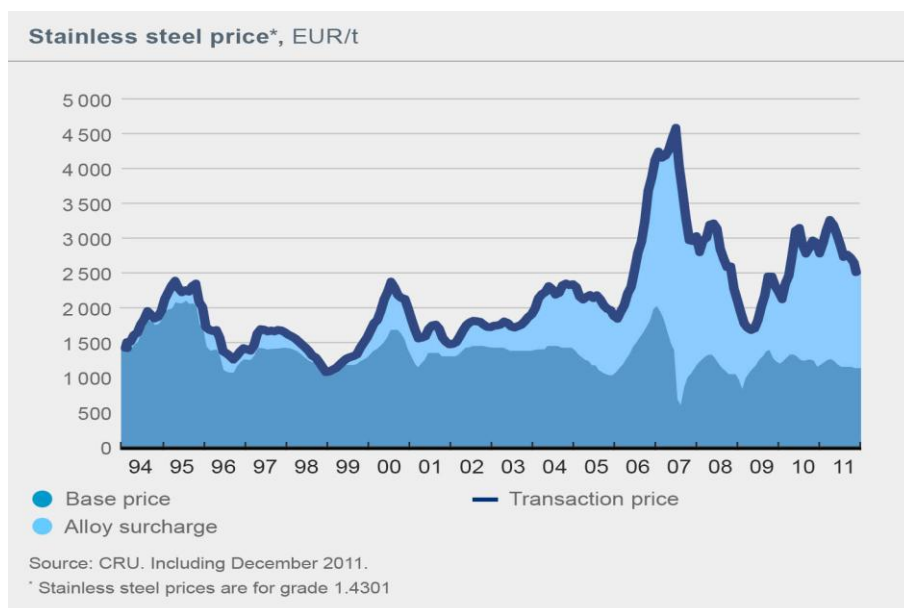


Lähde: Steel Week (CRU), Teknologiateollisuus ry

Hintaheilahdukset johtuvat kysynnän ja tarjonnan muutoksista. Korkeimmillaan hinta on ollut vuoden 2008 elokuussa, jolloin alkanut lama pudotti teräksen spot-hinnan ennennäkemättömän nopeasti 780 €/tn hinnasta hintaan 370 €/tn maaliskuuhun 2009 mennessä. Terästehtaan kanssa solmitut neljännesvuosittaiset toimitussopimukset tasoittavat hintaa huomattavasti, jolloin korkeimmat hintahuiput eivät välttämättä ehdi telakan ostamaan teräkseen, mutta toisaalta matalimmat hinnat jäävät myös saavuttamatta. Hintavaihtelut ovat suurimpia teräslevyissä. Profiilien ja putkien suurempi jalostusaste lieventää osan hintaheilahduksista.

Ruostumattomien terästen hintoihin kysyntävaihtelut vaikuttavat vähintään yhtä paljon kuin rakenneterästen hintoihin. Varsinkin nikkelin hinta vaikuttaa voimakkaasti austeniittisten ruostumattomien terästen hintaan.

Taulukko 8: AISI 304:ää vastaavan teräksen transaction-hinta . Taulukosta ilmenee sekä perushinta että seosainelisä. Loppuasiakkaalle hinta on toimitusketjusta ja rahdeista johtuen selkeästi korkeampi.



Lähde: <http://www.cruonline.crugroup.com>

Tammikuussa 2013 asiakkaan maksama hinta Suomessa AISI 304-levyssä on n. 3800 €/tn.

AISI 316L laadun hinta on n. 500 €/tn korkeampi kuin AISI 304 laadun.

Ferriittisten ruostumattomien terästen hintavaihtelu ei ole yhtä voimakasta kuin austeniittisten ruostumattomien, mikä selittyy sekä vähäisemmällä kysynnällä että ennen kaikkea pienemmällä seosaineiden määrällä, joten nikkelin hintavaihtelut eivät juuri vaikuta hintaan.

