



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# 3D-MITTAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN SOVITEPUTKITUOTANNOSSA

Riku Honkaniemi

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2016  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Modernit tuotantojärjestelmät



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Modernit tuotantojärjestelmät & tuotantotalous

HONKANIEMI, RIKU:  
3D-mittauksen hyödyntäminen soviteputkituotannossa

Opinnäytetyö 78 sivua  
Huhtikuu 2016

---

Tämä opinnäytetyö on tehty Helsingin telakalla Arctech Helsinki Shipyard Oy:lle aiheesta 3d-mittauksen hyödyntäminen soviteputkituotannossa. Työn tavoitteena oli löytää 3d-mittalaite, jolla voitaisiin korvata soviteputkien käsin mittausta ja laippojen väliin tehtävän mallinteen käyttö parantaen samalla mittauksen nopeutta, luotettavuutta ja työergonomiaa. Telakalla on pohdittu ratkaisuja soviteputkien tuotannon kehittämiseen aiemminkin, mutta edellisestä mittalaitetekokeilusta on jo yli vuosikymmen, joten selvitystyö uusien teknologioiden ja laitteiden tuomista eduista oli ajankohtaista.

Opinnäytetyön tutkimusosiossa toteutettiin nykytilaselvitys soviteputkien tuotannon vaiheista ja siihen liittyvistä ongelmista. Nykytilaselvitys suoritettiin pääosin haastatteleamalla henkilökuntaa suunnittelijoista tuotannon työntekijöihin ja tutustumalla putkituotannon osa-alueisiin telakalla. Selvityksessä tutustuttiin myös Arctechin arkistoista löytyviin ohjeisiin ja dokumentteihin sekä selvitettiin tilastotietoa soviteputkien ominaisuuksista edellisten laivojen osaluetteloiden perusteella. Nykytilaselvityksessä määritettyjen kriteerien perusteella kartoitettiin sopivia 3d-mittalaitteenvaihtoehtoja vertailtavaksi. Mittalaitteiden vertailun jälkeen sopivin vaihtoehto testattiin järjestämällä esittely telakalla.

Telakalla järjestetyn mittalaitte-esittelyn tärkeimpänä osuutena oli laivassa suoritettava soviteputken mittausta ennalta valitussa paikassa. Hyvin varhaisessa vaiheessa esittelyä kävi kuitenkin ilmi, ettei mittalaitte kokonsa puolesta ole helposti kuljetettavissa mitattavaan kohteeseen tai sitä ei ainakaan päivittäisessä käytössä tulisi hyödyntämään laivan ahtaissa tiloissa. Esittelyssä kävi myös ilmi, etteivät laitteen ohjelmiston ominaisuudet tukeneetkaan täysin niitä vaatimuksia, mitä järjestelmältä toivottiin.

Mittalaitte-esittelyn seurauksena saatiin tuotua mittalaitte-esittelijälle ilmi vaadittuja ominaisuuksia, joita voitiin lähteä viemään eteenpäin mittalaitteiden kehittämiseksi telakan tarpeisiin ja yhteistyön mahdollistamiseksi tulevaisuudessa. Nykytilaselvityksessä ilmeni myös muita jatkokehityshankkeita liittyen esimerkiksi putkipajan toimintoihin sekä putkien merkintöjen kehittämiseen.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Modern Production Systems & Industrial Management

HONKANIEMI RIKU:  
Feasibility Study of 3d Measurement in Tie-in Pipe Spool Fabrication

Bachelor's thesis 78 pages  
April 2016

---

This Bachelor's thesis consisted of conducting a feasibility study of 3d measurement in tie-in pipe spool fabrication for Arctech Helsinki Shipyard Inc. The purpose of this paper was to find suitable 3d measurement device which could replace the current manual measuring and fixture fabrication methods and at the same time improve the speed, reliability and work ergonomics of the measurement process. This subject has been under discussion at the shipyard before but the latest measuring device demonstration was organized over a decade ago so a study about the new technologies and equipment was highly relevant.

Thesis was started with theoretical introduction of the ship's piping and 3d measurement in general. After that information and statistics about the characteristics of tie-in pipe spools were collected from documents of the shipyard's archive and systems. The research part of this paper was conducted by mapping the current situation by interviewing the employees responsible of piping design and fabrication, and getting familiar with pipe production in the shipyard. The current situation analysis set criteria for the 3d measurement devices to be compared. After the comparison the most suitable option was invited to be demonstrated at the shipyard.

The most important object of the demonstration was to perform a practical measurement at a predetermined place in the ongoing icebreaker project. At a very early stage of the demonstration it was revealed that the device would not be easy to transport to the narrow spaces of ship's machinery and pump rooms due to the size of the measurement kit. At least it would not be used on a daily basis. Also the software did not support all the qualifications which were required and desired.

As a result of the demonstration, ideas of further development of the device, software and fixtures to meet the requirements of the shipbuilding were noted and presented to the supplier. The current situation analysis also yielded some further development proposals for example to improve functions of the shipyard's pipe workshop and develop the marking of the pipes.

---

Key words: 3d measurement, tie-in pipe spool, shipbuilding

## SISÄLLYS

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | JOHDANTO .....  | 7  |
| 2 | ARCTECH HELSINKI SHIPYARD OY .....  | 9  |
|   | 2.1 Yrityksen historia .....  | 9  |
|   | 2.2 Toimiala ja erikoistuminen .....  | 9  |
| 3 | LAIVAN PUTKISTOT .....  | 10 |
|   | 3.1 Laivan putkistoihin liittyviä määräyksiä ja ominaispiirteitä .....          | 10 |
|   | 3.2 Putkiston suunnittelu .....   | 12 |
|   | 3.3 Laivan putkijärjestelmät ja niiden rakenne.....                             | 13 |
|   | 3.3.1 Putkistojen materiaalit .....   | 14 |
|   | 3.3.2 Putkiston suojausmenetelmät .....   | 16 |
|   | 3.3.3 Putkien liitokset .....   | 17 |
|   | 3.4 Putkien merkintä .....  | 20 |
|   | 3.5 Modulaarinen rakennustapa.....  | 21 |
|   | 3.5.1 Putkipaketit.....   | 23 |
|   | 3.5.2 Sovitealueet ja -putket.....  | 24 |
|   | 3.5.3 Lohkoraja-alueen varustelu .....  | 25 |
| 4 | SOVITEPUTKIEN MÄÄRÄT JA KOKOJAKAUMAT.....                                       | 26 |
|   | 4.1 Kirjallisuus.....   | 26 |
|   | 4.2 Telakalla .....   | 28 |
|   | 4.2.1 Soviteputkien halkaisijat .....   | 29 |
|   | 4.2.2 Soviteputkien pituudet .....  | 30 |
|   | 4.2.3 Soviteputkien muita ominaisuuksia osa-luettelon perusteella .....         | 32 |
| 5 | 3D-MITTAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN PUTKITUOTANNOSSA.....                               | 33 |
|   | 5.1 Koordinaattimittaus .....   | 33 |
|   | 5.2 Koordinaattimittauskone .....   | 33 |
|   | 5.3 Mittaustapahtuma ja toimintaperiaate .....                                  | 34 |
|   | 5.4 Mittausepävarmuus .....   | 35 |
|   | 5.5 3D-teknologian hyödyntäminen laivateollisuudessa.....                       | 36 |
| 6 | NYKYTILASELVITYS – SOVITEPUTKIEN TUOTANTO<br>TELAKALLA .....                    | 39 |
|   | 6.1 Soviteputken tuotantoprosessi .....   | 39 |
|   | 6.2 Putkipajan rakenne .....  | 41 |
|   | 6.3 Telakalta löytyvät laitteistot ja työkalut soviteputkien valmistukseen .... | 42 |
|   | 6.4 Ongelmat ja pullonkaulat .....  | 43 |
| 7 | MENETELMÄT SOVITEPUTKIEN MITTAUKSEN KEHITTÄMISEKSI                              | 46 |
|   | 7.1 Menetelmien vertailu.....   | 46 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 7.2   | Nykytilaselvityksessä määritetyt ominaisuudet mittalaitteen vaatimuksista ..... | 48 |
| 7.3   | Mittalaitteen hyödyntäminen käytännössä .....                                   | 49 |
| 7.4   | Vierailu Meyer, Turun telakka.....  | 52 |
| 7.5   | Putken valmistettavuus mittatiedoista.....                                      | 53 |
| 7.6   | Vaihtoehdot putkien merkinnän kehittämiseen .....                               | 57 |
| 8     | 3D-MITTALAITTEVERTAILU .....  | 61 |
| 8.1   | Mittalaitteiden ominaisuuksien vertailu .....                                   | 61 |
| 8.1.1 | Romer Absolute Arm.....   | 62 |
| 8.1.2 | Metronor SOLOtwin System.....   | 64 |
| 8.1.3 | Faro Freestyle <sup>3D</sup> .....  | 65 |
| 8.1.4 | Creaform HandyProbe .....   | 66 |
| 8.2   | Testilaitteen valinta .....   | 67 |
| 8.3   | Mittalaite-esittely telakalla .....   | 68 |
| 9     | TULOKSET .....  | 71 |
| 9.1   | Mittalaite-esittelyn tulokset ja jatkokehityshankkeet .....                     | 71 |
| 9.2   | Muita työssä ilmenneitä jatkokehityshankkeita putkituotantoon.....              | 72 |
| 10    | JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....  | 74 |
|       | LÄHTEET .....   | 75 |

**LYHENTEET JA TERMIT**

|      |   |
|------|---|
| AHS  | Arctech Helsinki Shipyard Oy  |
| BI   | Business Intelligence -tiedonkäsittelyohjelmisto.   |
| CAD  | Tietokoneavusteinen suunnittelu (Computer-aided Design)   |
| CNC  | Tietokoneistettu numeerinen ohjaus (Computerized numerical control)   |
| DN   | Nimellismitta. Nimellismittaa käytetään putkikokoluokille, jossa halkaisijan ja seinämäpaksuuden mitat ovat tiettyä suuruusluokkaa. (Diameter Nominale) |
| EP   | Esivalmisteputki  |
| KMK  | Koordinaattimittauskone (CMM - Coordinate-measuring machine)  |
| RFID | Radio Frequency Identification  |
| RMRS | Venäläinen luokituslaitos (Russian Maritime Register of Shipping)   |
| SP   | Soviteputki   |

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia 3D-mittauksen hyödyntämistä laivan soviteputkien tuotannon kehittämiseksi. Työssä selvitetään soviteputkien nykyinen toteuttamistapa ja etsitään löydetyille kehityskohdille ratkaisuja markkinoilta. Tämän perusteella kartoitetaan mahdollisia laiteinvestointeja, joilla putkien tuotantoa voitaisiin tehostaa, ja testataan sopivaa mittalaitetta käytännössä, jos mahdollista.

Kysymys soviteputkien tuotannon kehittämisestä on ollut esillä telakalla jo pitkään, ja siihen liittyvät haasteet ovat tiedossa. Aihe konkretisoitui kesän 2015 aikana, jolloin olin kesätöissä projektin 509 parissa vastaten laivaan liittyvistä muutostöistä. Muutostöihin lukeutui myös paljon putkimuutoksia, ja putkia jouduttiin tekemään kaavioiden perusteella soviteputkina. Telakalla on pohdittu ratkaisua soviteputkien mittauksen kehittämiseen aikaisemminkin, ja 2000-luvun alussa testattiin tarkoitukseen sopivaa järjestelmää, mutta silloin eivät menetelmän nopeus ja luotettavuus olleet tarpeeksi vakuuttavia järjestelmän käyttöönottamiseksi.

