

LNG-POLTTOAINETANKKAUKSEN KAKSOISVAIPPA- PUTKISTO

Esivalmistuksen ja asennustyön selvitys

Kuusiluoto Tapio

Opinnäytetyö
Konetekniikka
Insinööri (AMK)

2020

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Tapio Kuusiluoto	Vuosi	2020
Ohjaajat	TkL, IWE, IWI-C Timo Kauppi DI Mari-Selina Kantanen		
Toimeksiantaja	Rauma Marine Constructions Oy		
Työn nimi	LNG-polttoainetankkauksen kaksoisvaippaputkisto. Esivalmistuksen ja asennustyön selvitys		
Sivu- ja liitesivumäärä	41		

Opinnäytetyön kohteena oli LNG-polttoainejärjestelmän polttoainetäytön eli bunkrauksen kaksoisvaippaputkisto. Meriliikenteen tiukentuneet kansainväliset ja EU:n sisäiset päästöraja-asetukset pakottavat etsimään vaihtoehtoja fossiilisille polttoaineille. Tämä luo painetta laivanrakennukselle kehittää ja ottaa käyttöön uusia ympäristöystävällisiä polttoaine vaihtoehtoja.

Tässä työssä keskityttiin ainoastaan laivassa olevan LNG-järjestelmän yhteen osa-alueeseen, joka on bunkraus-putkisto. Bunkraus-putkistolla siirretään laivan polttoaineena käyttämä nestemäinen maakaasu LNG-tankkeihin. Työn sovittiin keskittyvän LNG-järjestelmän siihen osaan, jolla on RMC:lle telakalla tapahtuvalle työlle suurin merkitys niin aikataulu kuin laadullisen suorituksen suhteen. Muiden LNG-järjestelmän osien tarkastelun todettiin olevan oman selvitystyön arvoinen.

Tavoitteena oli löytää mahdollisia kehityskohteita ja ongelmia, joiden muutoksilla saataisiin aikaan kustannustehokkuutta ja parempaa laatua, niin esivalmistuksen kuin asennuksenkin osalta. Opinnäytetyö oli toiminnallinen kehitystyö konstruktiiivisella tutkimusotteella. Tavoitteena oli saada työn lopputuloksen avulla bunkraus-putkelle oma valmistus- ja asennusohje RMC:n autolauttaprojekteihin.

Tuloksena saatiin havaituille ongelmille korjausohjeistus ja ohjeistus, jonka avulla voidaan tehdä työ- ja asennusohje LNG-tuplaputkistolle.

Avainsanat LNG, bunkraus, työohje, asennusohje.

Mechanical Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Tapio Kuusiluoto	Year	2020
Supervisor	Timo Kauppi, Lic. (Tech.), IWE, IWI-C Mari-Selina Kantanen, M.Sc. (Tech.)		
Commissioned by	Rauma Marine Constructions Oy		
Subject of thesis	LNG fueling double wall pipes. Report on preparation and installation work		
Number of pages	41		

The subject of this thesis was the fueling system of the LNG system, in other words the bunkering's double pipe system. The tightened EU regulations for international and national sea traffic emission forces to look for alternatives for fossil propellants. This creates pressure for shipbuilding to develop, create, and implement new pro-environmental fuels.

This thesis has the focus only on one of the LNG system field, the bunkering pipe system. The bunkering pipe system transfers the liquid natural gas to the LNG tanks. It was agreed, that the thesis focuses on that part of the LNG system, which has most impacts on the work executed by RMC, from qualitative and schedule point perspectives. It was stated that the examination of other parts of the LNG system are also worth investigating.

The objective was to find possible development targets and problems, to which making changes achieves cost effectiveness and better quality in pre-fabrication as well as in installation.

This thesis was a functional development work with a constructive study touch. The objective of the result of this thesis, was to create own bunkering pipe system instructions for RMC's ropax ferry projects.

The result of the thesis gave a way to do corrective guidance for perceived issues and guidance whereby it can be done work rules and installation rules to LNG-doublewall pipes.

Keywords LNG, bunkering, work rules, installation rules.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 TOIMEKSIANTAJA.....	9
3 TEOREETTINEN VIITEKEHYS.....	10
3.1 IMO	10
3.2 IGF KOODI	10
3.3 DNV GL	12
3.4 WÄRTSILÄ IPI	12
4 NESTEYTETTY MAAKAASU	13
5 SUUNNITTELU.....	16
5.1 Putkiston materiaalin valinta	16
5.2 Putkireitin valinta.....	19
5.3 Bunkrausputkien kannakointi	19
5.4 Käytettävä hitsausmenetelmä.....	23
6 PUTKIEN ESIVALMISTUS	24
6.1 Materiaalin hankinta, materiaalitodistukset	24
6.2 Hitsaajan pätevyys.....	24
6.3 Työskentely-ympäristön ja työvälineiden vaatimukset	25
6.4 Työjärjestyksen suunnittelu ja toteutus.....	26
6.5 LNG-siirtoputken kannakointi.....	27
7 ASENNUSTYÖ LAIVASSA.....	29
7.1 Kannakointi	30
7.2 Läpiviennit.....	32

7.3	Esivalmistesiirtoputkien yhdistäminen päittäisliitoshitsillä	34
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	36
9	POHDINTA	38

ALKUSANAT

Haluan kiittää RMC:tä saamastani mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyöni ja tutustua samalla laivanrakennuksen mielenkiintoiseen maailmaan. Kiitän myös sitä laajaa joukkoa ihmisiä, jotka ovat olleet mukana vaikuttamassa opinnäytetyöprojektissani lähtölaukauksen jälkeen sen monissa vaiheissa ennen maaliviivaa.

Raumalla 25.09.2020

Tapio Kuusiluoto

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

LNG	Liquefied natural gas
Bunkraus	Laivan polttoainetankkien täyttö, tankkaus
Voidi	Tyhjä tankkitila
VAS	Varustesuunnittelu
PES	Perussuunnittelu

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoitus on tutkia RMC:lle Wasalinen Aurora Botnia-alukseen asennettavan LNG-järjestelmän polttoainetäytön kaksoisvaippaputkiston tupla-putkien esivalmistetyötä sekä putkiston asennusta laivaan. Tavoitteena on mahdollisten ongelmakohtien tunnistaminen ja havaitseminen sekä niiden mahdolliset korjaavat muutos- ja toimenpide-ehdotukset kustannustehokkuuden aikaansaamiseksi jo suunnitteluvaiheessa sekä esivalmiste- ja asennustyön aikana.

Tiukentuvat päästörajoitukset meriliikenteessä pakottaa laivanrakentajat keskittymään puhtaampien polttoainejärjestelmien suunnitteluun ja käyttöön. Hajaute-
tun tiedon kerääminen ja tiedon hyväksikäyttö suunnittelu ja rakentamisvaiheessa sekä työvaiheiden sääntöjen ja ohjeiden mukainen organisointi aiheutti haasteita, kun esivalmiste- ja asennustyön suoritteita määräävät tekijät ovat spesifististä tietoa yrityksillä, jotka ovat jo rutinoituneet LNG:n rakentamisessa.

Laiva tankataan nestemäisellä maakaasulla eli LNG:llä. Nestemäistä LNG:tä (Liquefied Natural Gas) saadaan, kun maakaasu jäähdytetään alle sen höyrystymispisteen, jolloin se muuttuu nestemäiseksi. LNG:n haasteellisuus ilmenee siinä, että maakaasun nesteytys vaatii jäähdytyksen jäähdytyksen vähintään -163 °C:een lämpötilaan, jolloin sen tilavuus on vain kuudessadasosa normaaliloltilan kaasutilavuudesta. Tämä asettaa siirtoputkilinjastolle erityisvaatimuksia käytettävän materiaalin ja käytettävien työskentelytapojen suhteen, kun valmistetaan polttoainetäytön LNG-putkisto laivaan.

2 TOIMEKSIANTAJA

Toimeksiantaja on Rauma Marine Constructions Oy (RMC), jonka erikoisalaa on matkustaja-autolauttojen, monitoimimurtajien sekä puolustusvoimien käyttämien alusten rakentaminen ja huoltaminen. Oheistuotteena on erilaisten teräsrakenteiden tuotanto ja telakointipalvelut. (RMC 2020.)

RMC on varsin nuori laivanrakennusyhtiö, joka on perustettu 2014. RMC jatkaa raumalaista laivanrakennusperinnettä, joka loppui STX Europe Oy:n päätettyä lopettaa Rauman telakka vuonna 2014. (RMC 2020.)

RMC:n toimintaa leimaa verkostoituminen, jolla pyritään pitkäjänteisiin strategiisiin kumppanuuksiin. Verkostomainen avoin toimintamalli, jossa yhteistyössä verkostoyritysten kanssa kehitetään jatkuvasti toimintatapoja ja prosesseja, pyrkii luomaan liiketoiminnasta joustavan tehokasta ja kannattavaa. RMC asiantuntija-organisaationa on osa verkostoitunutta yritystoimintamallia, jossa on huomioitava muiden toimijoiden toimenkuva ja vastuumatriisit tarkastellen myös muiden verkostoyritysten rajapintoja. RMC:n oman organisaation henkilöt koostuvat pääosin asiantuntijahenkilöistä ja tiettyjen tuotannollisten avaintehtävien ammattihenkilöistä. Henkilöstön vahvuus 30.6.2020 oli noin 200 henkilöä. (RMC 2020.)

Eri laivaprojektit hoidetaan projektitoimintamallilla. Tämä tarkoittaa sitä, että kullekin projektille nimetään projektipäällikkö ja hänelle oma projektinjohtoryhmä. Tällä projektinjohtoryhmällä on yrityksen johdon tuki ja mandaatti suorittaa projektinsa valmiiksi niin aikataulussa kuin budjetissa. Projektien suorituksessa hyödynnetään esimerkiksi verkostoliiketoiminnan periaatteita. (Uusitalo 2020.)

3 TEOREETTINEN VIITEKEHYS

Teoreettinen viitekehys koostuu IMO:n (International Maritime Organization) alakomitean MSC:n (Maritime Safety Committee) IGF-koodista 391.(95) (International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels) sekä laitetoimittaja Wärtsilän IPI:n (Installation Planning Instructions) ohjeistuksesta ja DNV GL (Det Norske Veritas Germanischer Lloyd) ohjeistuksesta.