Alumiinilla hinnan vaihtelut ovat aivan yhtä suuria kuin rakenneteräksellä ja ruostumattomalla teräksellä. Alumiini valmistetaan bauksiitista, jota maankuoressa on runsaasti, joten raaka-aineen loppuminen tai edes louhintakelpoisten raaka-aine esiintymien ehtyminen eivät tule lähitulevaisuudessa nostamaan sen hintaa.

Alumiinin valmistaminen vaatii runsaasti energiaa, joten energian hinnannousu kyläkin tulee nostamaan sen hintaa. Alumiini on erittäin hyvin kierrätettävä metalli, mikä puolestaan laskee hinnannousupaineita, joten tulevaisuudessa alumiinin merkitys tulee nousemaan laivanrakennuksessakin.

Taulukko 9: Alumiinin peruslaatuojen hintakehitys 2000 luvulla.

Lähde: Teknologia teollisuus, Standardi terästuotteiden ja värimetallien hintoja.



Tammikuun 2013 hinta asiakkaalla Suomessa AW 5474-profiilissa on ollut n. 2900 €/tn.

5.6.2 TYÖSTETTÄVYYDEN VAIKUTUS HINTAAN

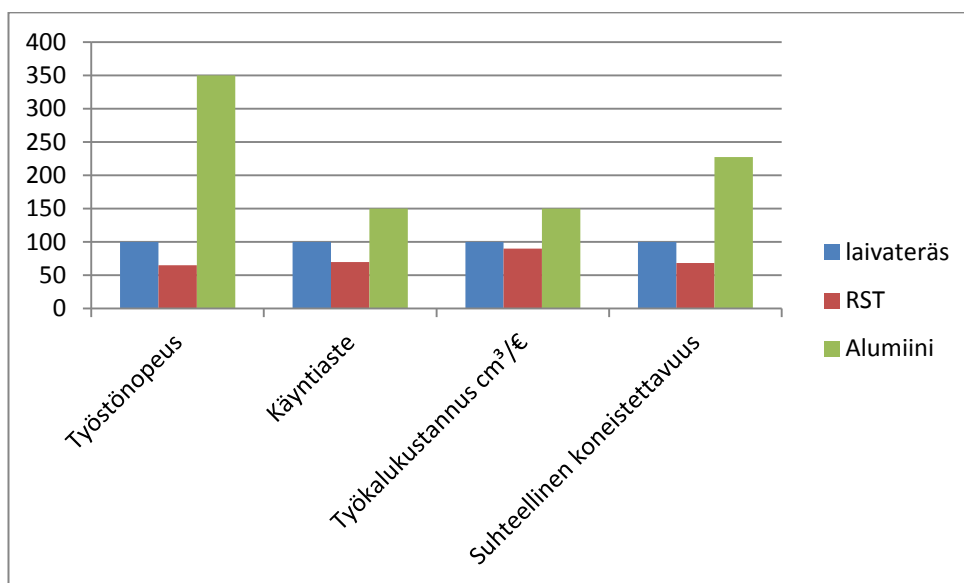
Materiaalin lastuttavuus vaikuttaa hintaan käytettävän työstönopeuden ja koneen käyntiasteen mukaan. Mahdolliset terärikot ja teräpalan vaihtoon käytetty aika laskevat käyntiastetta. Työstettävän materiaalin teräpalaa kuluttava vaikutus luonnollisesti vaikuttaa pieneltä osin työstön hintaan kohonneina työkalukustannuksina.

Suuria pintoja vaikeasti koneistettavaa materiaalia koneistettaessa hintaa saattaa nostaa tarve käyttää isompaa työstökoneetta, jonka tuntikustannus on suuri.

Taulukko 10 : Materiaalien suhteellinen koneistettavuus laivateräkseen verrattuna.

Suhteellinen koneistettavuus on saatu laskemalla yhteen työstönopeus painoarvolla 50%, käyntiaste painoarvolla 45% ja työkalukustannukset lastuttua tilavuusyksikköä kohden painoarvolla 5%. Laivateräksen koneistettavuutta ilmaistaan luvulla 100.