Tavoitteena on tuottaa selvitys, jolla pystytään parantamaan soviteputkien tuotannon tehokkuutta, luotettavuutta ja mittatarkkuutta. Tarkoituksena on selvittää 3D-mittalaitteen soveltuvuus laivassa suoritettaviin mittauksiin ja tuoda ilmi sopiva järjestelmä, joka tarjoaa etuja ja uusia menetelmiä soviteputkien mittaukseen. Työhön ei sisälly kannattavuuslaskelmat ja takaisinmaksuaikojen laskeminen, vaan kustannuksia käydään läpi karkeasti laitekartoitukseen mukaan otettujen vaihtoehtojen hintatietojen pohjalta. Jatkokehityshankkeessa voisi laskea tarkemmin laitteiston todellisen kannattavuuden. Selvitystyössä käydään läpi myös yleisiä kehitysehdotuksia telakan putkipajan toimintaan liittyen ja esitellään ilmenneet ongelmat, mutta ratkaisuosiossa pyritään keskittymään nimenomaan soviteputkien tuotannon kehittämiseen ja 3D-mittauksen hyödyntämiseen.

Työssä käsitellään laivan järjestelmiin tarvittavia soviteputkia, mutta kartoitettavat mittausjärjestelmät eivät ole tarkoitettu ainoastaan laivakäyttöön, vaan ovat sovellettavissa kaikenlaisten putkien mitoittamiselle. Työn putkistojen ominaisuudet ja vaatimukset määräytyvät pääosin Arctech Helsinki Shipyard Oy:n erikoisosaamisalueen, jäänmurtaajien ja arktisen merenkulun alusten, mukaan. Tarkoituksena on selvittää AHS:n nykyistä tilauskantaa vastaavien laivojen ominaisuuksia vastaava järjestelmä ja esimerkkilaivoina

käytetään keskimäärin sadan metrin mittaisia jäänmurtajia keskinopeat dieselmoottorit käyttövoimanaan. Jo valmistuneista laivoista NB506 ja NB507 sopivat tähän linjaan, ja lisäksi tilauskannan seuraavat laivat NB511-514 ovat kokoluokaltaan ja ominaisuuksiltaan tähän kehykseen sopivia.

Tarvittava tieto laivan putkistojärjestelmistä pyritään tuomaan lukijalle työn teoriaosuudessa, mutta ohjeiden ja sääntöjen laajuuden vuoksi niistä on poimittu vain olennainen tieto liittyen soviteputkiin. Kaikkia sääntöjen sisältämiä vaatimuksia ei näin ollen ole välttämättä käyty läpi.

Nykytilan selvitykseen käytetään telakan sisäistä arkistoa ja dokumentointia aiemmista laivaprojekteista sekä haastatellaan tuotannon työntekijöitä ja työnjohtajia soviteputkiin liittyvistä työtavoista, haasteista ja kehitysehdotuksista. Selvityksen perusteella suoritetaan vertailu nykyisen ja 3D-mittausmenetelmän välillä. Sopiville ratkaisuvaihtoehdoille suoritetaan vertailu telakalla määritettyjen vähimmäisvaatimusten ja toivottujen ominaisuuksien perusteella, ja parhaiten soveltuvat vaihtoehdot pyritään testaamaan käytännön kokeella laivassa.



## **2 ARCTECH HELSINKI SHIPYARD OY**

### **2.1 Yrityksen historia**

Helsingin telakalla on 150-vuotisen historiansa aikana ollut monta omistajaa ja nimi on vaihtunut useasti. Vuonna 1865 perustettu Helsingfors Skeppsdocka Helsingin hietalahdessa sai seurakseen Hietalahden sulkutelakka ja konepajan vuonna 1894. Wärtsilän omistukseen telakka siirtyi vuonna 1936 ja säilyi aina vuoteen 1989 asti, jolloin Masa-Yards perustettiin. 1990-luvun puolessa välissä Kvaerner osti Masa-Yardsin, joka taas fuusioitui vuonna 2004 Aker Finnyardsin kanssa toimien ensin nimellä Aker Finnyards Oy. Vuonna 2006 Finnyards tippui nimestä pois muuttuen pelkästään Aker Yardsiksi. STX Europe osti telakan vuonna 2009, ja seuraavana vuonna Arctech Helsinki Shipyard Oy perustettiin, kun STX Europe allekirjoitti yhteisyrityssopimuksen venäläisen United Shipbuilding Corporationin (USC) kanssa. Vuonna 2014 koko Arctechin osakekanta siirtyi USC:n omistukseen. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2016a).

### **2.2 Toimiala ja erikoistuminen**

Helsingin telakka on pitkän historiansa aikana tehnyt paljon erityyppisiä laivoja autolau-toista risteilijöihin, mutta vahvana osaamisalueena voidaan pitää arktisen merenkulun ka-lustoa ja -teknologiaa. Jäänmurtajien rakentaminen telakalla on aloitettu jo vuonna 1910, kun jäänmurtaja Mercator rakennettiin (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2016a). Telakalta on luovutettu yli 500 laivaa ja 60 % koko maailman toiminnassa olevista jäänmurtajista on rakennettu Helsingin telakalla. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2016c).

Arctech Helsinki Shipyard Oy:n päätuotteita ovat arktisen merenkulun erikoisalukset, joita ovat esimerkiksi jäänmurtajat ja jäätä murtavat huolto-, pelastus- ja kuljetusalukset. Arctech yhdistää Venäjän ja Suomen meriteollisuusklusterit ja vahvistaa jo ennestään Suomesta Venäjälle toimitettavien laivojen kantaa. Suomalaiset telakat ovat toimittaneet Venäjälle yhteensä yli 1500 alusta, ja Arctechin seuraavat tilaukset suuntautuvat myös pääosin Venäjälle. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2015)

### 3 LAIVAN PUTKISTOT

Tässä luvussa käydään läpi laivan putkistojen ominaispiirteitä sekä putkistojen suunnitteluun ja toteutukseen liittyviä määräyksiä ja ohjeita. Laivan putkistot jaotellaan järjestelmittäin, ja niiden materiaaleihin, pintakäsittelyyn sekä liitostapaan vaikuttaa suuresti putkistossa vallitseva lämpötila, paine, putkessa kuljetettava aine sekä putkistojärjestelmän erityisominaisuudet ja sille asetetut määräykset. Nykyaikaisessa laivanrakentamisessa suositetaan modulaarista rakennusmallia ja korkeata esivalmistusastetta, missä työ on pyritty siirtämään laivasta parempiin tuotanto-olosuhteisiin pajalle. Tästä syystä laivan putkistot ja järjestelmät toteutetaan usein putkipajalla tai alihankinnalla rakennetuista putkipaketeista ja koneikoista. Putkipakettien, koneikkojen ja lohkorajojen sovitealueiden putkenpäiden liittäminen toisiinsa toteutetaan usein soviteputkilla, jos mittatarkkojen esivalmisteputkien käyttö ei ole mahdollista tai sisältää riskin, etteivät putket sovi.

#### 3.1 Laivan putkistoihin liittyviä määräyksiä ja ominaispiirteitä

Laivan putkistoissa on paljon yhtäläisyyksiä maapuolen järjestelmien kanssa, joiden suunnittelun virtaustekniset ja taloudelliset laskelmat ovat hyvin samanlaisia. Toimintaolosuhteista johtuen erityisesti turvallisuusnäkökohtiin on kiinnitetty huomiota, ja laivassa on omat turvallisuuden liittyvät järjestelmänsä esimerkiksi palonsammutukseen ja tyhjennykseen. Toimintojen häiriöt laivassa voivat aiheuttaa vakavan onnettomuuden, ja avunsaanti sekä evakuointi ovat hankalampia meriolosuhteissa. Putkistojen kustannukset nousevat korkeammiksi turvallisuuden varmistuksilla, kuten esimerkiksi kahdennusten ja osastojakojen vuoksi, jotka tekevät järjestelmästä samalla monimutkaisemman. (Häkkinen 1994, 2)

Laivan mitat ovat rajalliset, joten putkistojen tilajärjestelyt pyritään reitittämään tiiviisti ottaen kuitenkin huomioon putkistojen huoltotarpeet. Suoraviivainen reititys ei usein ole mahdollista, vaan putket johdetaan tilaa säästävästi yläpuolen kanteen kiinnitettynä tai irrotettavien lattialevyjen alla väistäen erilaisia esteitä. Myös laivan liikkeet ja lämpötilan vaihtelut asettavat putkille omat vaatimuksensa, jotka täytyy ottaa huomioon jo suunnittelussa. Kohdistuvat värähtelyt, kallistukset ja kiihtyvyydet eivät saa vaikuttaa järjestel-

mien toimintaan heikentävästi. Huomattavia lämpötilaan vaikuttavia tekijöitä ovat meriveden, ilman ja kuormituksen vaihtelut, jotka aiheuttavat muodonmuutoksia laivan runkoon ja putkistoihin. (Häkkinen 1994, 1–2)

Putkistojen suunnittelun säännöt perustuvat luokituslaitosten sääntöihin, telakan standardeihin ja työohjeisiin sekä projektikohtaisiin tarkennuksiin pintakäsittelyistä ja koeponnistuksista. Putkien merkitsemiselle on telakan oma työohje, jota tulee noudattaa putkien kohdistamiseksi tuotannon eri vaiheissa. Hitsauksessa noudatetaan varusteluhitsauksen ohjetta. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2013)

Soviteputkien valmistukselle ei telakalla ole omaa erillistä työohjetta, vaan suunnittelussa ja valmistuksessa sovelletaan muita työohjeita ja putkistoihin liittyviä määräyksiä. Putkien merkinnän (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2011c) ja putkipakettien suunnitteluohjeessa (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2011e) käsitellään erikseen myös soviteputkien osuutta.

### **Luokituslaitosten asettamat määräykset**

Luokituslaitokset ovat syntyneet laivojen vakuuttamisen yhteydessä tulleesta tarpeesta tarkistaa laivojen kunto onnettomuuksien vuoksi. Vakuutuksen antajan ja ottajan välillä intressit kohdistuivat taloudellisten tappioiden korvaamiseen, mutta yleisesti luokituslaitoksille haluttiin antaa myös julkista valtaa ihmishenkien turvaamiseksi (Liikennevirasto 2006). Luokituslaitoksia ovat esimerkiksi Lloyd's Register, DNV GL, Russian Maritime Register of Shipping ja Bureau Veritas, jotka valvovat, että alukset rakennetaan asianmukaisesti noudattaen sopimuksia ja määräyksiä. Putkistojen suunnittelussa luokituslaitokset määrittävät eri systeemejä koskevat säännöt omissa kokonaisuuksissaan, ja kaikkia putkistoja koskevat yleiset vaatimukset liittyen materiaaleihin, paineisiin, lämpötiloihin ja käsittelyyn.