3.1 IMO

IMO on YK:n (Yhdistyneet Kansakunnat) erityisjärjestönä maailmanlaajuisesti standardeja määrittelevä auktoriteetti. Sen päätehtävänä on luoda ja ylläpitää merenkulkualalle kansainvälinen, oikeudenmukainen, tehokas yleisesti omaksuttu ja toteutettu merikuljetusten ympäristö- ja turvallisuus sääntelyjärjestelmä. (IMO 2020.)

IMO:n tehtävä on luoda yhtäläiset kilpailumahdollisuudet niin, että laivaoperaattorit eivät voi hoitaa taloudellisia asioitaan sekä turvallisuus- ja ympäristöasioitaan yksinkertaistamalla tai tekemällä omavaltaisia kompromisseja. Tämä menettelytapa edistää innovaatiota ja hyötysuhdetta merenkulun alalla. (IMO 2020.)

IMO:n sääntelyjärjestelmä määrittää esimerkiksi seuraavia asioita: energiahyötysuhde, uudet teknologiat, merikoulutus, meriturvallisuus, meriliikenteen hallinto ja meri-infrastruktuurin kehitys. Nämä ja kattavat maailman laajuiset standardit tukevat institutionaalista kehitystä, joka on välttämätön vihreälle ja kestäväälle merenkululle. (IMO 2020.)

3.2 IGF KOODI

IGF Code MSC.391(95) MSC:ltä (Maritime Safety Committee), joka on IMO:n alakomitea, määrittelee matalaleimahduspisteistä polttoainetta tai kaasua polttoaineena käyttävien alusten materiaali ja rakentamisvaatimukset (IMO Resolution MSC.391(95), 6).

Koodin tarkoitus on antaa kansainväliset standardit matalaleimahduspisteistä polttoainetta käyttäville aluksille, jotka eivät ole IGC (International Code of the Constructions and Equipments of Shipping Carrying Liquified Gases of Bulk) eli kaasua nestemäisenä irtolastina kuljettavan aluksen koodin alaisia (IMO Resolution MSC.391(95), 6).

Koodin perusfilosofia on antaa säännöstö valvontaan, koneiden, laitteiden ja järjestelmien suunnitteluun, rakentamiseen ja asennukseen matalaleimahduspisteistä polttoainetta käyttäviin aluksiin, joilla minimoidaan riskit laivan, sen miehistön sekä ympäristön osalta (IMO Resolution MSC.391(95), 6).

Koko koodin kehityksen ajan tiedostettiin sen pakollisuus perustua arkkitehtuurin ja tekniikan periaatteisiin sekä lainalaisuuksiin, käyttäen hyväksi uusien polttoainesten viimeistä tietoa toiminnallisista malleista käytännön, tutkimuksen ja kehityksen avulla. Koodia myös tarkastellaan ajoittain kokemuksien ja kehityksen valossa. (IMO Resolution MSC.391(95), 6.)

Koodi keskittyy niihin osa-alueisiin, jotka matalaleimahduspisteistä polttoainetta käyttävien alusten osalta vaativat erikoishuomiota. IGF-koodin perusfilosofia on tavoitteellinen lähestymistapa (MSC.1/Circ.1394). Siksi funktionaaliset vaatimukset ja tavoitteet eriteltiin jokaiselle osuudelle, jotka muodostavat lähtökohdan suunnittelulle, rakentamiselle ja toiminnalle. (IMO Resolution MSC.391(95), 6.)

Nykyinen koodi säättää vastaamaan funktionaalisia vaatimuksia käytettäessä maakaasua polttoaineena. Muiden matalaleimahduspisteisten polttoaineiden osalta säännöt lisätään tähän koodiin, kun organisaatio kehittää niitä. Sillä aikaa muiden matalaleimahduspisteisten polttoaineiden osalta säännöstöä pitää soveltaa suunnittelun funktionaalisilla vaihtoehtojen todentamisilla. (IMO Resolution MSC.391(95), 6.)

3.3 DNV GL

DNV GL (Det Norske Veritas Germanischer Lloyd, kansainvälinen luokituslaitos) suorittaa koko prosessin tuotantoketjun verifiointin materiaalin toimittajista asennetun putkiston väli- ja lopputarkastuksiin aluksella. Verifiointi sisältää myös koko systeemin piirustuksien hyväksynnän ja käytettävän rikkomattoman aineenkokeuksen testauslaitos hyväksynnän, joka kuvasi projektin esivalmisteputket tuotantotiloissa. Auditointi suoritetaan ennen esivalmistetyön aloittamista. Auditoinnin kohteena on projektin alihankintayritys, yrityksen tuotantotilat ja hitsausohjeet (WPS):t. (Ruuhonen 2020.)

3.4 WÄRTSILÄ IPI

Wärtsilän asennussuunnitteluohjeistuksessa IPI (Installation Planning Instructions) määrittellään LNG-putkiston esivalmistetyön ja laivaan asennuksen puhtausaste. Ohjeistus pitää sisällään putkien hitsauksien jälkeisen puhdistuksen, kuljetuksen aikaisen suojaamisen ja laivassa tapahtuvan asennuksen aikaisen ja jälkeisen suojaamisen ja puhdistuksen. (Wärtsilä 2020.)

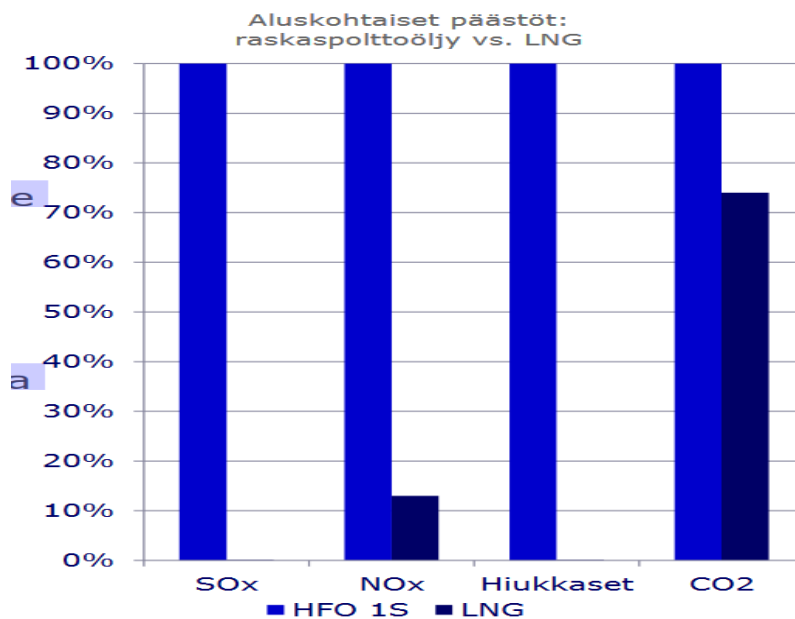
Wärtsilän toimittajan ja urakoitsijan on kommunikoitava asennuskohtaisia tietoja keskenään, jotta voidaan rakentaa käytössä luotettava ja taloudellinen tuote. Vuosien mittaan tämä tieto on kehittynyt sellaiseksi kuin se on tänä päivänä eli asennussuunnitteluohjeeksi. (Wärtsilä 2020.)

IPI:iin laitettut tiedot ovat asennuskohtaisia ja projektikohtaiset poikkeamat voidaan hyväksyä erityisen huomion perusteella. Vaihtoehtoiset, suunnitelmalliset ratkaisut tulee hyväksyttävä Wärtsilällä. Oletuksena on, että IPI:n taso täytetään urakoitsijan toimesta tehden korkealaatuista työtä. (Wärtsilä 2020.)

4 NESTEYTETTY MAAKAASU

LNG on nesteytetty maakaasu (liquefied natural gas). Se nesteytyy $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Sillä on samat ominaisuudet polttoaineena kuin maakaasu. LNG ei sekoitu veteen tai imeydy maaperään, vaan vapautuessaan se höyrystyy ja haihtuu ilmaan. Ainoastaan kaasu palaa ilma-kaasuseoksen ollessa 5–15 prosentista. Itsesyttymisen lämpötila on $620\text{ }^{\circ}\text{C}$, kun taas polttoöljyn vastaava lämpötila-arvo on $260\text{--}370\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sammuttaminen tapahtuu sulkemalla vuodon lähde. Sammuttamiseen ei saa käyttää vettä. (Bedda 2018, 4.)

LNG on puhdas (Kuvio 1) ja kustannustehokas polttoaine (Bedda 2018, 8).



Kuvio 1. Raskaan polttoöljyn ja LNG:n päästövertailu (Bedda 2018, 9)

Itämeren alueella (Kuvio 2) on kuvion 3 osoittamat päästörajoitukset (Bedda 2018, 8).

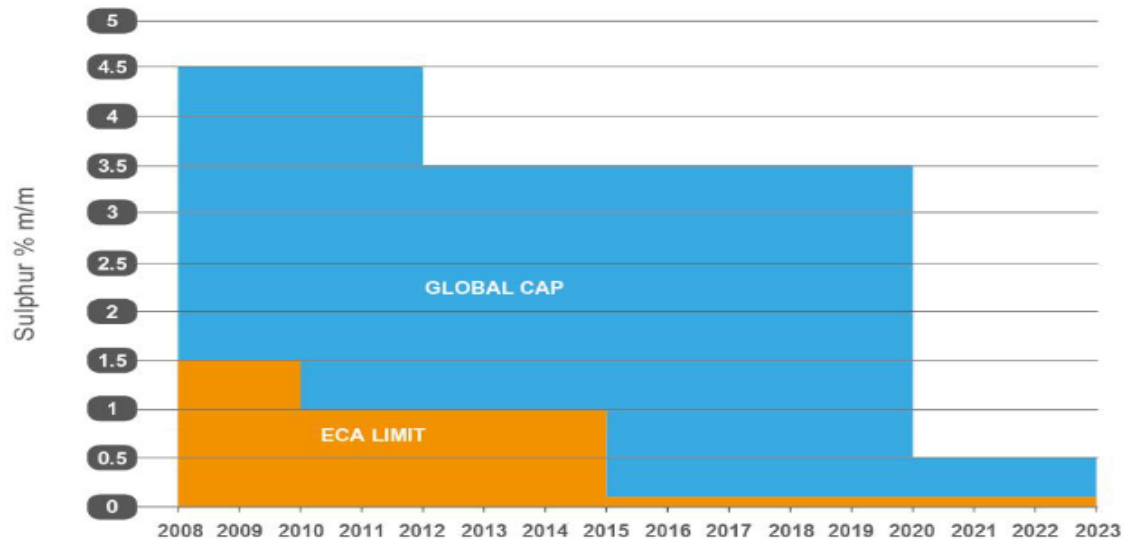


Kuvio 2. Itämeren päästörajoitusalue (Bedda 2018, 8)

- ECA Sulphur limitations
 - Max 0,1%, effective from January 1, 2015
- ECA NO_x limitations
 - 80% reduction from Tier II for new ships after 1. January 2016

Kuvio 3. Voimassa olevat rajoitukset (Bedda 2018, 8)

Kuviossa 4 on esitettyä maailmanlaajuiset tavoitteet rikkipäästöjen vähentämiselle vuoteen 2023 mennessä (Bedda 2018, 8).