Suurempi koneistettavuusluku tarkoittaa parempaa koneistettavuutta.



5.6.3 HITSATTAVUUDEN VAIKUTUS HINTAAN

Laivateräksestä valmistettaville osille on löydettävissä paljon alihankkijoita.

Ruostumattomalle teräkselle ja erityisesti alumiinisille osille kilpailutettavia on huomattavasti vähemmän. Kilpailutilanne ja tarvittava erityisosaaminen nostavat ruos-

tumattomien ja alumiinisten osien hintaa enemmän kuin hitsausominaisuudet ja lisäaineen hinta edellyttäisivät. Lisäaineen hinta jääkin käytännössä merkityksettömäksi. Suurin vaikutus hitsauksen hintaan on työsuunnittelulla. Kunkin osan paikoilleen hitsaus niin, ettei työ vaadi erityisjärjestelyjä kuten suojaus- tai ylimääräistä telien rakentamista maksaa vain murto-osan erityisjärjestelyihin verrattuna. Osan viivästymisen aiheuttamat lisäkulut ovat niin suuret, että heikosti saatavilla olevan materiaalin käyttöä tulee välttää materiaalin hyvistä korroosionkesto- ja muista ominaisuuksista huolimatta.

Taulukko 11: Hitsauksen ja siihen liittyvien töiden vaikutus eri materiaalista tehtyjen osien kg-hintaan.

	Hitsaus ja levytyö	Materiaali	Villapiikit	Sinkitys	Kokonais-hinta
Teräs , Ilmakanava. 4 mm	55	35	10		100
AISI 316L , Ilmakanava. 4 mm	75	160	14		249
Alumiini, Ilmakanava. 4 mm	172	150	31		353
Teräs. Muotoprofiilirakenne	43	57	0		100
AISI 316L. Muotoprofiilirakenne	59	244	0		303
Alumiini. Muotoprofiilirakenne	137	214	0		351
Teräs. Portaat ja tasot	55	45	0		100
Teräs. Portaat ja tasot sinkittynä	62	45	0	44	151
Alumiini. Portaat ja tasot	167	210	0		377
Teräs. Levyrakenteet	48	52	0		100
AISI 316L. Levyrakenteet	66	221	0		287
Alumiini. Levyrakenteet	152	238	0		390
Teräs. Sekalainen tavara 20-100kg	73	27	0		100
AISI 316L. Sekalainen tavara 20-100 kg	89	123	0		212
Alumiini. Sekalainen tavara 3-35 kg	189	118	0		307
Teräs. Sekalainen tavara 100 - 500kg	68	32	0		100
AISI 316L. Sekalainen tavara 100-500 kg	89	149	0		238
Alumiini. Sekalainen tavara 35 -200kg	202	143	0		345

Alumiinin ominaispaino on n. 34% teräksen ominaispainosta, mikä on syytä huomioida hintoja vertaillessa.

6 SUOSITUKSET MATERIAALIVALINNOIKSI

DNV-säännöt määrittelevät laivan eri alueiden ja toimintojen laitteille materiaaliluokan I-IV. Käytettävän teräksen iskusitkeysluokka määräytyy materiaaliluokan, suunnittelulämpötilan ja käytettävän ainepaksuuden mukaan. Ainepaksuuden vaikutus vaadittavaan iskusitkeysluokkaan johtaa eri iskusitkeysluokan materiaalien käyttöön samassa rakenteessa. Materiaalivalintasuositus onkin iskusitkeyden suhteen suuntaantava. Juuri tarvittava iskusitkeysluokka on tarkastettava **sivulla 42** olevasta taulukosta 13, tai **DNV Rules for classification of ships, part 5, chapter 1, sivu 91**.

Laivaluokiteltua materiaalia ei aina ole saatavilla muuten kuin tilaamalla hyvin suuri erä. Usein käyttökelpoinen tapa on tilata lähinnä vastaavaa materiaalia ja testauttaa se erikseen laboratoriossa ja hyväksyttää luokituslaitoksella.