Putkien ominaisuudet on jaoteltu kolmeen luokkaan, joiden mukaan määräytyy putkien lämpökäsittely, liitostyypit sekä testaus- ja hitsausmenetelmät. Kyseessä olevan järjestelmän paine ja lämpötila ovat määrääviä tekijöitä putkiluokan valinnalle. Lämpötila ja painerajat löytyvät luokituslaitosten taulukoista (TAULUKKO 1), ja jos jompikumpi taulukon raja-arvoista ylittyy, täytyy käyttää ylempään luokan putkea (Lloyd's Register 2015).

Luokkien yksi ja kaksi putkien ja niiden venttileiden sekä joustavien liitosten valmistuksessa luokituslaitoksen valvonta on vaadittua. (Russian Maritime Register of Shipping 2015, 8)

TAULUKKO 1. Putkiluokkien lämpötila- ja painerajat (Lloyd's Register 2015, muokattu)

| Putkijärjestelmä        | Luokka II |          | Luokka III |          |
|-------------------------|-----------|----------|------------|----------|
|                         | $p$ (bar) | $T$ (°C) | $p$ (bar)  | $T$ (°C) |
| <b>Höyry</b>            | 16,0      | 300      | 7,0        | 170      |
| <b>Lämmitysöljy</b>     | 16,0      | 300      | 7,0        | 150      |
| <b>Syttyvät nesteet</b> | 16,0      | 150      | 7,0        | 60       |
| <b>Muut aineet</b>      | 40,0      | 300      | 16,0       | 200      |
| <b>Rahtiöljy</b>        | 40,0      | 300      | 16,0       | 200      |

Suurimpaan osaan laivan putkistoista riittää vaatimukseksi kolmosluokan putki. Esimerkiksi suurimmalle osalle vettä kuljettavista putkistoista, ilmastointi-, työilma- ja instrumentointiputkista käytetään kolmosluokan putkea. Kakkosluokan putkia käytetään esimerkiksi lämmityskierukoissa, matalapaineisissa hydraulikkaputkissa sekä moottoreiden käynnistysilma- ja voiteluöljyputkissa. Ykkösluokan putkia käytetään pääasiassa korkeapaineisissa hydraulikkaputkissa, tulistetuissa höyryputkissa, osassa palonsammutusputkistoista sekä ankkurin vinssin ja ketjun ohjausputkissa. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2011d)

### 3.2 Putkiston suunnittelu

Häkkisen (1994, 81) mukaan laivaputkiston toteutuksesta voidaan tunnistaa seuraavat vaiheet:

1. Virtauskaavioiden laadinta
2. Putkistojen pääkomponenttien sijoitus konehuoneen yleisjärjestelyyn
3. Putkilinjojen tilavarausten teko
4. Valmistussuunnittelu
5. Putkien valmistus
6. Putkipakettien asentaminen lohkoihin
7. Koestus ja viimeistely

Putkistosuunnittelu aloitetaan virtauskaavioiden laadinnalla, jossa mitoitetaan järjestelmien tärkeimmät laitteet sekä putkien koot ja materiaalit. Näistä tiedoista voidaan arvioida laivan putkistojen kokonaispaino sekä työ- ja materiaalikustannukset. Kun pääkoneet on sijoitettu piirustuksiin ja perussuunnittelu hyväksytty, aloitetaan putkiratojen sijoittelu niille varatuille alueille. Putkiradat tulee suunnitella mahdollisimman järkevästi tilankäytön, toiminnan ja tuotantokustannusten kannalta. Valmistussuunnitteluvaiheessa tehdään putkilinjakohtaiset materiaalivaraukset sekä määritetään haaraumat, varusteet, eristeet ja kannakoinnit CAD-ohjelman avustuksella. Putkilinjat jaetaan erillisiin putkiin, ja nämä pyritään toteuttamaan putkipajalla esivalmisteina, jotka toimivat telakan urakkinnoittelun ja työnsuunnittelun pohjana. Esivalmisteputkista valmistettavat putkipaketit nostetaan pintakäsittelyn jälkeen laivaan, ja viimeiseksi asennetaan pakettien väliin jäävien sovitealueiden soviteputket. (Häkkinen 1994, 81–83)

Sovitealueiden suunnittelu riippuu suunnittelijan tekemistä valinnoista, mitkä putket jätetään laivassa tehtäviksi soviteputkiksi ja mitkä tehdään esivalmisteina. Käytännössä kuitenkin erillisten moduulien liittäminen toisiinsa sekä nimellishalkaisijaltaan alle 25 millimetriä olevat putket jätetään tuotannon ratkaistaviksi sovitein tai putkistokaavion mukaan. (Kokkonen 2016)

### 3.3 Laivan putkijärjestelmät ja niiden rakenne

Laivan putkijärjestelmät voidaan jakaa karkeasti konehuonetta palveleviin sekä apu- ja hotellitoimintoihin liittyviin järjestelmiin. Koneistoja palvelevat järjestelmät liittyvät laivan liikuttamiseen, ja apujärjestelmillä tuetaan näitä toimintoja sekä vaikutetaan turvallisuuden ja mukavuuteen. Lisäksi laivassa voi olla sen käyttötarkoituksesta riippuvien järjestelmien putkistoja, kuten esimerkiksi tankkereiden lastinkäsittelyjärjestelmän putket.

Häkkinen Laivan putkistot -kirjassa (1994, 2–4) konehuonetta palvelevat sekä apukoneistojen putkistojärjestelmät jaetaan seuraaviin kokonaisuuksiin, joihin liittyy vielä omat putkistot eri toiminnoille, kuten esimerkiksi syöttö- ja puhdistusjärjestelmät:

- Konehuoneen järjestelmiä palvelevat putkistot
  - Höyryjärjestelmät

- Polttoainejärjestelmät
- Voiteluöljyjärjestelmät
- Jäähdytysjärjestelmät
- Lauhde- ja syöttövesijärjestelmät
- Ilma- ja kaasujärjestelmät
- Apukoneistojen järjestelmiä
  - Tyhjennysjärjestelmät (pilssi)
  - Painolastijärjestelmät
  - Sammutusjärjestelmät
  - Käyttövesijärjestelmät
  - Viemäri- ja jätevesijärjestelmät
  - Lämmitys- ja kostutusjärjestelmät
  - Ilmastointijärjestelmät
- Lastinkäsittelyyn liittyvät järjestelmät

### 3.3.1 Putkistojen materiaalit

Putkiston materiaali valitaan putkistossa kulkevan aineen mukaan korroosion ja muiden kemiallisten reaktioiden estämiseksi. Huomioitavia asioita materiaalin valinnassa ovat lujuus, käyttölämpötilat, muodonmuutokset, korjattavuus, työ- ja raaka-ainekustannukset sekä yhteensopivuus eri materiaalien kanssa (Häkkinen 1993, 152). Putkistojen ominaisuuksista riippuen on eri järjestelmille kokemuksen myötä löydetty parhaiten sopivat materiaalit, ja myös luokituslaitoksien säännöt asettavat raamit materiaalin valinnoille eri systeemeissä.

Laivaputkistojen yleisin materiaali on teräs. Matalaseosteisilla hiiliteräksillä on taipumusta paikalliseen syöpymiseen, ja niiden käyttö merivesiputkistoissa edellyttää pinnoittamista sinkillä tai epoksimaalilla. Materiaalina hiiliteräs on kuitenkin hyvin edullinen vaihtoehto. Ruostumattomia ja vedettyjä saumattomia teräsputkia käytetään vaativammissa kohteissa, jotka ovat alttiimpia korroosiolle, kovalle paineelle ja muulle rasitukselle.

Muita laivaputkissa käytettäviä teräsmateriaaleja ovat titaani, nikkeli, kupari ja sen seokset. Titaanin ja nikkelin korroosionkesto-ominaisuudet ja lujuus ovat hyvät, mutta niiden

hintaa on korkea. Kuparia ja sen seoksia käytetään sen hyvän hitsattavuuden ja korroosi-onkestävyytensä vuoksi esimerkiksi lämmityskierukoissa ja merivesiputkissa. (Häkkinen 1994, 34–36)

Suolavesi on teräsputkille tuhoisaa, sillä se aiheuttaa putkistolle eroosiokulumista ja nopeuttaa korroosiota. Merivesijäähdytysputkiin onkin suositeltavaa käyttää korkealaatuista materiaalia, ja putket saadaan kestävämpään pidempään suunnitteluvaiheessa tehdyillä valinnoilla (Häkkinen 1994, 38). Merivesijäähdytyksessä voidaan käyttää esimerkiksi kupari-nikkeli -seosteisia putkia tai kumioitua teräsputkea. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2011d)

### **Kumilla pinnoitetut putket**

Kumipinnoitteella putken sisäpuolelta päällystettyjen teräsputkien tulisi olla saumatonta terästä, ja niiden suunnittelussa tulisi välttää monimutkaisia rakenteita. Kumioitavien putkien suunnittelussa tulee huomioida pyöritykset ja terävien reunojen minimointi, että kumin asentaminen on mahdollisimman helppoa eikä vaurioita syntyisi. Kumi tulee putken päistä hieman yli, mikä toimii yleensä pehmeillä kumilaaduilla samalla tiivisteenä. Kumioiduissa soviteputkissa tulee välttää suoria sovitteita asennuksen helpottamiseksi. Jos soviteputki on täysin suora, on hankalaa saada se sovitettua avoimien putken päiden väliin vaurioittamatta kumia. Putken muodoilla voidaan vaikuttaa asennettavuuteen siten, että kumitetty soviteputki voidaan asentaa paikalleen tietyssä asennossa kumia vaurioittamatta. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2011a)

### **Muoviputket**

Muoviputkien etuna on keveys, eikä niillä ole ongelmia korroosion kanssa, mutta niiden käyttö on kuitenkin rajoitettua luokituslaitosten valvonnan alla olevissa putkistoissa. Muissa putkistoissa muovia voidaan käyttää rajoituksetta, kuten esimerkiksi hyttialueen LVI-putkissa. Kiellettyjä kohteita muovin käytölle useimmissa luokituslaitoksen säännöissä ovat esimerkiksi palonsammutusjärjestelmien ja palavia nesteitä sisältävät putkistot. Lujitemuoviputkien käyttö painolastiputkistoissa on luokituslaitoksen hyväksynnän salliessa suotavaa vähäisen huollon tarpeen takia (Häkkinen 1994, 36). Muoviputkien lämmönkestävyys pitää olla minimissään 80 °C, ja lämpötilan putkistossa vähintään 20 °C alempi kuin materiaalin lämpölujuusarvo. (Russian Maritime Register of Shipping 2015b, 119)

Muoviset putket toteutetaan usein kokoamalla ne standardiosista, ja liittämiseen käytetään erikoisliitoksia, liimaa tai kierteitä. Muoviputket ovat joustavampia ja helpommin muokattavissa kuin teräsputket, joiden soviteosat voidaan tehdä tarvittaessa laivassa.

### 3.3.2 Putkiston suojausmenetelmät

Putkiston ikään ja kestävyYTEEN vaikuttavat materiaalivalinnat ja putkien jatkokäsittely. Putkistojen käsittely valitaan putkistossa virtaavan aineen, materiaalin, mekaanisten rasitusten ja muiden putkistoa kuluttavien tekijöiden mukaan. Laivan putkistoissa merivesi on yleensä kuluttava tekijä.