Kuvio 4. Rikkipäästöjen tavoitteet ECA alueella ja maailmanlaajuisesti eri vuosina (Bedda 2018, 8)

LNG täyttää rikkiä sisältämättömänä rikkidirektiivin vaatimukset. Tulevat päästövähennystavoitteet meriliikenteessä tulevat olemaan typenoksidien osalta uusille aluksille vuodesta 2021 lähtien 80% (IMO). Päästövähennystavoitetta hiilidioksidin osalta ollaan valmistelemassa EU:n ja IMO:n toimesta. (Bedda 2018, 9.)

5 SUUNNITTELU

Opinnäytetyössä tutkitun putkiston suunnittelu kuului perussuunnitteluvaiheeseen (PES) sekä valmistussuunnitteluvaiheeseen (VAS), joissa käytettäviä materiaaleja ja työtapoja esivalmisteiden sekä esivalmiste- ja asennustyön osalta määritellään IGF-koodissa MSC.391(95), laitetoimittajien omissa vaatimuksissa sekä yleisissä ja telakan käyttämissä standardeissa.

IGF-koodin luku 7 käsittelee putkiston materiaalia ja suunnittelua. Tähän sisältyy polttoaineen käyttöehtojen vallitessa riskin minimointi laivan, henkilökunnan ja ympäristön osalta. Lisäksi käsitellään myös funktionaaliset vaatimukset putkiston materiaalin vaatimusten osalta, jossa huomioidaan putkiston standardin mukainen merkitseminen, putkiston sijainti laivassa, putkiston lämpölaajeneminen ja supistuminen, eristys laivan rakenteisiin nähden sekä kondensation ehkäisemisen vuoksi tehtävä putken eristys, joko eristeellä tai tyhjiöeristyksellä. Käytettävien paineiden asettamat vaatimukset putkiston komponenteille minimissään ovat suljetuissa systeemeissä 1,0 MPa ja avoimissa 0,5 MPa. (IMO Resolution MSC.391(95), 64 - 65.)

Onnistuneen esivalmiste- ja asennustyön perusta on suunnittelutyö, joka on tehty IMO:n, laitetoimittajan sekä luokituslaitoksen vaatimusten sekä ajantasaisten standardien vaatimusten mukaisesti. Hyvän suunnittelutyön avulla tarvittavat mitoitus- ja työpiirustukset saadaan ajoissa ja mahdollisimman vähillä revisiömäärillä valmiiksi, jolloin saadaan putkistotyön aikataulut pysymään samassa tahdissa lohkojen varusteluvaiheiden kanssa. Tällä vältetään myöhästyneiden laivaan asennuksien tuoma aikarasite, joka syö kustannustehokkuutta.

5.1 Putkiston materiaalin valinta

Materiaalin valinnan määrittelee IGF koodi MSC.391(95), jossa on määritelty matalan leimahduspisteen omaavan polttoaineen tai kaasua polttoaineena käytettävien alusten prosessiputkistojen materiaalivaatimukset. Materiaaleille annettuja vaatimuksia on käsitelty IGF-koodin luvussa 7. (IMO Resolution MSC.391(95), 72.)

Luvun 7 taulukosta 7.4 selviää materiaalin valintaan vaikuttavat minimisuunnittelu lämpötilat, käytettävät materiaalivaihtoehdot ja iskutestien materiaalien lämpötila sekä iskutestissä käytettävät minimivoimat (Taulukko 1) (IMO Resolution MSC.391(95), 72).

Taulukko 1. IGF-koodin taulukko 7.4. (IMO Resolution MSC.391(95))

Table 7.4

PIPES (SEAMLESS AND WELDED) ¹ , FORGINGS ² AND CASTINGS ² FOR FUEL AND PROCESS PIPING FOR DESIGN TEMPERATURES BELOW 0°C AND DOWN TO MINUS 165°C ³ Maximum thickness 25 mm			
Minimum design temp.(°C)	Chemical composition ⁵ and heat treatment	Impact test	
		Test temp. (°C)	Minimum average energy (KV)
-55	Carbon-manganese steel. Fully killed fine grain. Normalized or as agreed. ⁶	See note 4	27
-65	2.25% nickel steel. Normalized, Normalized and tempered or quenched and tempered. ⁶	-70	34
-90	3.5% nickel steel. Normalized, Normalized and tempered or quenched and tempered. ⁶	-95	34
-165	9% nickel steel ⁷ . Double normalized and tempered or quenched and tempered.	-196	41
	Austenitic steels, such as types 304, 304L, 316, 316L, 321 and 347. Solution treated. ⁸	-196	41
	Aluminium alloys; such as type 5083 annealed		Not required
TENSILE AND TOUGHNESS (IMPACT) TEST REGULATIONS			
Sampling frequency			
◆ Each 'batch' to be tested.			
Toughness (Charpy V-notch test)			
◆ Impact test: Longitudinal test pieces			
Notes			
1. The use of longitudinally or spirally welded pipes shall be specially approved by the Administration.			
2. The regulations for forgings and castings may be subject to special consideration by the Administration.			
3. The regulations for design temperatures below -165°C shall be specially agreed with the Administration.			
4. The test temperature shall be 5°C below the design temperature or -20°C whichever is lower.			
5. The composition limits shall be in accordance with Recognized Standards.			
6. A lower design temperature may be specially agreed with the Administration for quenched and tempered materials.			
7. This chemical composition is not suitable for castings.			
8. Impact tests may be omitted subject to agreement with the Administration.			

Putkessa kulkevan LNG:n lämpötilan ollessa alle -163 °C, saatiin IGF-koodin luvussa 7 taulukosta 7.4 vaatimusten mukaan sisäputken sopivaksi materiaaliksi austeniittinen ruostumaton teräs. Lämmönvaihtelusta johtuva rasitus huomioiden, austeniittinen ruostumaton teräs sopii hyvin korroosion kestävyys, sitkeyden, kylmämuokkaus ominaisuuksien ja helpon hitsattavuuden ansiosta laivassa

vallitseviin olosuhteisiin. Projektin aikataulun ja materiaalin saatavuuden vuoksi sisäputken materiaaliksi valittiin AISI 316 tyyppinen austeniittinen ruostumaton teräsputki. Tuplavaippaputkiston ulkovaippaputken materiaaliksi valittiin myös edellä mainituista syistä AISI 304L tyyppinen austeniittinen ruostumaton teräsputki.

Putken seinämänvahvuus määritetään IGF-koodissa luvussa 7.3.2 seuraavalla kaavalla:

$$t = \frac{t_o + b + c}{\frac{1 - a}{100}} \quad (mm) \quad (1)$$

missä

t_o on teoreettinen seinämänvahvuus

$$t_o = \frac{PD}{20Ke + P} \quad (mm) \quad (2)$$

missä

P on suunnittelupaine

D on putken ulkohalkaisija

K on sallittu jännitys (N/mm²) $R_m/2.7$ tai $R_e/1.8$

R_m on murtolujuus huoneen lämpötilassa (N/mm²)

R_e on myötölujuus huoneen lämpötilassa (N/mm²)

e on varmuusluku (verifioidun toimittajan varmuusluku on 1)

b on sallittu taipuma (mm) (Arvo tulee valita siten, että laskennallinen jännityksen arvo taivutuksessa ei ylitä sallittua jännitystä). Jos arvoa ei ole annettu, b lasketaan kaavasta:

$$b = \frac{Dt_o}{2,5r} \quad (mm) \quad (3)$$

missä

r on taivutussäde

c on korroosiovara [mm]. Putken elinkaaren aikainen huomioitava korroosiosta tai eroosiosta johtuva oheneminen (mm)

a on putken valmistuksen huomioitu alitoleranssi (%) (IMO Resolution MSC.391(95), 65.)

Tämän laskentakaavan avulla saatiin kaksoisvaippaputkiston sisäputken seinämän vahvuudeksi 2,4 mm.

5.2 Putkireitin valinta

Putkiston sijainnin ja sen kulkureitin määrittävät siihen kohdistuvat turvallisuusvaatimukset ja sen vaatima tila paisuntalenkkien sekä vaaditun laskun osalta. Tämän vuoksi on järkevintä käyttää tyhjää tilaa hyödyksi, kuten Wasalinessä on tehty ja viety putkilinjan kulku voideihin eli tyhjiin tankkitiloihin, jotka sijaitsevat laivan kyljillä. Asennusrajan minimi on 800 mm irti laivan ulkorungosta, koska LNG:llä putkistovuodon sattuessa on materiaalia haurastuttava vaikutus sen päästessä kosketuksiin laivan runkomateriaalin kanssa.

5.3 Bunkrausputkien kannakointi

Bunkrausputkisto koostuu LNG-siirtoputkesta sekä sen ympärillä olevasta vaippaputkesta. Niiden kannakoinnin tarkoituksena on estää putkien hallitsematon lämpölaajeneminen ja ottaa vastaan putkien liikkeen aiheuttamia voimia.