Alumiiniseosten ja austeniittisten ruostumattomien terästen iskusitkeyteen lämpötilalla ei ole merkittävää vaikutusta, joten niille ei ole vastaavia sääntöjä.

Taulukko 12: Suositukset materiaalivalinnoiksi ulkokansivarustelun rakenteisiin.

Suosituksia ovat vain suuntaantavia, koska vaadittavaan iskusitkeyteen vaikuttavat suunnittelulämpötila, materiaalin paksuus ja rakenneluokka.

Rakenne	DNV rak. luokka	Materiaali Winterized Basic luokassa	Materiaali Winterized Cold ja Artic
Vintturipedit	III	NV E36	NV E36
Nosturipedit	III	NV E36	NV E36
Taavetin pedit	III	NV E36	NV E36
Ohjainrullien alustat	III	NV E36	NV E36
Portaat	I	S355J2, AW 5754	S355J2*, AW 5754
Huoltotasot, Laitealustat	I	S355J2, NV A	S355J2*, NV A
Huoltotasojen ritilät	I	S355, AW5754	S355, AW5754
Kaiteet	I	S355J2H, AISI 316L, AW 5754	S355J2H*, AISI 316L, AW 5754
Huoltoluukut	I	NV A	NV A

Kansiluukkujen kaulukset	I	NV A	NV A
Mastot, Putkirakenteet	I	AW 5754, S355J2H, AISI 316L	AW 5754, S355J2H, AISI 316L
Mastot, levyrakenteet	I	AW 5754, NV A, AISI 316L	AW 5754, NV A, AISI 316L
Ilmakanavat d < 400 mm	I	S235J2+Zn, AW 5754, AISI 316L,	NVA+Zn, AW 5754, AISI 316L,
Ilmakanavat d > 400 mm	I	S235J2, AW 5754, AISI 316L,	NV A, AW 5754, AISI 316L,
Putkikiinnikkeet	I	NV A36, AISI 316L	NV A36, AISI 316L
Anti-magneettiset rakenteet		AW 5754, AW 5083 AISI 316L	AW 5754, AW 5083 AISI 316L
Anti-magneettiset taivutettavat levyrakenteet		AW 5754, AW 5083	AW 5754, AW 5083

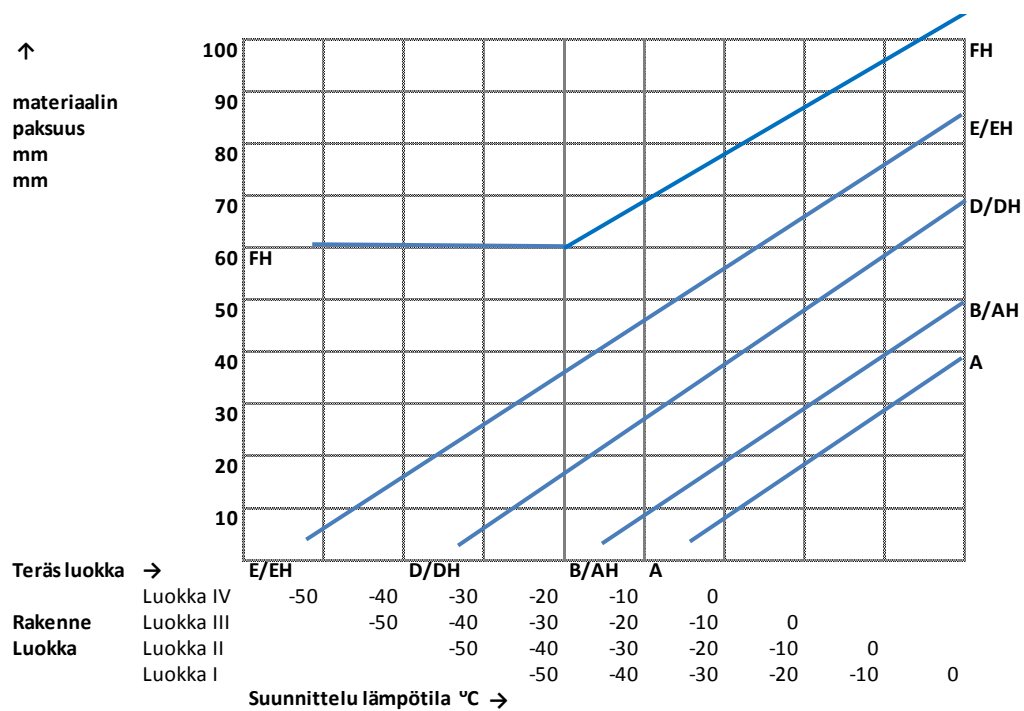
* merkityt materiaalit on hyväksyttävä luokituslaitoksella, mikäli suunnittelulämpötila sitä edellyttää.