Putkiston suojaus toteutetaan materiaalin valinnalla, sähköisellä tai kemiallisella suojausk-sella, pinnoitteilla tai mahdollisesti näiden yhdistelmillä. Kestävän putkistomateriaalin valinta on yleensä kalliimpaa kuin tavallisten rakenneterästen, jotka taas ovat alttiimpia rasituksille ja syöpymiselle ilman suojausta. Oikealla suojausmenetelmällä saadaan putkelle sileä pinta, joka vähentää eroosiota, ja pinnoitusmenetelmän valinta mahdollistaa halvemman putkimateriaalin käytön sekä ohuemmat seinämävahvuudet. (Häkkinen 1994, 26)

Yleisin merivesiputkissa käytetty pinnoite on sinkki, joka pehmeänä materiaalina muodostaa metallin pinnalle sitkeän pinnan. Sinkkipäällysteiset putket kuluvat normaaliolosuhteissa hitaasti yleisen korroosion vaikutuksesta. Virtausnopeuden kasvaessa ja ollessa jatkuvaa sinkki syöpyy kuitenkin nopeasti eikä sovellu putkistoihin, joissa pH-arvot ovat happamia tai voimakkaasti emäksisiä. Sinkkipinnoite voidaan toteuttaa kuuma-, sähkö-, tai ruiskusinkityksellä. Muita metallisia pinnoitteita ovat esimerkiksi alumiini, lyijy, kovakromaus, nikkeli ja titaani. (Häkkinen 1994, 27–28)

Kumi on kestävä pinnoite syövyttävissä ympäristöissä, mutta se on kuitenkin kallista, hankalasti toteutettavaa, eikä sitä usein käytetä alle 50 mm putkissa. Kumioinnilla voidaan saavuttaa kuitenkin pitkä käyttöikä, kunhan lämpötilat eivät nouse kovin korkeiksi. (Häkkinen 1994, 28–29)



Muovipinnoitteet ovat sileäpintaisia pinnoitteita, joiden kemiallinen kestävyys on hyvä. Muovilaadut jaetaan kerta- ja kestopuoveihin, joista käytännössä kestävämpiä ja halvimpia ovat kestopuovut. Muovien lämmönkestävyys korkeissa lämpötiloissa ja kovalla pakkasella on kuitenkin heikko, sekä lisäksi suojakerros on altis pienillekin naarmuille ja kulumisenkestävyys on huonompaa kuin kumilla. (Häkkinen 1994, 29)

Maalipinnoitteet ovat monipuolisia pinnoitemenetelmiä, joilla voidaan saavuttaa menetelmästä ja yhdistelmästä riippuen kestävyydeltään lähes sinkin veroiset ominaisuudet. Merivedessä parhaimman suojan antavat epoksimaalit, ja tärkeimmät laivaputkiston maalit ovat sinkkisilikaattimaalit, puhtaat epoksimaalit sekä epoksiterva, joka on pinnoitteista halvin menetelmä, mutta ei kuitenkaan sovi liuotin- ja elintarvikeputkistoihin tervan osittaisen liukenemisen vuoksi. (Häkkinen 1994, 29–30)

Putkistot, jotka eivät vaadi erillistä käsittelyä ovat yleensä kuparia, ruostumatonta terästä, muovia tai CuNiFer-putkea. Käsittämättömä rakenneterästä käytetään yleensä vain glykoli- ja vesilämmitysputkistoissa, pakoputkissa sekä ohjausputkurin hydraulikkaputkistoissa. Kohteesta riippuen putken puhtausvaatimukset tulee ottaa kuitenkin huomioon. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2011d)

Soviteputkien materiaalin ja käsittelyn valinta riippuu putkistosta, mihin ne liitetään. Materiaali ja käsittely valitaan samaksi kuin putket, mitkä ovat kosketuksessa soviteputken kanssa, joihin suunnittelija tekee valinnat järjestelmän suunnitteluvaiheessa määräysten, yleisten ohjeiden sekä telakan vakioratkaisuiden pohjalta.

### **3.3.3 Putkien liitokset**

Putkien liitokset jaetaan kiinteisiin ja purettaviin liitoksiin, joiden käyttö vaihtelee kohteiden, määräysten, toteutettavuuden ja telakalla vakioituneiden työtapojen mukaan.

#### **Kiinteät liitosmenetelmät**

Kiinteiksi liitosmenetelmiksi lasketaan hitsaus, juottaminen ja liimaus. Kiinteän liitoksen avaamiseksi tarvitaan yleensä järeämpää työkalua, sen purkamisessa poistuu materiaalia ja takaisinliittäminen vaatii materiaalin lisäystä.

Juottaminen soveltuu yleensä vain kuparille, erikoismessingille ja ohutseinäisille teräsputkille, eikä ole laivaputkistossa kovin merkityksellinen menetelmä. Liimaliitosten etuna on liitoksen keveys, eikä liimaus usein vaadi kohteen lämmittämistä. Laivaputkistoissa keveyden tuoma etu ei ole kuitenkaan merkityksellinen, sekä lisäksi selkeänä haittana on liimaliitosten vaatima pitkä kovettumisaika ennen painekokeen suorittamista. Kiinteistä liitosmenetelmistä hitsaus on selkeästi yleisin. (Häkkinen 1994, 64)

### **Purettavat liitokset**

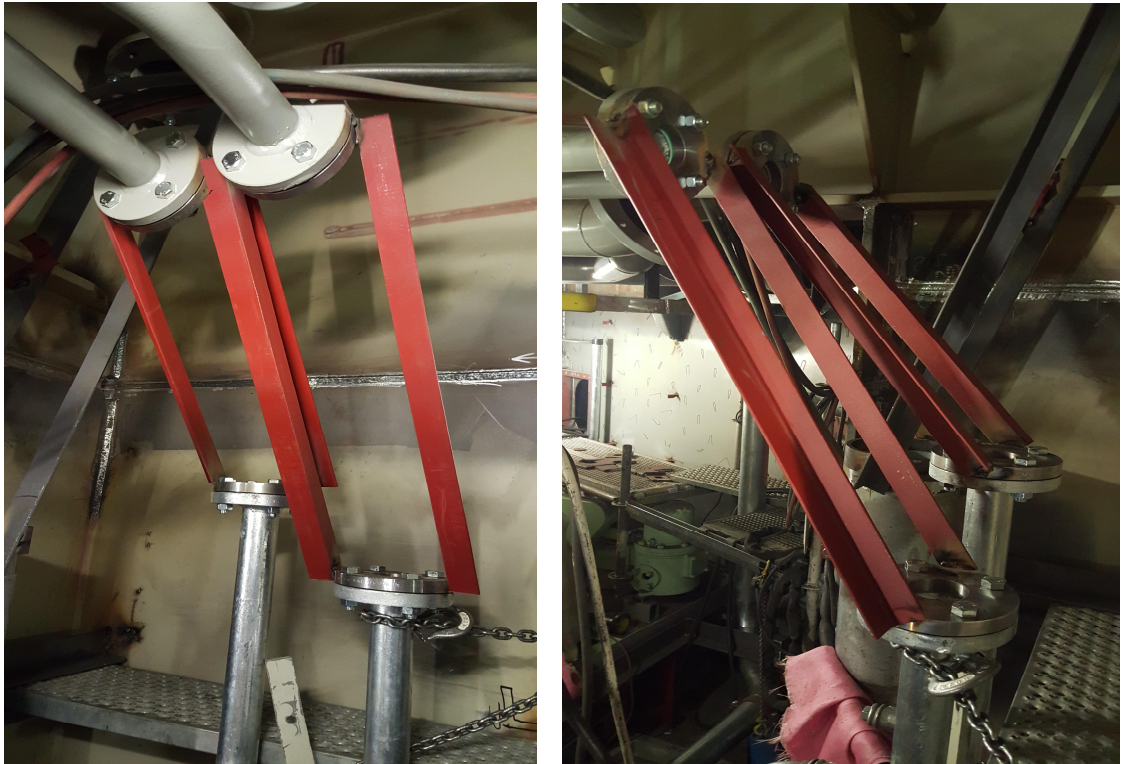
Laivan putkien liitoksista suurin osa on purettavia putkiston puhdistus- ja huoltotarpeen vuoksi. Putkilinjojen purettavat liitokset mahdollistavat niihin liitettyjen laitteiden huollon tai vaurioituneen putken osan vaihtamisen ja huoltamisen. (Häkkinen 1994, 64)

Kierreltioksien käyttö pienissä putkistoissa on yleistä halkaisijakokoon 40 mm asti, ja ne soveltuvat hyvin myös korkeille paineille. Pienhalkaisijaisessa putkessa kierreltioksen tai leikkaavan renkaan etuina ovat pieni ulkoläpimitta sekä mahdollisuus avata ja sulkea liitos moneen kertaan (Häkkinen 1994, 64). Luokituslaitoksen säännöissä kierreltiosten käyttö on rajoitettu eri putkiluokille määrättyyn halkaisijaraajaan asti. Lisäksi kierreltioksia ei tule käyttää järjestelmissä, jotka kuljettavat herkästi syttyvää tai korroosiota ja eroosiota edistävää ainetta. (Russian Maritime Register of Shipping 2015a, 18–19)

Erikoiskytkentöjen ja mekaanisten liitosten yleistyminen putkiliitoksissa johtuu niiden edullisuudesta joissain käyttökohteissa verrattuna perinteisiin liitosmenetelmiin ja niiden yhdistelmiin (Häkkinen 1994, 64). Toimittajia ja liitostyyppisiä on monia erilaisia suunniteltuina eri käyttökohtiin, jonka vuoksi erikoisliitosten käyttö vaatii aina luokituslaitoksen hyväksynnän. Suositusten mukaan esimerkiksi öljyjärjestelmissä mekaanisten liitosten määrä tulisi pitää minimissä ja suosia laippaliitoksia. (Russian Maritime Register of Shipping 2015a, 19–20)

Laipat ovat standardisoituja liitoksia, jotka kiinnitetään vastakappaleeseensa yleensä pulteilla ja kiristetään yhteen. Laippaliitokset ovat yleisimmät liitokset laivassa, ja niiden käyttökohteista ja liitostavoista löytyy luokituslaitosten määräyksistä selkeät ohjeet. Laippaliitoksen tiivistämiseen käytetään erillistä tiivistettä, jonka tulisi olla mahdollisimman ohut (Häkkinen 1994, 64).

Soviteputkissa yleisin liitostapa on myös laippaliitokset. Kahden laipan väliin on mahdollista tehdä hitsaamalla kulmarauodoista mallinne (KUVA 1) eli *jigi*, jonka avulla valmistetaan soviteputki oikeaan muotoonsa laippojen väliin. Liitosmenetelmä riippuu suunnittelijan valinnasta, ja yhtenä mahdollisuutena on myös käyttää holkkiliitosta, jossa putken pituuteen jää hieman enemmän toleranssia sovituksen kannalta. Holkkiliitosten (KUVA 2) ongelmana on kuitenkin korroosiovaara, jos kosteus pääsee putkien kosketuspintojen väliin.