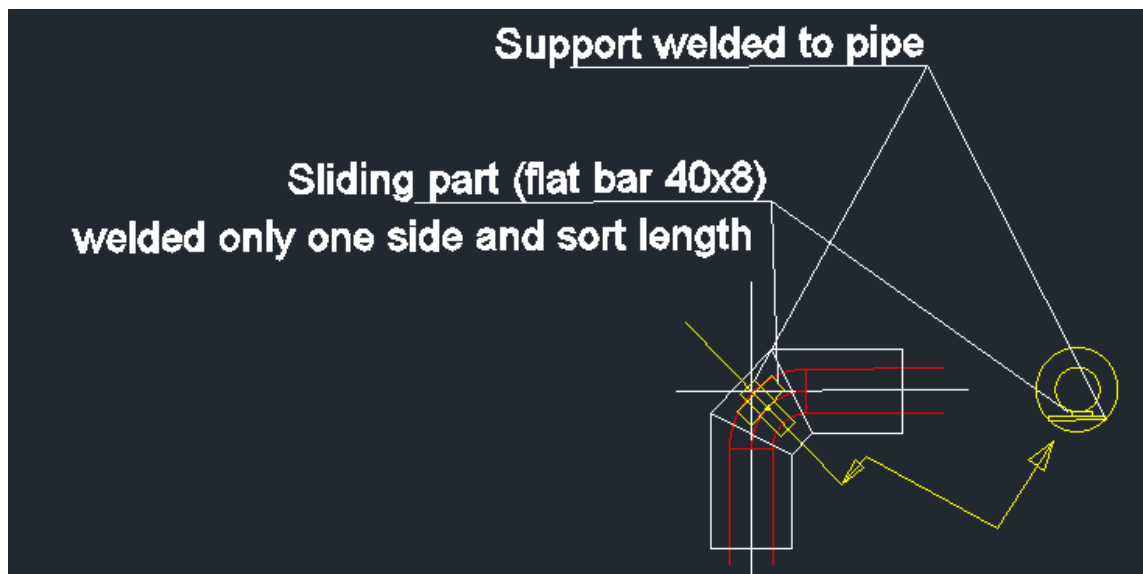
Sisäputken kiinteän kannakoinnin tarkoitus on tukea sisäputki horisontaalisesti ja vertikaalisesti, koska laivaolosuhteissa on paljon värähtelyä ja tärinää. Kannakoinnin tiheys oikeanlaisilla kannakkeilla LNG-linjassa on huomioitava suunnittelussa.

Haasteena kannakoinnille on putkessa kulkevan nesteytetyn maakaasun lämpötila tankkauksen aikana, joka on alle $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tästä syystä putki supistuu ja laajenee tankkauksen aikana ja sen jälkeen. Suurimmillaan putken dimensioiden muuttuminen on suoralla putken osuudella. Putkiston rakenne on suunniteltu peräkkäisistä, niin sanotuista paisuntalenkeistä (Kuvio 5), jotka ottavat vastaan putkiston lämpötilamuutoksista johtuvat voimat sekä pituuden muutokset.

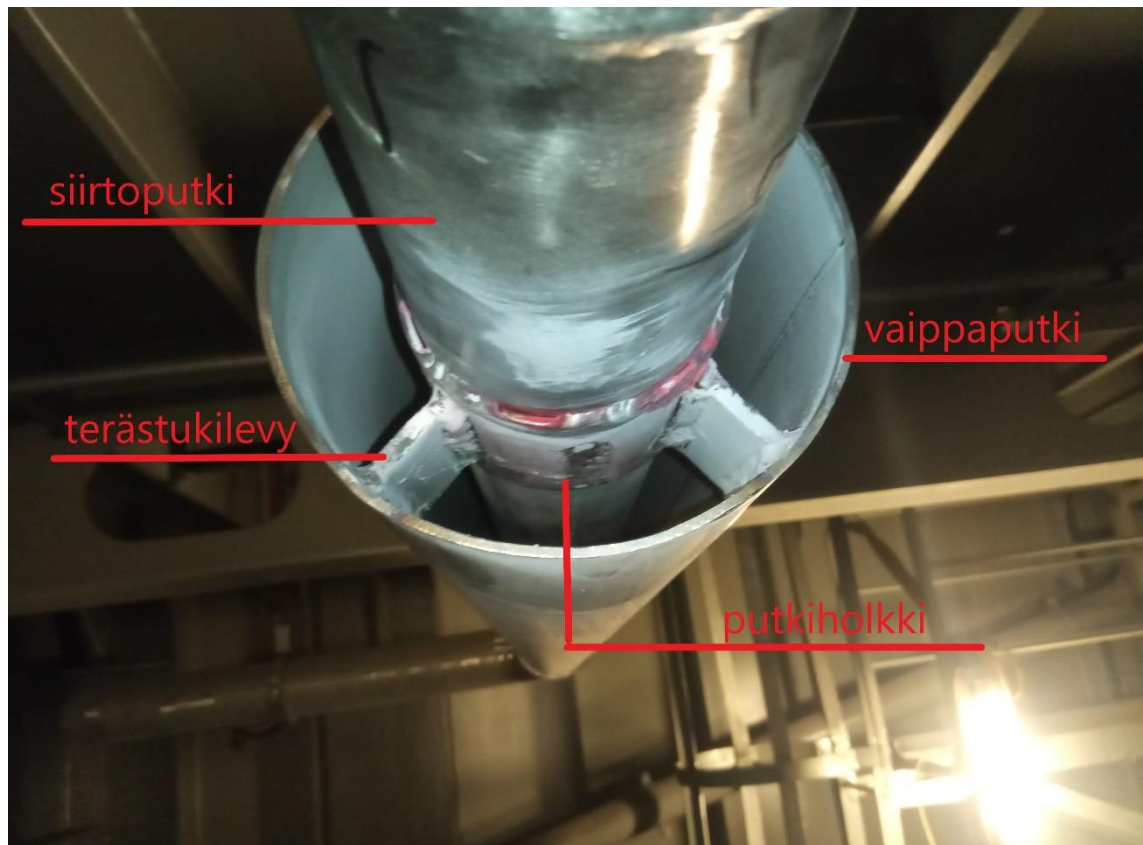


Kuvio 5. LNG-linjan paisuntalenkimäinen rakenne noin 1/3 kokonaisuudesta (RMC M-Files 2020)

Suurimmat voimat kohdistuvat putkien hitsattaviin 90° :n putkikäyriin. Tästä syystä hitsattavien 90° :n putkikäyrien alle sijoitettu kannakointi on oltava liukuva (Kuvio 6), että lämpötilojen vaihtelusta aiheutuva putken dimensioiden muutos tapahtuu vapaasti.



Kuvio 6. Hitsattavan 90° putkikäyrän alla oleva kannakointi (RMC M-Files 2020)



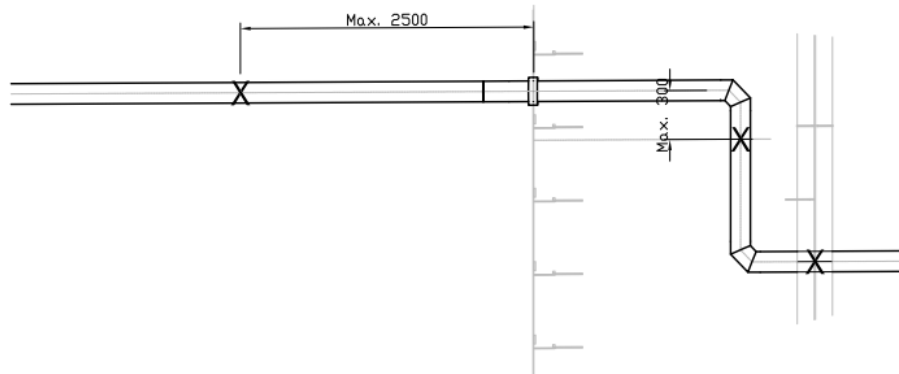
Kuva 1. Putkiholkki hitsattu sisäputken ympärille. Putkiholkin tukiteräslevyt hitsattuna kiinni vaippaputkeen.

Vaippaputken kannakoinnin osalta pyydettiin suunnittelun selvitys ja kannanotto. Selvityksen tavoitteena oli mitoittaa kannakointi huomioiden putkien lämmönvaihtelusta johtuvat muutokset sekä laivan mekaaniset ja fyysiset olosuhdevaatimukset, jonka mukaisesti ulkoputken kannakoinnin enimmäisvälimatekaksi määritettiin 2500 mm (Kuvio 8).

Support of LNG-pipe with AISI, O-type. Supports are fixed.

Generally support spacing,
max 2500 mm

When there is a bend in the pipe
that is not close to the WEB-frame,
it should be supported.



Kuvio 8. Ulkoputken kannakoinnin mitoitus (Lainio 2020)

Suunnittelun mukaa vaippaputken lämpötilamuutos jää maltilliseksi ollen suuruusluokaltaan 10–20 °C. Tämä tarkoittaa sitä, että lämpötilamuutoksesta aiheutuvat lämpöliikkeet ja siitä aiheutuvat rasitukset ovat pieniä. Telakan näkemyksen mukaan mitään erityisiä lämpöliikkeen kompensointirakenteita ei ulommalle putkelle tarvita. (Lehtonen 2020.)

5.4 Käytettävä hitsausmenetelmä

Hitsausmenetelmäksi valittiin TIG-hitsaus (prosessi141) laitetoimittaja Wärtsilän antaman putkiston loppupuhtausvaatimuksen vuoksi. TIG-hitsauksessa ei synny kuonaa eikä roiskeita. Hyvän juurensuojakaasun (Formier) avulla hitsattaessa TIG-hitsaus antaa parhaimman lopputuloksen, vaikka laivan olosuhteet (mm. il-mavirtaukset) tekevät hitsauksesta haastavaa. Oikealla hitsaustyön esivalmistelulla ja hitsausohjeella (WPS, Welding Procedure Specification) saadaan luotua edellytykset suorittaa hitsaustyö niin, että lopputuotteen laatu vastaa annettuja vaatimuksia. Apuvälineinä voidaan käyttää mm. juurikaasutustulppaa ja happipitoisuusmittaria.

6 PUTKIEN ESIVALMISTUS

Toimittajan tehtyä sopimuksen sertifioidun alihankintayrityksen kanssa alkoi tarvemateriaalin hankinta. Suunnitteluosasto laski tarvittavan määrän putkea ja putkenosia. Alihankintayrityksen piti varmistaa materiaalin saatavuus ja tilattava tarvittava määrä putkea ja putkenosia (mm. hitsattavat käyrät). Alihankintayrityksen oli hankittava myös hitsausohjeiden (WPS) mukaiset hitsauslisäaineet, kalibroitava käytettävät hitsauskoneet ja varmistettava hitsaajien voimassa olevat hitsaustyön edellyttämät pätevyudet.

DNV GL suoritti alihankintayritykselle vaaditun WWA:n (Welding Workshop Approval) (Ruuhonen 2020).

6.1 Materiaalin hankinta, materiaalitodistukset

Materiaalin hankinta piti tehdä niin, että materiaalien vaatimustenmukaisuus oli todennettavissa aineistodistuksella. Tässä projektissa vaatimuksena oli SFS-EN10204 standardin vaatimusten mukainen tyyppin 3.2 vastaanottotodistus.

6.2 Hitsaajan pätevyys

LNG-putkea hitsaavalla henkilöllä tulee olla voimassa standardin SFS-EN ISO 9606-1:2017 (Hitsaajan pätevyyskoe. sulahitsaus. osa 1: Teräkset) vaatimusten mukaisesti suoritettu hitsaajan pätevyyskoe. Hitsaajan kyvyllä seurata suullisia tai kirjallisia ohjeita sekä hitsaajan taidon todentamisella on suuri merkitys varmistettaessa hitsatun tuotteen laatua. (SFS-EN ISO 9606-1:2017,5.)