Suosituksiaulukko tarjoaa käytettäväksi teräksiä, joiden myötölujuus on 235 tai 355 N/mm², koska ne ovat useimmiten taloudellisin vaihtoehto. Laivaluokiteltuja teräksiä löytyy myötölujuuteen 500 N/mm² asti iskutugevuusluokassa E. Mikäli lujuuslaskelmat puoltavat lujan teräksen käyttöä, sille ei ole estettä.

Eripariliitoksissa on huomioitava hitsausta ja korroosionestoa käsittelevissä luvuissa esitetyt asiat.

AISI 316L on toimitustilassaan epämagneettinen. Kylmämuokkaus, kuten taivutus aikaansaa olotilan muuttumisen martensiittiseksi, jolloin siitä tulee magneettista.

Taulukko 13: Iskusikeyden valinta levypaksuuden, suunnittelulämpötilan ja rakeneluokan perusteella



7 LOPPUSANAT

Opinnäytetyössä keskityttiin ulkokansivarustelun materiaalivalintoihin. Ulkokansivarustelussa vain pieni osa rakenteista on raskaasti kuormitettuja, joten useimmiten tavanomaisen laivanrakennusterästen myötö- ja murtolujuus on riittävä. Raskaimmin kuormitettuihin rakenteisiin on perusteltua käyttää lujia ja erikoislujuisia laivanrakennusteräksiä, mikäli lujuuslaskelmat osoittavat sen tarpeelliseksi. Lujia laivanrakennusteräksiä on saatavilla iskutkeysluokiltaan -60°C asti. Lujien terästen käyttöä hankaloittaa varusteluosien tilaus usealta eri alihankkijalta, jolloin kunkin alihankkijan olisi tilattava minimi tilausmäärä kutakin ainevahvuutta jokaisesta tarvittavasta materiaalista, joka ei ole taloudellisesti järkevää.

Energianhinnan noustessa myös laivojen massa on kiinnitettävä enemmän huomiota kuljetuskapasiteetin nostamiseksi kulutettua energiayksikköä kohti. Lujemman teräksen käytön tuomat edut nousevat tällöin voimakkaammin esille. Lujien terästen käytön tuoma säästö koko laivan massassa voisi olla seuraava tutkimuskohde.

Lopuksi haluan kiittää STX Finland Rauman telakkaa mielenkiintoisesta aiheesta lopputyölleni. Olen saanut arvokasta apua opinnäytetyössäni usealta henkilöltä, mutta haluan kiittää erityisesti varustelusuunnittelunpäällikkö Ilkka Pirskettä, hitsausinsinööri Pauli Janhusta ja runkosuunnittelun päällikköä Jukka Selännettä, sekä korroosionkestoa koskien Pekka Rajalaa.

LÄHTEET

Rautaruukin teräkset ääriolosuhteissa. 2000. Raahе: Rautaruukki

Hitsauksen materiaalioppi. 2009. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y

Taulavuori T., Kyröläinen A., Manninen T., 2011, Ruostumattomat teräkset. Tornio: Teknologiateollisuus.

Kyröläinen A., Lukkari J., Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus. 1999. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy

Raaka-aine käsikirja, Alumiinit. 2002. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy

www.esab.fi

www.outokumpu.com

www.rautaruukki.fi

www.sandvik.com

www.stxeurope.com