KUVA 1. Mallinteet soviteputken valmistukseen (Kuva: Riku Honkaniemi 2016)



KUVA 2. Holkkiliitos (Kuva: Riku Honkaniemi 2016)

### 3.4 Putkien merkintä

AHS-työohje (2011c) koskien putkien ja putkilähetyserien merkitsemistä ohjeistaa putkien valmistajaa merkitsemään esivalmiste- ja soviteputket selkeillä, hyvin kiinnitetyillä merkinnöillä, jotka kestävät säätä ja ovat erotettavissa toisistaan niin, ettei sekaantumista pääse tapahtumaan ja putket pystytään asentamaan laivaan oikeassa järjestyksessä.

Työohjeessa on määritelty seuraavat tiedot, jotka kaikista esivalmiste- ja soviteputkista tulee löytyä:

1. Esivalmistepiirustusnumero (EP)  
Asennuspiirustusnumero (SP)
2. Osanumero (EP & SP)
3. Revisionumero uudelleensuunnitellusta putkesta (EP)
4. Systeemikoodit (EP & SP)
  - Systeeminumero
  - Linjanumero (jos sovitaan erikseen)
5. Maalaus- ja käsittelytunnus. (EP & SP)
6. Ohjaustiedot
  - Jakso (EP)
  - Vaihe (EP)
  - Laivan alue (EP & SP)
  - Toimituspaikka (SP)
  - Asentaja (SP)

(Arctech Helsinki Shipyard Oy 2011d)

Putkien merkintään käytetään tällä hetkellä metallista tunnistekilpeä (KUVA 3), joka kiinnitetään rautalangalla putkeen. Kilven tietojen perusteella putki osataan kohdistaa oikeaan paikkaan laivassa. Metallinen kilpi kohokuviolla kestää pintakäsittelyn ja monenlaiset sääolosuhteet. Tunnistekilpi on altis ainoastaan irtoamiselle, puristumiselle ja puutteelliselle merkinnälle eikä sisällä mahdollisuutta lukea tietoja automaattisesti. Putkipajalla on kilven tekemistä varten oma laitteensa, johon on mahdollista syöttää merkintätiedot käsin tai suoraan telakan materiaalinhallintajärjestelmä MARS:sta.



|        |                        |                          |
|--------|------------------------|--------------------------|
| • 2    | LAIVA                  | 502                      |
| • 00T2 | ALUE                   | 00T2                     |
| • 432  | PIIRUSTUS NRO          | D.502.00T2.227.432       |
| • 008  | PUTKINUMERO            | 008                      |
| • K15  | KOEPONNISTUS           | 15 <u>bar</u>            |
| • 302C | JAKSO                  | 302C                     |
| • EMO  | VAIHE                  | EMO                      |
| • 7213 | SYSTEEMI NRO           | 7213 PÖ TÄYTTÖ JA SIIRTO |
| • 4F   | SISÄPUOLINEN PUHDISTUS | 4                        |
|        | ULKOPUOLINEN MAALAUUS  | F                        |
| • L2   | REKISTERIN PUTKILUOKKA | 2                        |

KUVA 3. Tunnistekilpi putkille. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2011f)

### 3.5 Modulaarinen rakennustapa

Laivojen putkistot ilman varusteita ja laitteita voidaan jakaa karkeasti esivalmisteputkiin ja soviteputkiin. Esivalmiste on suunnittelussa projektille määritelty tuote, laite, laitekonaisuus, rakenteen tai systeemin osa, jolla on yksilöivä tunniste ja joka valmistetaan omalla- tai ulkopuolisella työpajalla. Esivalmisteputkissa pyritään työnsuunnittelun ja tuotannon helpottamiseksi muutamaaan perustyyppiin sekä noin 4–6 metrin pituuteen (Häkkinen 1994, 81). Ne valmistetaan suorasta putkimateriaalista, käyristä ja haaroista, jotka liitetään toisiinsa työpajalla hitsaamalla. Esivalmisteen valmistuksessa pyritään käyttämään mahdollisimman paljon kevytmekanisointua hitsausta putken pyörityslaitteen avulla sen sijaan, että putki on paikallaan ja hitsaaja kiertää sitä. (Hu & Mohamed 2012)

Käyttämällä esivalmisteputkia verrattuna laivassa tehtävään sovitukseseen saavutetaan seuraavia etuja ja säästöjä:

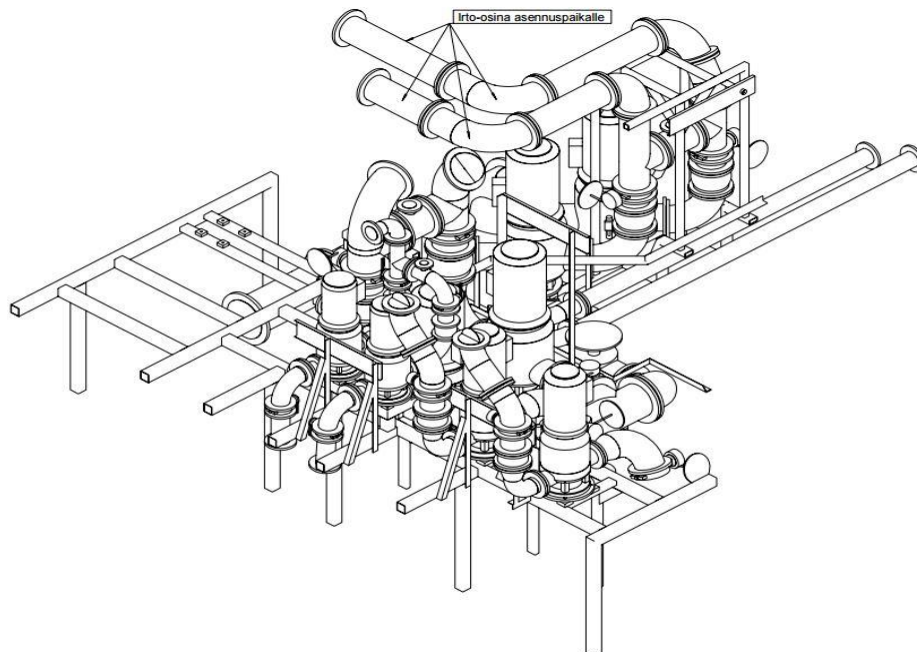
- Putkien teettäminen siihen erikoistuneilla yrityksillä madaltaa kustannuksia
- Esivalmisteen käyttäminen säästää aikaa valmistuksessa ja asennuksessa
- Testaukset voidaan suorittaa paremmissa olosuhteissa
- Hitsauslaatu paranee kontrolloidussa ympäristössä

- Turvallisempi valmistusympäristö
- Vähemmän epäpuhtauksia ja häiriötekijöitä vaikuttamassa valmistukseen

(Wermac 2016)

Modulaarinen rakennustapa on laajalti levinnyt maailman telakoilla. Sillä pyritään tehokkaampaan tuotantoon ja kehittämään tuotannon suuntaa standardisoiduksi ja yhtenäistetyksi, jossa moduulit valmistetaan ja kokoonpannaan pajaolosuhteissa. Modulaarisen rakennustavan tavoitteena on lisätä esivalmistusastetta, vähentää kustannuksia ja lyhentää rakennusaikaa laivaprojekteissa sitomatta pääomaa uusiin työkaluihin tai tuotantotiloihin. Moduulien ja muiden mahdollisten varusteiden asennus laivaan pyritään tekemään mahdollisimman pitkälle lohkovarusteluvaiheessa ennen lohkojen liittämistä toisiinsa. (Rubesa, Fafandjel & Kolic 2011, 55–62)

Modulaarisia kokonaisuuksia on nimeltään monia, mutta laivan rakennuksessa tärkeimmät kohteet putkisovitteita ajatellen ovat putkipaketit, koneikot, moduulit, rakenneyksiköt (KUVA 4) sekä lohkot, joiden rajojen putkiliitokset on usein jätettävä sovitealueiksi.



KUVA 4. Rakenneyksikkö (Arctech Helsinki Shipyard Oy - projektit 2015)

### 3.5.1 Putkipaketit

Arctechin putkipakettien suunnitteluohjeen mukaan putkistojen suunnittelun toteutus perustuu putkiratoihin, jotka on jaettu putkipaketteihin (KUVA 5) ja sovitealueisiin. Suunnittelussa pyritään siihen, että putkipaketin sisään jäisivät putkiston mutkikkaammat muodot, kuten haarat, risteyskohdat, taivutukset ja korokkeet niin, että sovitealueelle on helppo pääsy. Venttiileiden ja muiden varusteiden asentamista putkipaketteihin taas tulisi välttää, mutta jos muuta mahdollisuutta ei ole, niin virtaussuunta on muistettava merkitä piirustukseen. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2011e)

Putkirataverkon suunnittelun ja putkilinjakoodauksen perussuunnitteluvaiheen jälkeen tehdään jako putkipakettien ja sovitealueiden sijoituksista putkipakettikarttaan. Karttaa piirrettäessä on otettava huomioon putkipakettien maksimitat, jotka pyritään mitoittamaan niin, että putkipaketti on tuotannollisesti helppo toteuttaa sekä sopiva kuljetettavaksi ja nostettavaksi laivaan. Putkien sijoittelussa paketteihin huomioidaan huoltotoimenpiteille riittävä tila, jossa tärkeimpiin putkiin tulee päästä helpoiten käsiksi. Myös yksittäisen putken vaihtaminen täytyy olla mahdollista, ja putkien kiinnittämisessä pakettiin täytyy ottaa huomioon lämpölaajeneminen niin, että putket pääsevät liikkumaan, mutta putkiston tukevuus on kuitenkin varmistettu tärinän estämiseksi. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2011e)

Putkipaketin sovitealueen suunnittelussa on otettava huomioon putkien asennusjärjestys ja purkaminen laippojen sijoittelussa. Putkien sijoittelussa on jätettävä vähintään 100 mm väli laivan runkoon ja sovitealueille vähintään 800 mm mittainen suora pituus ja helppo pääsy. Putkien päihin sovitealueella laitetaan vastalaipat soviteputkea varten valmiiksi ja laippojen väliin suojalevy putkien likaantumisen estämiseksi. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2011e)



KUVA 5. Esivalmistettu putkipaketti. (Kuva: Riku Honkaniemi 2016)

### 3.5.2 Sovitealueet ja -putket

Häkkisen (1994, 83) mukaan soviteputket ovat tavoitepituudeltaan n. 0,7–1,0 m ja mahdollisimman suorina. Suorat lyhyet putket tekevät niiden valmistamisesta helpompaa, kun monimutkaiset taivutukset tai paloista valmistaminen jäävät pois. Putkien asennusta ajatellen lähes suorien putkien kanssa tulee kuitenkin enemmän ongelmia kuin hieman taivutettujen. Lähes suora putki on mahdollista asentaa paikalleen väärään kohtaan tai kiertää väärään asentoon putkipakettien liitoskohdissa. Jos putki on taivutettu, on todennäköisempää, että sitä ei asenneta väärin ja on vain yksi asento, jossa putki sopii paikalleen. Jos putkipakettien liitoksen kaikki putket ovat kuitenkin lähes suorina ja samanmittaisia, täytyy ne olla hyvin merkitty, jotta putket asennetaan oikeaan asentoon oikealle paikalleen.