Hitsaajan pätevyyskoe suoritetaan valvotuissa olosuhteissa ja sen valvoo siihen valtuutettu henkilö. Kokeessa hitsaaja hitsaa esimerkiksi päittäisliitoksena (bw) yhdeltä puolelta (ss) kaksi putkea päistään yhteen käyttäen kaasujuuritukea (gb) putken ollessa kiinteästi ylöspäin 45° kulmassa (SFS-EN ISO standardin mukainen hitsausasento H-L045). Haluttu pätevyysalue määräytyy kokeessa hitsattavan putkikoon ja sen kattavuusalueen mukaan. Tämän jälkeen koekappaleelle suoritetaan ensin silmämääräinen eli visuaalinen tarkastus standardin SFS-EN

ISO 17637:2016 (Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmä-määräinen tarkastus) ja tämän jälkeen radiografinen kuvaus standardin ISO 17636 vaatimusten mukaan. (SFS-EN ISO 9606-1:2017 9–11, 18, 23.)

6.3 Työskentely-ympäristön ja työvälineiden vaatimukset

Esivalmisteet valmistettiin tuotantotiloissa, jossa ei käsitellä muita teräksiä kuin esivalmisteissa käytettyjä ruostumattomia teräksiä. Ruostumaton teräs ja hiiliteräs reagoivat herkästi keskenään. Varsinkin ruostumattoman teräksen hiotut pinnat, joista passiivikalvo on rikkoutunut, altistuvat helpommin esimerkiksi hiiliteräksen hiontapölylle. Korroosion estämiseksi myös työvälineiden, joilla putkistoa työstetään, tulee olla samaa materiaalia kuin putkisto on, ja niillä ei ole käsitelty muuta materiaalia kuin mitä putkiston materiaali on.

Työympäristö esivalmisteiden teossa tulisi olla mahdollisimman vedoton, millä varmistetaan suojakaasun moitteeton virtaus ja näin hitsin pinnan hapettumisen estäminen.

Wärtsilän ohjeistus TIG-hitsatuille putkille sisältää ohjeistuksen puhdistuksesta ja suojauksesta ennen asennuskohteeseen vientiä. Putkien saumat tulee kiillottaa hyvin kevyesti, käyttäen vain ruostumatonta teräsharjaa tai kiillotuslaikkaa. Vaihtoehtoisesti putket upotetaan happoaltaaseen 4–5 tunniksi, jonka jälkeen putket neutralisoidaan huuhtelemalla natriumfosfaattiliuoksella ja lopuksi huuhdellaan lämpimällä vedellä. Tämän jälkeen putket puhalletaan paineilmalla puhtaaksi, avoimet päät suljetaan ja putket suojataan kuljetuksen ajaksi. (Wärtsilä IPI, NB 6002, 2020.)

Putket voidaan myös hiekkapuhaltaa puhtaaksi, mutta tällöin on käytettävä ehdottoman puhdasta hiekkaa, ei kierrätettyä. Myös lasikuulapuhallus on mahdollista, kun taas teräskuulapuhallus ei ole sallittu. (Wärtsilä IPI 2020.)

6.4 Työjärjestyksen suunnittelu ja toteutus

Työjärjestyksen suunnittelussa oli huomioitava ulkoputken asentaminen paikoilleen ennen useamman sisäputken putkikäyrän asennusta ja hitsausta, koska ulkoputken asennus ei enää silloin onnistu (Kuva 2). Tämä oli huomioitu esivalmistepiirustuksessa asettamalla laivalla tehtävien asennussaumojen hitsauskohdat keskelle putkilinjan suoraa osuutta.



Kuva 2. Esivalmisteputkia alihankintayrityksen verstaalla.

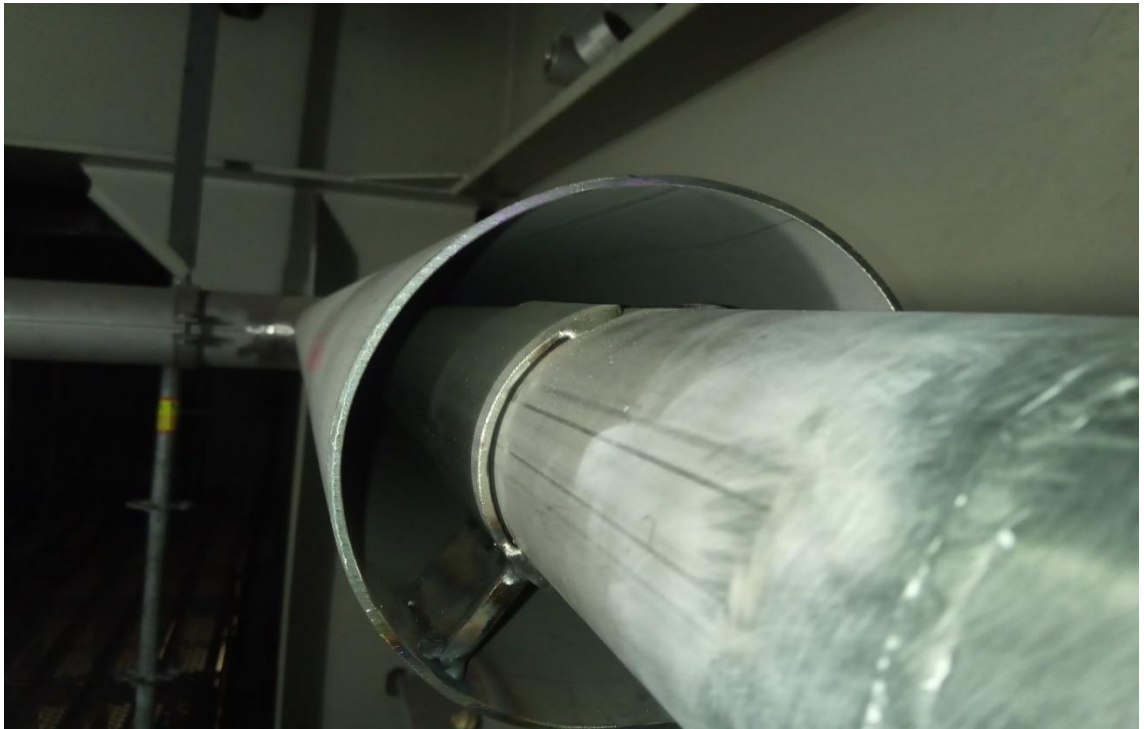
Vaippaputki oli jätetty esivalmisteen molemmista päistä 200 mm lyhyemmäksi kuin LNG-siirtoputki, tällä varmistettiin sisäputken asennushitsauksen jälkeen radiografisen kuvauksen (RT) onnistuminen (Kuva 3).



Kuva 3. Putki asennushitsauksen jälkeen. Vaippaputken puuttuva pala mahdollistaa radiografisen kuvauksen.

6.5 LNG-siirtoputken kannakointi

Sisäputken kannakointi tehtiin, kuten alaluvussa 5.3 esitettiin, asettamalla ennen putkikäyrien hitsaamista siirtoputken päälle putkiholkki, johon oli hitsattu tukiteräslevyt kiinni. Putkiholkki hitsattiin toisesta päästä siirtoputkeen kiinni oikealle kohdalle putken asennushitsauspäästä mitattuna sisäputken työvara 50 mm. Tämän jälkeen asennettiin vaippaputki oikenmittaisena paikoilleen ja hitsattiin tukiteräslevypalat kiinni vaippaputken sisäpintaan (Kuva 4).

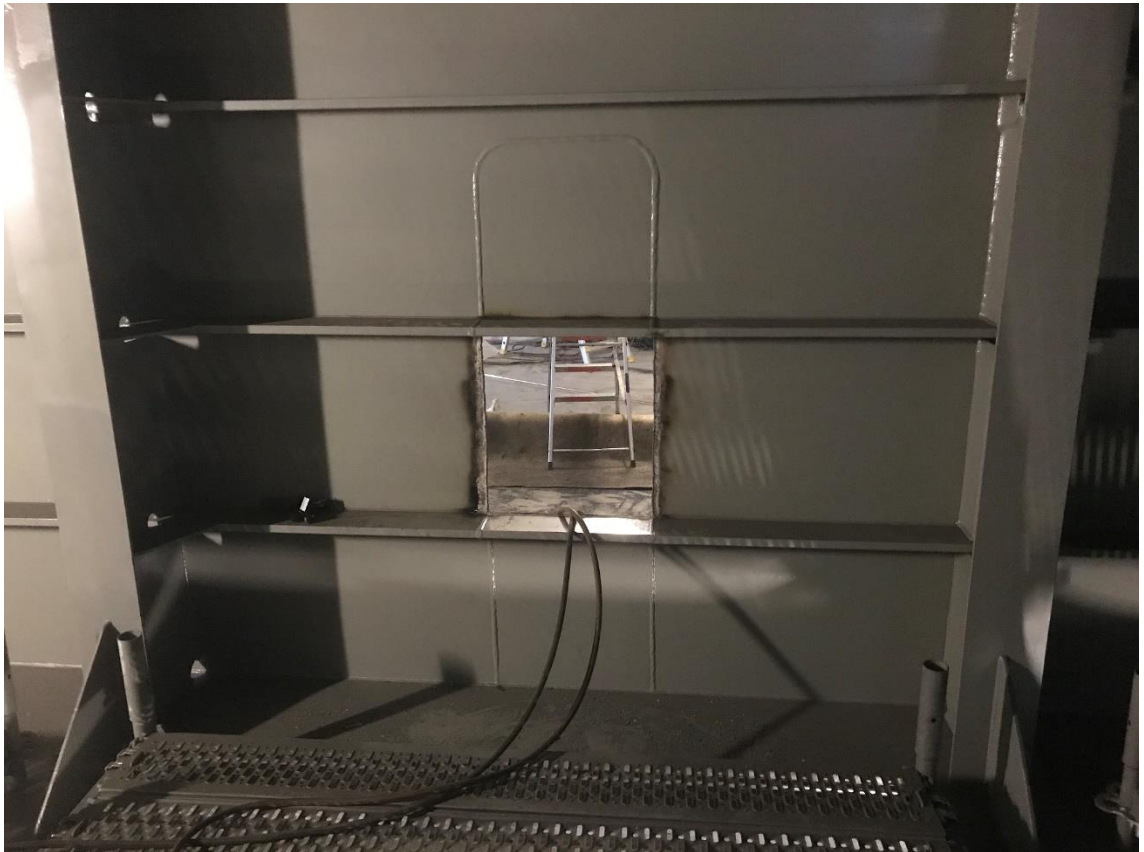


Kuva 4. Sisäputken kannakoinnin toteutus

7 ASENNUSTYÖ LAIVASSA

Asennustyö laivaan aloitettiin alihankintayrityksen työntekijöiden saapuessa telakka-alueelle. Heillä oli mukanaan esivalmistettuja putkistonosia bunkraus-linjaan. Ennen haalaustyön aloittamista piti kuitenkin käydä katsomassa putkilinjan kulkureittejä. Työn varsinainen aloitus käsitti kannakoinnin koordinoinnin, läpivientireikien paikkojen tarkistukset ja yleistä tutustumista työmaahan. Nosturin avulla putket saatiin laivaan, kun ne oli tuotu autolla laiturille laivan viereen. Avonaisesta 4. kannen päälle nostetut esivalmisteputket piti kuljettaa ihmisvoimin perille lopulliseen asennustyökohteeseen 3. kannelle. Tämä vaihe kulutti aikaa ja resursseja tasaisesti läpi työjakson.

Putkien haalauksen haasteeksi muodostuivat altaaseen nostetut, yhteen asennetut ja hitsatut lohkot. Tämän vuoksi jouduttiin polttoleikkaamaan ylimääräisiä haalausaukkoja haalausta varten voidien seiniin. Reikien ollessa noin 600 mm x 600 mm (Kuva 6) oli putkien voidiin saaminen haastavaa, yhden esivalmisteen painaessa useita kymmeniä kiloja. Lisäksi osa esivalmisteista oli vietävä useamman voidin läpi suunnitellun putkilinjan loppupäähän lähelle LNG-tankkeja.

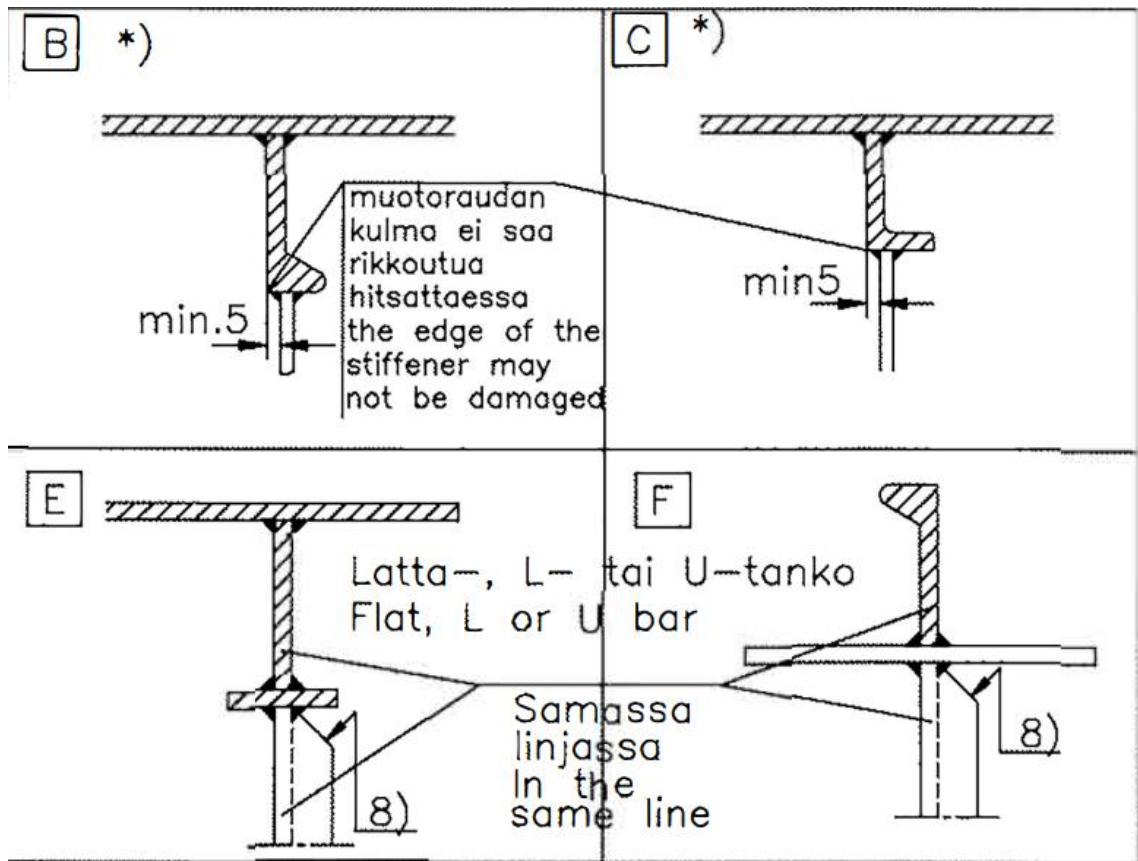


Kuva 6. Putkien haalausaukko voidista kuvattuna

Laivassa aiemmin tehtyjen muiden työvaiheiden tarpeisiin, oli tyhjiin voideihin asennettu noin kymmenen metriä korkeat telinetasot, jotka helpottivat kulkua ja haalausta voideissa, ja tämän ansiosta suuremmilta telinetöiltä välttyttiin esivalmisteen asennustyön aikana.

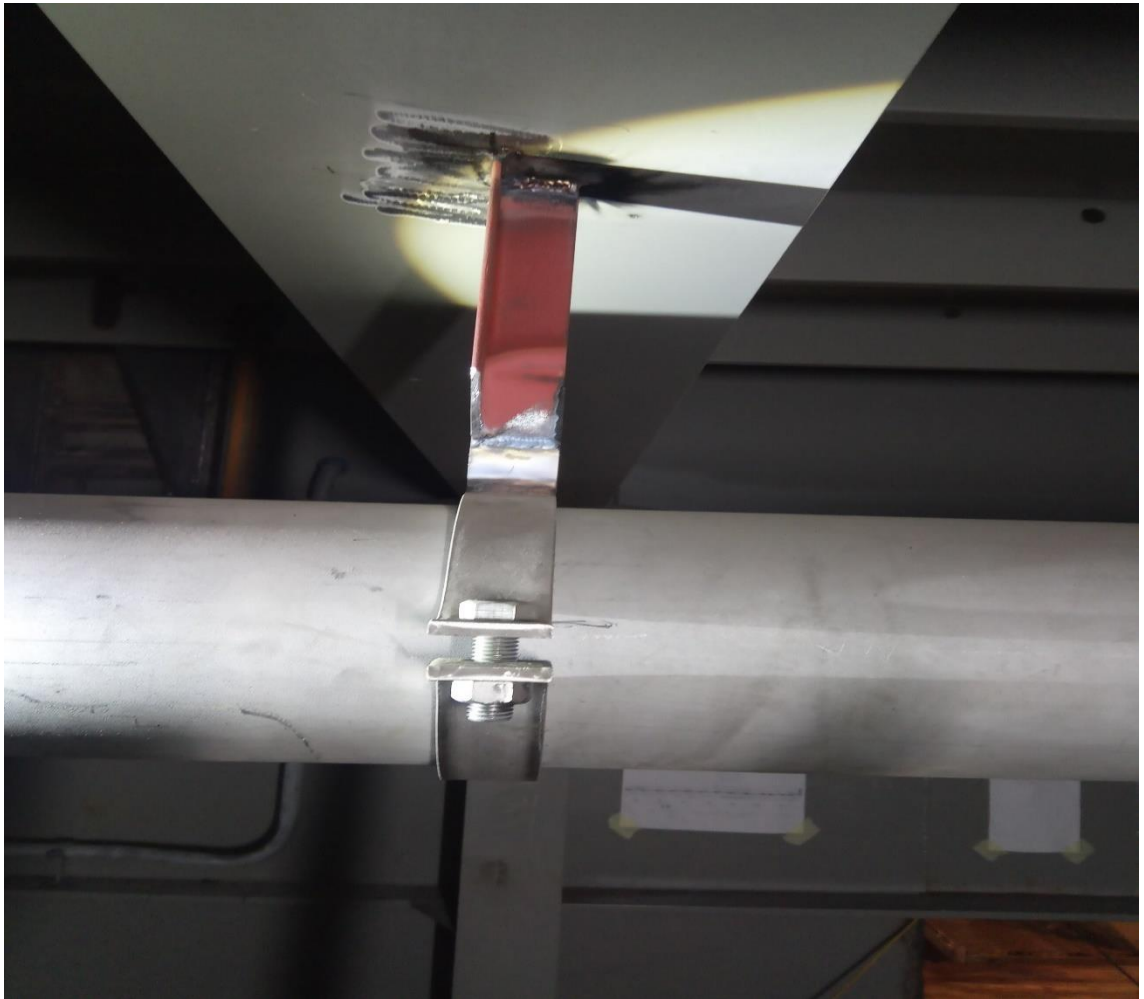
7.1 Kannakointi

Ohjeistuksena kannakoinnin ja tartuntojen kiinnityksiin laivan runkoon toimi RMC:n projektikohtainen laatusuunnitelmakeirja (NB 6002). Kirjassa esitetään asennustyössä hyväksyttävät kannakointi- ja tartuntatavat laivan kehyskaareen, jossa on huomioitava kannakkeen oikeat etäisyydet ja asemoinnit sekä hitsaus (Kuvio 10). (RMC Laatukäsikirja NB 6002.)



Kuvio 10. RMC:n kannakointiohjeistus laatusuunnitelmakirjasta

Vaippaputken kannakointi (Kuva 7) toteutettiin tavalla, jossa haponkestävä kannake AISI 316L (EN 1.4404) on telakan käyttämän Haponkestävä putkipidin-varsi-yhdistelmä ohjeen mukainen. Putkipitimen varsi on jatkettu seostamattomalla teräksellä käyttäen hitsauspuikkona emäspäällysteinen yliseostettu ruostumaton hitsauspuikko, jolla voidaan hitsata seostamaton- ja ruostumatonteräs eripariliitos yhteen.



Kuva 7. Vaippaputken kannakoinnin toteutus.