Arctechin työohjeessa (2011a) kumioitavien ja epoksi-päällysteisten putkien valmistukselle kehoitetaan välttämään suorien soviteputkien käyttöä asennusvaikeuksien takia. Kumioituissa putkissa asennusvaikeudet korostuvat, kun väliin ei tule erillistä tiivistettä, vaan putken pään ylittävä kumiointi hoitaa tiivistyksen. Taivutettu soviteputki varmistaa paremmin kumioituneen pinnan ehjänä pysymisen, kun asennuskulma vastalaippoihin on hieman vino eikä putken pään ylittävään kumiointiin kohdistu leikkaavia voimia. Ehtona on asennusjärjestyksen miettiminen tarkkaan, jos kuitenkin päädytään suoriin soviteputkiin.



### 3.5.3 Lohkoraja-alueen varustelu

Laivan rungonkoonnin yhteydessä kahden yhteen liitettävän lohkon rajaa kutsutaan lohkorajaksi, ja rajaa ympäröivää aluetta molemmissa lohkoissa kutsutaan lohkoraja-alueeksi. Häkkisen (1993, 235) mukaan lohkoraja-alueelle on jätettävä tilaa koontihitsaukselle vähintään 400 mm.

Lohkojen mittatarkkuuteen perustuvan kokemuksen mukaan AHS:n työohjeissa on määritely tarkemmin lohkoraja-alueiden mitat lohkorajasta eri varustelutyypeille. Yleisesti lohkoraja-alueen asennuksille ja hitsaamiselle on jätettävä puoli metriä tilaa varusteosien sijoituksessa. Varustelut lohkorajojen yli suoritetaan lohkojen yhdistämisen jälkeen, ja tämä pitää ottaa huomioon suunnittelussa. Lohkoraja-alueella maalatun alueen raja on 800 mm lohkon reunasta (KUVA 6). Eristys täytyy lopettaa maalatun osuuden päälle, ja maalattu alue toimii rajana myös koolauksille ja piikityksille. Kuvassa kuusi näkyy myös putkenpää lohkorajalla. Putken liitos jätetään 300 mm päähän lohkorajasta, ja soviteosan pituudeksi lohkojen väliin jää silloin noin 600 mm. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2014)



KUVA 6. Putken päät lohkorajalla. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2014)

## 4 SOVITEPUTKIEN MÄÄRÄT JA KOKOJAKAUMAT

Modulaariseen rakennustapaan ja esivalmisteasteen nostamiseen pyrittäessä on hyvä tarkastella kirjallisuudesta ja telakan omista arkistoista löytyviä lukutietoja soviteputkista eri mittareilla. Tämä helpottaa hahmottamaan soviteputkiin käytettyjä kustannuksia ja määrittää perusteet niiden tuotannon kehittämisen tutkimiselle. Häkkisen (1993, 140) mukaan putkiston työtuntien kustannukset koko laivan osuudesta jäänmurtaajilla on n. 12 % ja materiaalikustannuksista 5 %. Matkustajalaivoissa ne ovat samaa luokkaa. Rubesa ym. (2011) arvioivat laivassa suoritettun kokoonpanon keskimäärin 3–5 kertaa kalliimmaksi kuin hyvissä olosuhteissa suoritettun kokoamisen, mikä tekee soviteputkien mittaussuunnitelmien kehittämisestä mielenkiintoisen tutkimuskohteen tehokkuuden parantamiseksi.

### 4.1 Kirjallisuus

Taulukkoon 2 on listattuna merivesijäähdytysjärjestelmän valmistukseen käytettyjen tuntien määrät työvaiheittain. Soviteputkien osuus vastaa noin viidesosaa koko järjestelmän kokoamisesta. Tämä tekee soviteputkien asennuksesta toiseksi eniten aikaa vievän osan alueen järjestelmän toimintakuntoon asettamisessa jäähdytyskoneikon kokoonpanon jälkeen.

TAULUKKO 2. Merivesijäähdytysjärjestelmän valmistuksen työtuntijakauma (Häkkinen 1994, 93, muokattu)

| työvaihe                          | työaika (h) | % kokonaisajasta |
|-----------------------------------|-------------|------------------|
| Putkien esivalmistus              | 50          | 7,87 %           |
| Putkiradan kokoonpano             | 7           | 1,10 %           |
| Koneikon alustan valmistus        | 120         | 18,90 %          |
| Koneikon koonpano                 | 150         | 23,62 %          |
| Käynnistimen asennus              | 15          | 2,36 %           |
| Koneikon asennus laivaan          | 15          | 2,36 %           |
| Putkiradan asennus laivaan        | 8           | 1,26 %           |
| <b>Putkiasennus, soviteputket</b> | <b>120</b>  | <b>18,90 %</b>   |
| Sähkösyötön kytkentä              | 10          | 1,57 %           |
| Instrumentointikytkennät          | 60          | 9,45 %           |
| Koeponnistus, koekäyttö           | 80          | 12,60 %          |
| <b>Yhteensä</b>                   | <b>635</b>  | <b>100,00 %</b>  |

Taulukossa kolme on jaoteltuna soviteputkien ja esivalmisteputkien määrät koko laivassa alueittain kappalemäärän ja pituuksien perusteella. Taulukon tiedot soviteputkien ja esivalmisteputkien suhteesta ovat jo vanhentuneita, sillä vuonna 1994 esivalmisteaste ei ole ollut vielä kovin korkea. Taulukon kolme suuri LVI-laitehuoneen putkien kappalemäärä selittyy ilmastointikanavilla ja -putkilla sekä kansien 5–6 putkistot ovat matkustajatiloja, joiden putkistot koostuvat pääosin ilmastointi- ja muoviputkista, joihin tämän työn lopputuloksilla ei ole suurta merkitystä.

TAULUKKO 3. Esivalmiste- ja soviteputkien pituudet ja kpl-määrät alueittain Itämeren risteilijä aluksessa (Häkkinen 1994, 88, mukailten)

|                   | Kappaletta (kpl) |             |           | Metriä (m)       |             |          |
|-------------------|------------------|-------------|-----------|------------------|-------------|----------|
|                   | Esivalmiste (EP) | Sovite (SP) | YHT (kpl) | Esivalmiste (EP) | Sovite (SP) | YHT (m)  |
| LVI-laitehuone    | 498              | 398         | 896       | 1404             | 1523        | 2927     |
| 5. ja 6. kansi    | 179              | 351         | 530       | 257              | 1477        | 1734     |
| Pääkonehuone      | 353              | 514         | 867       | 912              | 1230        | 2142     |
| Perä 1&2 kansi    | 38               | 184         | 222       | 107              | 826         | 933      |
| Apukonehuone      | 261              | 251         | 512       | 710              | 603         | 1313     |
| Separaattorihuone | 190              | 210         | 400       | 836              | 486         | 1322     |
| Konekuilu         | 202              | 128         | 330       | 866              | 443         | 1309     |
| Autokansi         | 257              | 72          | 329       | 629              | 380         | 1009     |
| 10. kansi         | 127              | 110         | 237       | 352              | 338         | 690      |
| Pumppuhuone       | 203              | 157         | 360       | 500              | 287         | 787      |
| 7. ja 8. kansi    | 74               | 68          | 142       | 189              | 273         | 462      |
| Muut kuilut       | 75               | 55          | 130       | 189              | 246         | 435      |
| 3. ja 4. kansi    | 200              | 152         | 352       | 422              | 243         | 665      |
| Akselitunneli     | 64               | 128         | 192       | 179              | 215         | 394      |
| Kaksoispohja      | 90               | 60          | 150       | 118              | 152         | 270      |
| 9. Kansi          | 40               | 52          | 92        | 120              | 151         | 271      |
| Perä, ulkokansi   | 31               | 21          | 52        | 80               | 48          | 128      |
| Koneikot yhteensä | 84               | 34          | 118       | 95               | 41          | 136      |
|                   | 2966             | 2945        | 5911      | 7965             | 8962        | 16927    |
|                   | 50,18 %          | 49,82 %     | 100,00 %  | 47,06 %          | 52,94 %     | 100,00 % |

## 4.2 Telakalla

Kustannusten ja työllistävyyden mittaamiseksi tutkittiin tilastollista tietoa aiempien laivaprojektien osaluetteloiden perusteella soviteputkien kokonaismääristä ja ominaisuuksista. Sopivat referenssilait (KUVA 7) ovat vuonna 2012 luovutettu Vitus Bering ja tämän sisaralus Aleksey Chirikov, joka luovutettiin huhtikuussa 2013. Kyseiset laivat ovat suunnitellulta rakenteeltaan samanlaiset, joten soviteputkien määrien vertailu antoi arvokasta tietoa laivojen osalta niin eroavaisuuksista kuin yhtäläisyyksistä. Työnumeroilla 506 ja 507 valmistetut laivat vastaavat myös profiililtaan, tehoiltaan ja mitoiltaan telakan tulevia laivaprojekteja 511–514, joten tietojen hyödyntäminen seuraavien projektien osalta on myös mahdollista. Lisäksi kaikkien näiden laivojen tilaajana on sama asiakas, venäläinen varustamo Sovcomflot. (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2016b)



KUVA 7. Vasemmalla NB506 ja oikealla NB512-514 (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2016b)

Suoria tilastoja ei soviteputkista löydy, eivätkä ne ole yksittäisenä perusteena seurannalle laivaprojektissa. Myöskään soviteputkien kokojakaumasta ei löydy erillisiä laivakohtaisia taulukoita, eikä taulukon kaksi jakauma risteilijän putkista alueittain ole täysin paikkaansa pitävä jäänmurtajan kohdalla. Taulukoiden 4–8 luomiseksi käytettiin apuna Business Intelligence -ohjelmaa, sekä MARS-materiaalinhallintajärjestelmää. MARS:sta saatiin osaluettelotiedot laivoista 506 ja 507, jotka tuotiin Excel-tilaukseen BI:n avulla. Osaluettelot sisälsivät laivojen kaikki MARS:iin kirjatut osat, joista soviteputkiin liittyvät osat voitiin erotella nimikkeessä käytetyn SP-tunnisteen avulla. Osaluettelon rivejä oli molemmissa laivoissa n. 30 000, joten mahdollisia nimikkeiden merkintävirheitä ei otettu huomioon vaan oletuksena oli, että osat oli merkitty MARS:n osaluettelon täyttöohjeen (Arctech Helsinki Shipyard Oy 2011b) mukaan. Tarkastelun kohteena ovat soviteputkien

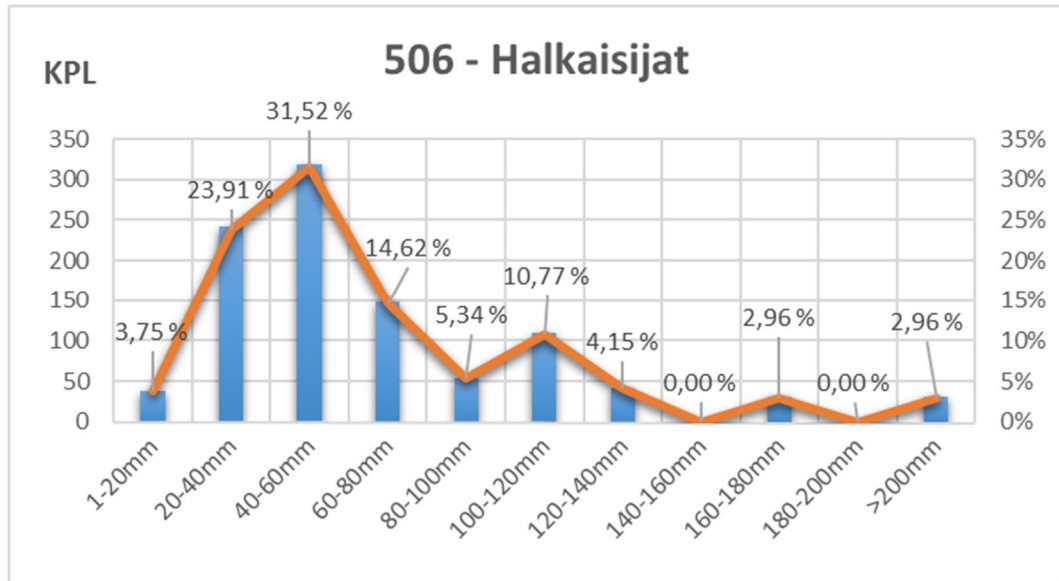
pituudet, halkaisijat ja seinämävahvuudet. Osaluettelosta selvisi myös putkiluokkiin, massoihin ja jatkokäsittelyyn liittyviä tietoja.