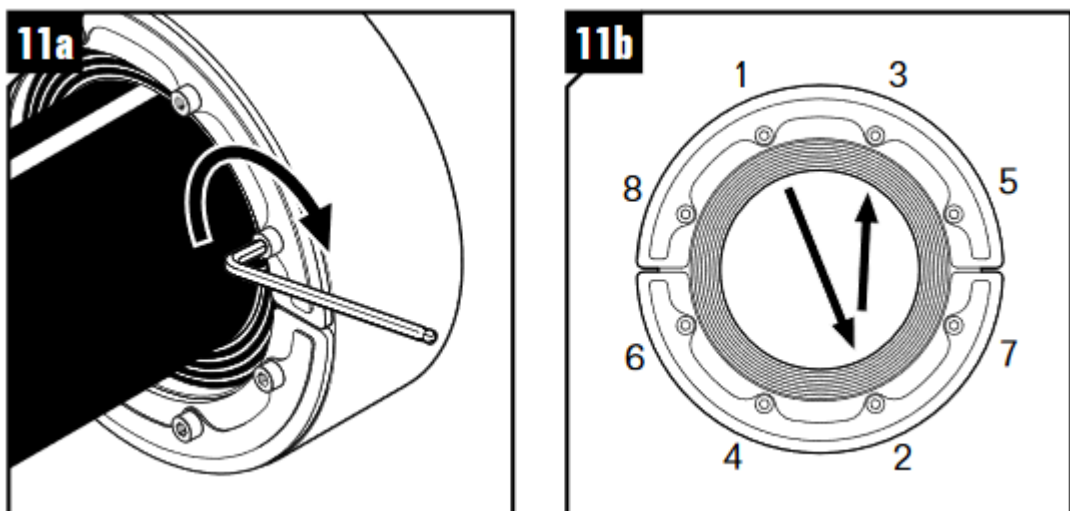
7.2 Läpiviennit

Läpivientien polttoleikkauksessa laivan voidien välilaipioihin tuli kiinnittää suurta huomiota, koska putkelle suunniteltu lasku tyhjenemisen toteutumiseksi määrittää tarkan asemoinnin käytetyille Roxtec-läpivientien läpivientiholkeille. Ennen kuin putki asennettiin kannakkeilleen ja hitsattiin, piti kiinnittää hitsaamalla läpivientiholkki laipioon paloluokiteltua pöly-, vesi- ja kaasutiivistä Roxtec-läpivientitiivistettä varten. Tiiviste kiinnitettiin tukemaan putkea putkiläpivientiholkin avulla (Kuva 8).



Kuva 8. Hitsattu läpivientiholkki ja tiiviste

Holkki kiristettiin tietyssä järjestyksessä (Kuvio 11) momenttiin, joka on määritelty halkaisijan mukaan Roxtec:in asennusohjeessa (Taulukko 3).



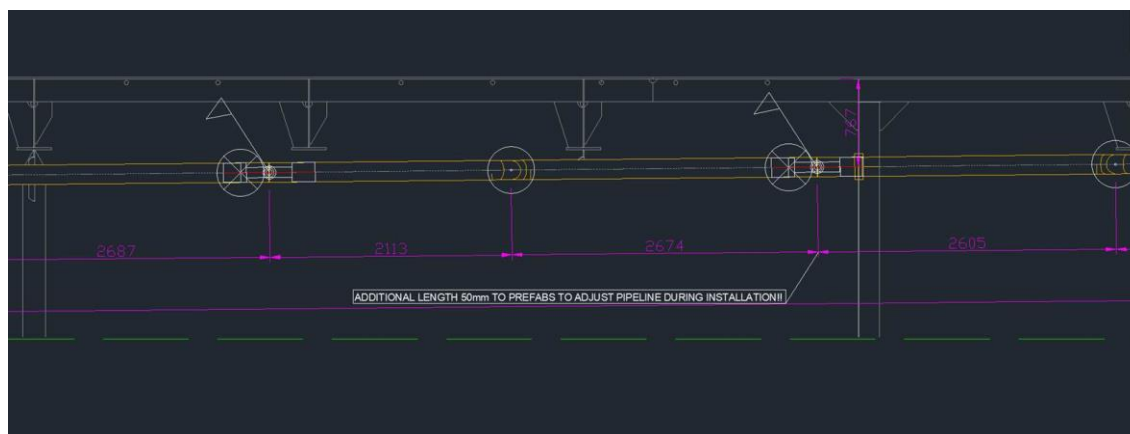
Kuvio 11. Holkin pulttien kiristysjärjestys (Roxtec 2020)

Taulukko 3. Holkin kiristysmomentit halkaisijan mukaan (Roxtec 2020)

Size: RS	Approx. torque (Nm)	SW (tool width) (mm)	Aperture (Ø mm)	For cable/pipe outer diameter (mm)
25	1	2.5	25-26	0+3.6-12
31	1	2.5	31-32	0+4-17
43	4	4	43-45	0+4-23
50	4	4	50-52	0+8-30
68	4	4	68-70	0+26-48
75	4	4	75-77	0+24-54
100	4	4	100-102	0+48-70
125	7	5	125-127	0+66-98
150	7	5	150-152	93-119
175	7	5	175-177	119-145
200	7	5	200-203	138-170
225	17	10	225-228	151-181
250	17	10	250-253	176-206
300	17	13	300-303	206-236
350	17	13	350-353	244-286
400	17	13	400-403	294-336

7.3 Esivalmistesiirtoputkien yhdistäminen päittäisliitoshitsillä

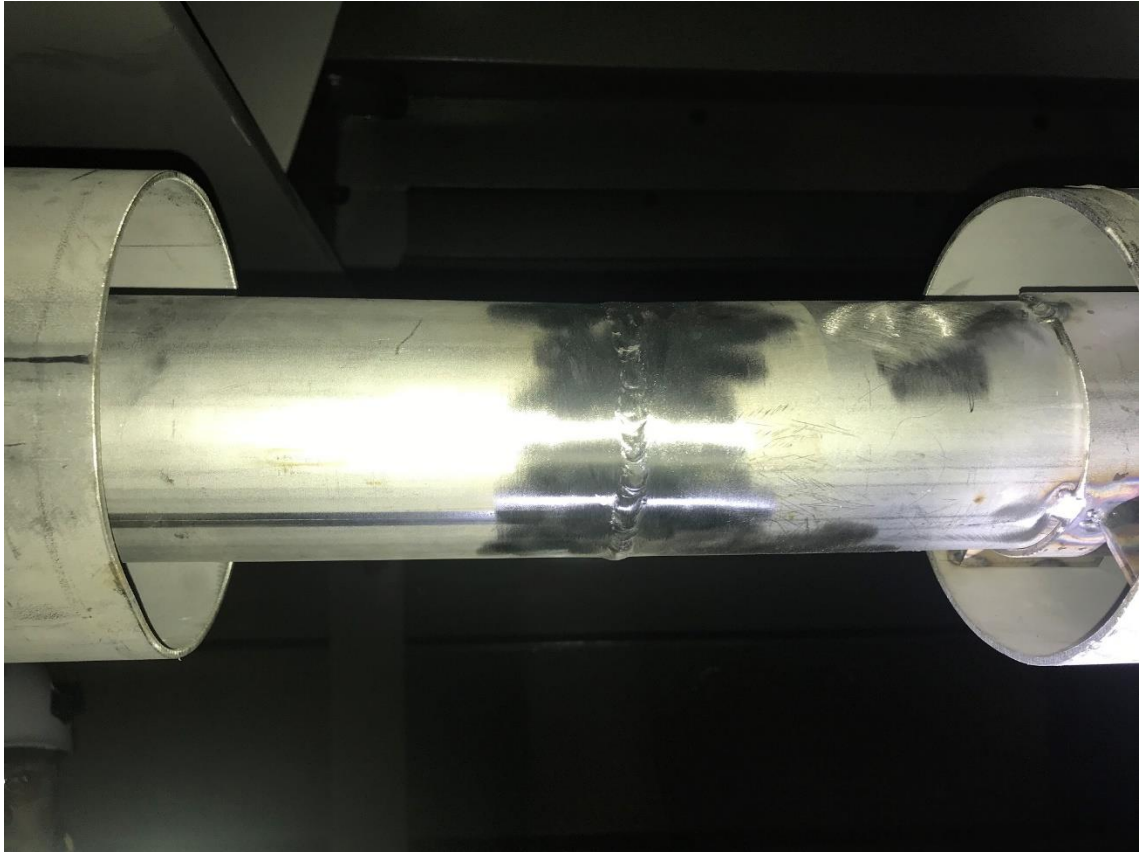
Ennen siirtoputkien yhdistämishitsausta oli huomioitava putkiin jätetty 50 mm työvara (Kuvio 12), joka poistettiin.



Kuvio 12. Piirustuksen merkitty 50 mm poistettava työvara (RMC M-Files)

Putki katkaistiin oikeasta kohdasta ja putkeen tehtiin viiste. Hitsattavien pintojen tuli olla puhtaat, näin varmistettiin hitsauksen yhden laatuosan onnistuminen lopputuotteessa (Kuva 9). Itse hitsaustyössä, kun hitsataan lattiatason yläpuolella olevia kohteita, joihin joutuu nousemaan lattiatasosta, pitää hitsaajan työskentelytason olla riittävän tukeva ja laaja. Tällä varmistettiin myös työturvallisuusnäkökulma. Hitsauksessa käytettiin juurikaasutustulppaa, jonka käytöllä varmistettiin

juurikaasutuksen oikea kohdistus ja helpompi säätäminen. Käyttämällä juurikaasutustulppaa myös säästettiin kaasua koko linjan kaasutuksen sijasta.



Kuva 9. Päittäisliitoksella yhteen hitsatut esivalmisteputket

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Bunkrausputkiston toimitusprojekti alkaa suunnitteluvaiheesta, joka pohjautuu IGF-koodiin, yleisiin ja telakan omassa käytössä oleviin standardeihin sekä valitun laitetoimittajan ja luokituslaitoksen vaatimuksiin. Suunnittelutyön jälkeiset muutokset on hyväksyttävä tilaajalla ja luokituslaitoksella, jotta saadaan valittua oikeat materiaalit ja työtavat.

Tarjouspyyntöihin pitäisi saada mahdollisimman tarkkaan määritelty ja kattava suunnitteluaineisto hyväksyttynä, jolloin revisiomäärän jäädessä pieneksi työ- ja kustannustehokkuus nousee. Lisäksi pitäisi tarjouspyyntöihin mahdollisimman kattavasti saada tietoa laitetoimittajan vaatimuksista projektin aikana suoritettavista pakollisista toimenpiteistä, joilla työ saadaan suoritettua loppuun hyväksytysti. Tällä on mahdollisuus myös vaikuttaa työ- ja kustannustehokkuuteen.