#### **4.2.1 Soviteputkien halkaisijat**

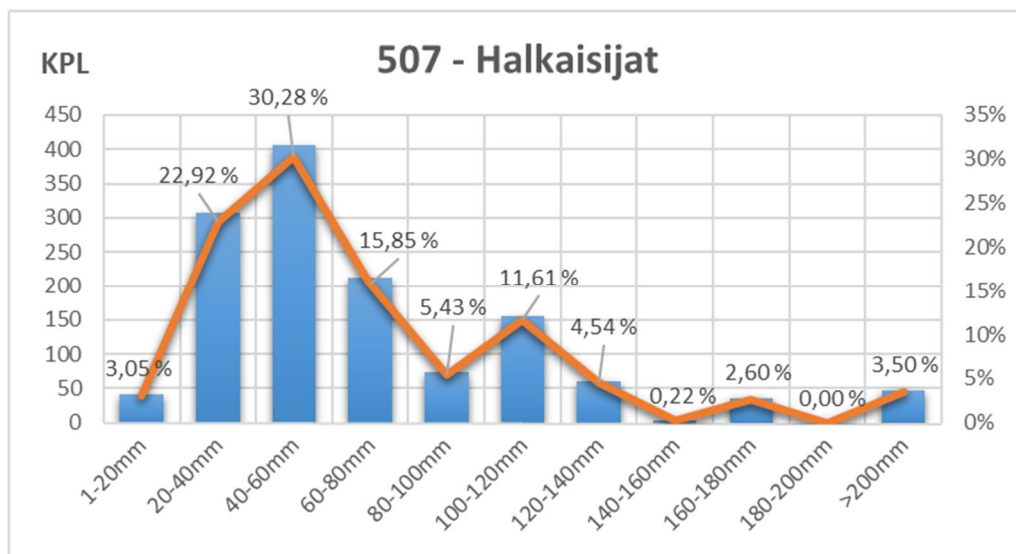
Taulukoiden tiedoista eniten kiinnostaa putkien halkaisijajakauma. Mittaustapahtuman kannalta halkaisijalla ei ole suurta merkitystä, mutta halkaisijan kasvaessa myös putken massa kasvaa ja käsittely vaikeutuu. Valmistusteknisesti ajatellen esimerkiksi putken-taivuttimen suorituskykyyn vaikuttaa olennaisesti putken halkaisijoiden koko, joka määrittää myös laitteen lisäosien tarpeen halkaisijakokojen vaihteluvälistä.

Taulukoista neljä ja viisi käy ilmi, että n. 70 % soviteputkien halkaisijoista ovat välillä 20–80 mm. Käytännössä tämä tarkoittaa nimellimitoiltaan putkikokoja DN20, DN25, DN32, DN40, DN50 ja DN65. Osaluettelon nimikkeiden tiedoissa oli käytetty merkitsemistapana nimellismittaa sekä todellista halkaisijaa. Suurimmasta osasta rivejä löytyi todellinen mitta, ja jos molemmat tiedot löytyivät riviltä, valittiin halkaisijamitaksi todellinen halkaisija. Noin 10 % riveistä sisälsi ainoastaan nimellimitan, jolloin halkaisijamitaksi valittiin se. Alle 50 mm halkaisijaltaan olevien putkien osuus soviteissa johtuu pääasiassa suunnitteluvaiheessa tehdyistä ratkaisuista jättää pienimmät putket tehtäväksi putkikaavion mukaan. Pienten putkien suunnittelu esivalmistettavaksi ei ole kannattavaa mahdollisten muutosten tai yhteensopivuusongelmien vuoksi, ja ne jätetään asentajan muokattavaksi paikan päällä. Alle DN50 putket ovat vielä kohtuullisen helppoja taivuttaa ja muotoilla paikan päällä sopiviksi.

TAULUKKO 4. Laivan 506 soviteputkien halkaisijat



TAULUKKO 5. Laivan 507 soviteputkien halkaisijat



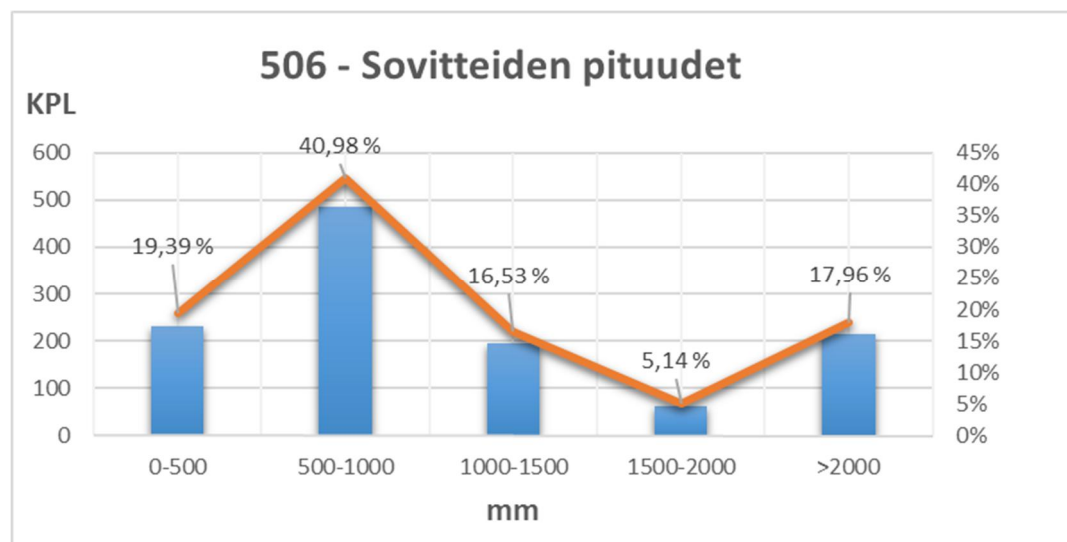
#### 4.2.2 Soviteputkien pituudet

Taulukoista kuusi ja seitsemän nähdään laivojen 506 ja 507 soviteputkien pituusjakaumat. Selkeästi suurin osa soviteputkista osuu 0,5–1,0 m välille, mikä täsmää myös Häkkisen (1994, 81) suosituspituuksien kanssa. Putkien pituuksissa kiinnostaa eniten kokoluokka, eikä niinkään putkien tarkat pituudet.

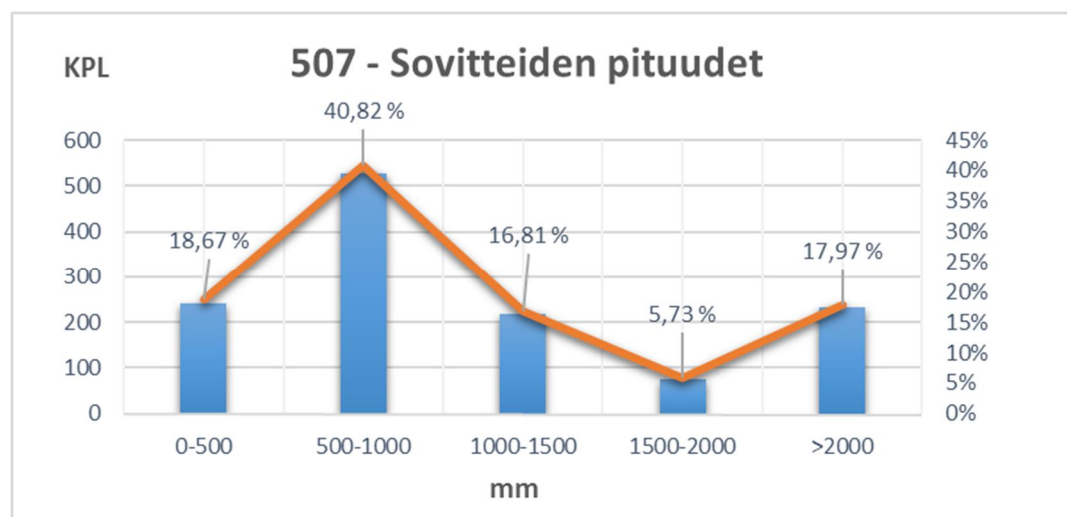
Yli kahden metrin putkien osuus taulukossa näyttää suurelta, ja laivaan tulee myös jonkin verran yli kahden metrin soviteputkia, vaikka niitä pyritäänkin välttämään. Suurin osa taulukoiden kuusi ja seitsemän yli kahden metrin putkista on kuitenkin pienihalkaisijaista pneumatiikkaputkea, joka on merkitty osaluetteloon sovitteeksi putkikela kerrallaan. Työt on tehty katkaisemalla kelasta sopiva pätkä ja taivutettu putket laivan asennuskohdeissa kerralla koko järjestelmään, eikä osia ole sen tarkemmin eritelty tai tarvinnut tilata erikseen.

Pidempien soviteputkien kanssa ongelmaksi tulee niiden liikuttelu, mittaaminen ja jigin tekeminen, koska äärimitat ja paino kasvavat pituuden myötä. 3D-mittauksen kannalta suuri pituus voi aiheuttaa vaikeuksia mittauksen suorittamisessa ja tarkkuudessa, jos mittaava etäisyys ylittää laitteen kattaman alueen.

TAULUKKO 6. Laivan 506 soviteputkien pituusjakaumat



TAULUKKO 7. Laivan 507 soviteputkien pituusjakaumat



### 4.2.3 Soviteputkien muita ominaisuuksia osa-luettelon perusteella

Taulukossa kahdeksan on jaoteltu soviteputkien seinämävahvuudet osaluetteloiden tietojen mukaan. Seinämävahvuuksien kokoluokat voidaan päätellä hyvin pitkälti myös halkaisijatietojen perusteella, sillä seinämävahvuus yleensä kasvaa halkaisijoiden kasvaessa.