Kun työn suoritettava alihankintayritys on valittu, niin on tärkeää mahdollisimman pian käydä läpi kattavasti asiat, jotka sisältyvät esivalmisteiden tekoon ja itse telakalle työhön saapumiseen, työnteon esivalmisteluihin sekä työnteon aikaisiin käytännön asioihin. Näiden asioiden läpikäynti heijastuu työ- ja kustannustehokkuutena alihankintayrityksen ja RMC:n toimintaan.

Esivalmisteiden tekemisen aikana ympäristön vaatimukset korostuvat jo heti alkuvaiheessa. Putkien puhtaudella ja suojaamisella on suuri merkitys, kun putket ja putkiosat ovat tulleet tuotantotilaan, jossa niitä esivalmistellaan. Putket tulisi suojata kokonaisuudessaan, jolloin minimoidaan putkien vaurioituminen, niiden pintojen kontaminoituminen ja altistuminen korroosiolle sekä epäpuhtauksille. Ainoastaan hitsaustyön ajaksi suojaus poistetaan tarpeelliselta osalta ja putket suojataan uudelleen heti hitsauksen jälkeen. Putkien altistuminen vaurioille, korroosiolle ja epäpuhtauksille aiheuttaa lisäkustannuksia ja ylimääräistä työtä asennuksen jälkeen.

Asennustyön sujuva onnistuminen laivassa vaatii tarkkaa perehtymistä ennalta työkohteeseen, jolloin saadaan tehtyä ennakoituna työjärjestyksen suunnittelu ja tarpeellisen työvoiman varaaminen työhön. Hyvä perehtyminen ja suunnittelu tehostaa asennuksen ajankäyttöä ja takaa osaltaan katkeamattoman työketjun.

Yksi selkeitä haasteita oli suunnittelumateriaalin myöhästyminen verrattuna lohkojen altaaseennosto aikataulusta. Tavoitetilana tulisi olla, että asennettavat putkiosat voitaisiin nostaa lohkoon ennen lohkon altaaseen nostoa. Tällöin asennustyön haalausosuus olisi helpompaa ja työturvallisuus parempaa. WasaLine projektissa haalaustyö tapahtui vasta, kun lohkot olivat asennetut ja osaksi yhteen hitsattuna, jonka vuoksi asennustyövaiheessa jouduttiin tekemään useita suunnittelemattomia haalausaukkoja.

Putkien esivalmisteiden laivaan haalauksessa on huomioitava riittävät henkilöresurssit ja varmistettava mahdollisimman lyhyt reitti haalaukselle yhden esivalmisteputken painon ollessa useita kymmeniä kiloja. Kun työtarpeen mukainen määrä putkia on haalattu laivaan, tulisi olla asennettuna valmiiksi kannakkeita ja läpivientiaukkoihin holkkeja niin, että haalatut putket voidaan asentaa suoraan niiden oikeisiin paikkoihin ja hitsaustyö voidaan aloittaa mahdollisimman nopeasti. Tässä vaiheessa korostuu oikea työntekijämäärä ja sen oikea työtehtäväjako (hitsaajat, asentajat, haalajat/ muut).

Putkilinjojen hitsaustyön käynnistyessä korostuu hitsaajan sekä asentajan ammattitaito ja niin sanottu pelisilmä, koska olosuhteet ovat haastavat: valaistusolosuhteet, ahtaat ja vaikeasti luoksepäästävät paikat, sekä muuttuvat ilmavirta- ja kosteusolosuhteet. Varsinkin kosteusolosuhteet vaikuttavat hitsauslisäaineiden sekä hitsauskoneiden varastointiin ja suojaamiseen. Ilmavirralla on suora vaikutus hitsivirheisiin suojakaasullista ja kuonatonta hitsausprosessia käytettäessä.

Opinnäytetyötä voidaan käyttää pohjatietona varsinaisen työohjeen tekemiselle. Työohjeen tekeminen vaatii kuitenkin vielä laajaa ja yksityiskohtiin perustuvaa perehtymistä IGF-koodin ja standardien osalta sekä muuttujana olevan projekti-kohtaisesti valitun laitetoimittajan ja luokituslaitoksen ohjeistuksien ja sääntöjen perinpohjaista tulkintaa. Työohjeen tekemiseen olisi hyvä käyttää useampaa henkilöä (tiimi), jotka ovat perehtyneet LNG-rakentamiseen. Tällä luodaan pohja useiden henkilöiden asiantuntijuuden ja näkemysten yhteensovittamiselle, pohdinnalle sekä keskustelulle, kun haetaan ratkaisukeskeisyyttä.

9 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoite oli dokumentoida ja löytää laivaan valmistettavan LNG-polttoainetankkauksen tuplavaippaputkiston esivalmiste- ja asennustyöstä mahdollisia kehityskohteita, joilla saadaan aikaan mahdollisesti työ- ja kustannustehokkuutta.

Tutkimustyön tuloksena saatiin kattava käsitys prosessin aikana siitä, mitkä ovat mahdolliset muuttujat ja haasteet LNG-bunkraus tehtäessä ja mihin asioihin tulee kiinnittää huomiota prosessin eri vaiheissa. Ennakoivalla reagoinnilla ja ongelmien ilmaantuessa nopealla, riittävän voimakkaalla reagoinnilla voidaan vaikuttaa työ- ja kustannustehokkuuteen.

Katsottaessa onnistumista prosessissa, on siinä nähtävissä ongelmia. Syinä ongelmiin olivat tarkkojen piirustusten puute tehtäessä sopimusta, perehtymättömyys LNG:n putkiston esivalmiste- ja asennustyön aikaisiin toteutusteknisiin - ja teoriapohjaisiin vaatimuksiin, mitä edellytetään keneltäkin työn alkaessa ja edetessä. Kun tähän lisätään alihankintayrityksen kokemattomuus työskentelystä telakalla ja LNG-rakentamisesta, niin ongelmia esiintyy seuraavissa asioissa: ohjeistuksen noudattamatta jättäminen työmenetelmissä ja asennustavoissa (mm. virheellinen sisäputken kannakointi, virheellisiä vaippaputken kannakointeja, putkien suojaamattomuus, putkien päiden sulkemattomuus, päittäisliitoksien hitsausvirheet, kaasutusvirheet, resurssivajeen heijastuminen työn etenemään).

Ongelmien ollessa lukumäärältään työn varsinaiseen kokoluokkaan verrattuna huomattavia, ja aiheuttaneen paljon ylimääräistä työtä, voidaan todeta sen myös vaikeuttaneen opinnäytetyön tekemistä, koska ongelmat työllistivät myös kirjoittajaa.

Mainittujen ongelmakohtien huomioiminen seuraavissa projekteissa välttää turhalta aikaa ja resursseja sekä kustannustehokkuutta vievältä työltä, joka kuormittaa niin RMC:n henkilöstöä kuin alihankintayrityksenkin henkilöstöä työnjohdosta työntekijöihin.

Tarkastellessa opinnäytetyötä prosessina tekijän näkökulmasta, ottaen kohteeksi työn haasteet, työn kehityskaaren ja lopullisen työn mukana tulleen oppimisen tason, voin todeta, että haasteet opettivat huomioimaan ajankäytön suunnitelmallisuuden tärkeyden ja asiakokonaisuuksien erottelamisen tärkeyden, joilla saadaan tehostettua työntekoa ja sen hallintaa.

Katsoessa kehityskaarta omassa oppimisessa prosessin aikana, voi todeta kehitystä tapahtuneen joka osa-alueella. Havainnointi ja asioiden tarkastelu (mikä on tärkeää, mikä toisarvoista), kirjoittaminen tutkitusta asiasta (tieteellisen tekstin kirjoittaminen ytimekkäästi), ongelmaratkaisu, ongelmaratkaisun loogisen prosessoinnin kehitys (miten toimia, kun kohtaa ongelman).

Lopputuloksena voin siis todeta opinnäytetyön olleen mielenkiintoinen, haastava, kehittävä ja antaneen hyvät eväät kehittymiselle, joka ei koskaan lopu.

LÄHTEET

Bedda, J. 2017. LNG:n mahdollisuudet. Viitattu 3.8.2020 <https://www.kaasuyhdistys.fi/wp-content/uploads/2018/12/LNGn-mahdollisuudet-Jouni-Bedda.pdf>

IMO Resolution MSC.391(95) 2020. Viitattu 20.6.2020
<https://www.dco.uscg.mil/Portals/9/DCO%20Documents/5p/5ps/Design%20and%20Engineering%20Standards/docs/IMO%20Resolution%20MSC.391.pdf?ver=2017-07-13-143233-847>

IMO 2020. Introduction to IMO. Viitattu 15.6.2020
<http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>

Numminen A. 2020a. 6002 WASALINE - LNG bunkrauslinjan sisäputken eläminen. tapio.kuusiluoto@rmcfinland.fi 12.5.2020. Tulostettu 13.5.2020

Numminen A. 2020b. 6002 WASALINE - LNG bunkrausputki. tapio.kuusiluoto@rmcfinland.fi 12.5.2020. Tulostettu 13.5.2020

Numminen A. 2020c. NB6002 APPROKSIMAATIO LNG:n KAKSIVAIPPAPUTKEN LÄMPÖTILAMUUTOKSESTA. tapio.kuusiluoto@rmcfinland.fi 12.5.2020. Tulostettu 13.5.2020

Roxtec installation instruction 2020. Viitattu 31.8.2020 https://www.roxtec.com/globalassets/product-assets/installationinstruction/ass2010001301_dup-c.pdf

RMC 2020a. Laatusuunnitelmakirja (NB 6002). Sisäinen tietokanta. Viitattu 10.9.2020

RMC 2020b. Sisäinen tietokanta M-Files. Viitattu 4.9.2020

Ruuhonen, H. 2020. DNV GL. Project managerin haastattelu 4.8.2020

SFS-EN ISO 17637:2016. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus. Viitattu 10.8.2020 <https://online-sfs-fi.ez.lapinamk.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/468700.html.stx>

SFS-EN ISO 17636-1 2013. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografinen kuvaus. Osa 1: Röntgen- ja gammakuvaus filmitekniikalla. Viitattu 12.8.2020 <https://online-sfs-fi.ez.lapinamk.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/229740.html.stx>

SFS-EN ISO 9606-1:2017. Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräks. Viitattu.8.9.2020. <https://online-sfs-fi.ez.lapinamk.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/9/540737.html.stx>

Uusitalo, M. 2020. Rauma Marine constructions Oy. Tuotantojohtajan haastattelu. 4.8.2020

Wärtsilä (IPI) 2020. RMC:n sisäinen tietokanta. Viitattu 5.7.2020