TAULUKKO 8. Soviteputkien seinämävahvuuksien osuudet laivoissa 506 ja 507

| Laiva | 506 |                       | 507 |                       |
|-------|-----|-----------------------|-----|-----------------------|
|       | mm  | osuus                 | mm  | osuus                 |
| 1–2   | 71  | 7,40 %                | 41  | 3,72 %                |
| 2–3   | 33  | 3,44 %                | 74  | 6,71 %                |
| 3–4   | 470 | <b><u>48,96 %</u></b> | 513 | <b><u>46,51 %</u></b> |
| 4–5   | 347 | <b><u>36,15 %</u></b> | 421 | <b><u>38,17 %</u></b> |
| >5    | 39  | 4,06 %                | 54  | 4,90 %                |

Osaluettelon tiedoista selvisi myös, että suurin osa putkista oli kolmosluokan putkea ja ykkösluokan putkea löytyi soviteputkista vain laivan 507 ruoripotkurien korkeapaineputkista. Pintakäsittelyyn menevistä putkista suurin osa maalattiin tai sinkittiin. Käsittelemättömiä putkia oli hyvin vähän. Esivalmisteaste molemmissa laivoissa oli noin 75 %. Putkien painotiedot vaihtelivat hyvin paljon, ja datan sekavuuden ja vaihtelevuuden takia ei tiedoista pystynyt tekemään tarkempia johtopäätöksiä.

Osaluettelosta löytyneet tiedot ja taulukkojen 4–8 jakaumat helpottavat hahmottamaan soviteputkien kuormitusta alueittain laivassa sekä mahdollistavat vertailun tulevien laivojen kanssa. Nämä tiedot auttavat myös hahmottamaan putkien kokoluokkia, jotka määrällisesti työllistävät eniten soviteputkien valmistuksessa. Laitteistohankintoja suunniteltaessa putkien mitat, materiaalit ja massat määrittävät laitteiden vähimmäisulottuvuudet ja suorituskykyvaatimukset.



## 5 3D-MITTAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN PUTKITUOTANNOSSA

Tämän työn tehtävänä on tutkia mahdollisuuksia soviteputkien mittaamiseksi nykyaikaisin menetelmin. Tavoitteena on löytää tehokas ja luotettava menetelmä soviteputkien mittojen määrittämiseen ja tuoda työtä pois laivasta saavuttaen nopeampi, luotettavampi ja kustannustehokkaampi ratkaisu soviteputkien tekemiseen joko telakan omalla putkipajalla tai alihankkijalla.

### 5.1 Koordinaattimittaus

Koordinaattien mittauksella tarkoitetaan pisteiden määrittämistä avaruudessa tai joissain tapauksissa tasossa. Koordinaattien mittaukseen on käytössä monia eri tapoja ja laitteistoja, jotka on tarkoitettu hyvin erilaisille mittauskohteille ja -alueille. Koordinaattien mittausmenetelmiä ovat esimerkiksi GPS, fotogrammetria, holografia, koordinaattimittaus, konenäkö, röntgenmittaus ja laserkeilaus. Menetelmiä hyödyntävät eri tarkoituksiin sovelletut mittalaitteet, kuten laserkeilaimet, täkymetrit, koordinaattimittauskoneet ja kamerajärjestelmät. (Tikka 2009, 16)

### 5.2 Koordinaattimittauskone

Koordinaattimittauskone (KMK) on tarkoitettu kappaleiden eri ominaisuuksien määrittämiseen kolmiulotteisessa (3D) XYZ-koordinaatistossa. Sillä voidaan mitata muun muassa tasomaisuutta, yhdensuuntaisuutta, suoruutta, ympyrämäisyyttä, avaruus- ja tasokulmia sekä referenssipintojen ja -pisteiden etäisyyksiä. KMK:lla on mahdollista määrittää monimutkaisten geometrinen kappaleiden muotoja ja mittoja esimerkiksi tutkimuksen, valmistuksen tai vianmäärittämisen tarpeisiin. (Kalibrointipalvelu 2014)

Viime vuosina 3D-mittauslaitteistojen hinnat ovat tulleet selvästi alaspäin, samalla kun niihin olennaisesti kuuluvien lisäosien, kuten tietokoneiden ja näyttöjen, suorituskyky sekä graafiset ominaisuudet ovat parantuneet. Nämä tekijät ja Internet-yhteyden nopeutuminen mahdollistavat monimutkaisten 3D-mallien hyödyntämisen laajemmalla skaalalla nykypäivänä. (Bernardini & Rushmeier 2002, 149)

Koordinaattimittauskoneet ovat rakenteeltaan erilaisia eri käyttötarkoituksiin. Yleisimmät mallit ovat kiinteäjalustaiset portaali-, konsoli- ja siltatyypiset laitteet, joissa kappale viedään mitattavaksi koneelle sekä kannettavat mallit, jotka voidaan kuljettaa mitattavan kohteen luokse. (Giniotis & Hope 2014, 130)

### 5.3 Mittaustapahtuma ja toimintaperiaate

Mitattavan kohteen määrittäminen tapahtuu yksittäisten pisteiden koordinaattien tallentamisella tai kappaleen pinnan jatkuvalla jäljentämisellä eli skannauksella. Skannauksessa mittojen määrittäminen tapahtuu KMK:n laserkeilaimen seurattessa kappaleen muotoja ja samalla tallentamalla jäljitetyt pisteet tietokoneelle takaisinheijastamalla. Koordinaattien pistemittauksessa valitaan harkiten kappaleesta pisteet, joista sen muodot on mahdollista mallintaa. Tietokoneen ohjelma muodostaa pisteistä tai skannatusta alueesta kappaleen kokonaismitat, muodon, reikien halkaisijat ja sijainnit sekä korjaustiedot pisteistä ja etäisyyksistä verraten niitä kappaleen 3D-suunnittelumalliin. (Giniotis & Hope 2014, 131)

Koordinaattimittauskoneiden eri toimintaperiaatteista laseria ja strukturoitua valkoista valoa käytetään yhä enemmän monenlaisessa valmistuksessa, kehityksen suuntautuessa optisia mittauslaitteita kohden. Mekaanisia kosketuspäitä on käytetty jo vuosikymmeniä menestyksekkäästi, mutta optiset mittalaitteet ovat viimeisen kymmenen vuoden aikana tehneet läpimurtoaan. (Lukacs, Lockhart & Facello 2012)

Mittaustavat (KUVA 8) voidaan jaotella toimintaperiaatteensa mukaan kosketukselliseen ja kosketuksettomaan. Koskettavassa menetelmässä mekaanista tuntoelintä kuljetetaan pintaa pitkin tai valitaan tietyt pisteet, joita kosketetaan mitattavasta kappaleesta. Menetelmä ei ole herkkä kappaleen optisille ominaisuuksille, mutta sillä on hankala mitata pehmeitä materiaaleja, kuten silikoneja tai kumia. Suurien tietomäärien ja monimutkaisten kappaleiden mittaamisessa menetelmä on usein myös hidas. Kosketuksettomassa menetelmässä käytetään säteilyä mittauksen suorittamiseen, ja menetelmät ovat usein nopeampia eivätkä vaikuta kappaleeseen. Hankaluuksia voi ilmaantua läpinäkyvien tai vahvasti heijastavien materiaalien mittaamisessa, kuten lasin, peilipintojen sekä kiillotetun metallin kanssa. (Phasevision 2016a)



KUVA 8. Mittausmenetelmien jaottelu (Phasevision 2016b, muokattu)

#### 5.4 Mittausepävarmuus

Mittalaitetta valittaessa tulee huomioida, että käytettävä laite on mahdollisimman sopiva kohteen ominaisuudet huomioon ottaen. Ennen mittauksen aloitusta täytyy ottaa huomioon mitä mahdollisia rajoituksia mittaukseen liittyy. Epävarmuustekijöitä aiheuttavat esimerkiksi mittausympäristö, mittauskohde, mittalaite, käyttäjästä riippuvat tekijät sekä lasku- ja mittausvirheet. Mittalaitteen valmistaja määrittää laitteelle tarkkuuden, jonka sisällä mittaukset ovat toistettavissa normaaliolosuhteissa mitattaessa (Hemminki ym. 2011). Tyypillisen koordinaattimittauskoneen mittatarkkuus on mikrometrejä eli metrin miljoonasosia, ja mittauksen tarkkuus riippuu mittausvolyymista. Kannettavien koordinaattimittauskoneiden tarkkuudet yltävät mittausetäisyydestä ja mittalaitetyypistä riippuen yleensä vähintään millin kymmenesosiin.

Suurimmat haasteet laivassa mitattaessa aiheutuvat ympäristötekijöistä. Mittaustuloksiin vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi lämpötila, ilmankosteus, ilmanpaine sekä sähkö- ja magneettikentät (Hemminki ym. 2011). Lisäksi laivassa huomioitavia mittaukseen vaikuttavia tekijöitä ovat kaasu ja pöly, työstä aiheutuva rakenteiden tärinä sekä optisiin mittauslaitteisiin vaikuttava valon määrä.

## 5.5 3D-teknologian hyödyntäminen laivateollisuudessa

Vaikka laivateollisuus on täynnä päteviä ja idearikkaita ammattilaisia, uusien teknologioiden omaksuminen on usein hitaampaa verrattuna esimerkiksi voimalaitos-, lentokone- ja autoteollisuuteen. Tarve uusien teknologioiden hyödyntämiselle on olemassa etenkin korkean palkkatason maissa. Joskus viiveen syynä uusien tekniikoiden omaksumiseen laivanrakennuksessa ovat tekniset esteet, mutta usein kyse on myös laivateollisuuden rakenteesta ja kulttuurista. (Morais, Waldie & Larkins 2011, 1)

Laivanrakennuksessa hyödynnetään fotogrammetriaa ja lasermittausta laivan lohkorajojen mittaukseen, suurien kappaleiden määrittämiseen sekä ikkunoiden ja rungon elementtien paikoittamiseen. Lisäksi sitä hyödynnetään esimerkiksi suurien hitsattujen kappaleiden kutistuman ja muodonmuutoksien määrittämiseen. (Boehm, Kyle, Luhmann & Robson 2013, 614–615)

Tarkat mittaukset helpottavat osien yhteensopivuutta ja laadun varmistuksen tärkeyttä ei voida tarpeeksi korostaa, mutta ehkäpä suurin hyöty koordinaattimittauksesta saavutetaan korjaus- ja uudelleenrakennusprojekteissa. Vanhoista laivoista ei välttämättä löydy kunnollista dokumentaatiota, jonka avulla laivan korvausosat voitaisiin valmistaa, suunnitella laivaan parannuksia tai muuttamaan koko laivan käyttötarkoitusta. Tässä opinnäytetyössä tutkittavien valmistamattomien ja mitoittamattomien putkien määrittämiseen ei tutkimustietoa löytynyt, mutta tietoa vanhojen olemassa olevien putkien takaisinmallinnuksesta löytyi useistakin eri lähteistä.

Vaikka laivanrakennuksessa löytyy runsaasti kohteita 3D-mittauksen hyödyntämiselle, ovat syyt kuitenkin selvillä miksi näin ei tapahdu niin nopeasti kuin lentokone-, auto- ja offshore-teollisuudessa. Laivanrakennuksen kustannusten painottuminen enemmän materiaaliin sekä työvoimaan suunnittelun sijasta sekä sarjakokojen määrä verrattuna muihin aloihin ovat eräät rajoittavat tekijät kehityksen omaksumisessa. Morais'n ym. (2011, 12) mukaan suurimmat syyt siihen, että laivateollisuudessa otetaan uudet teknologiat hitaasti käyttöön, ovat seuraavat:

1. Laivateollisuuden kulttuuri ja rakenne
2. Laivanrakennuksen monimutkaisuus

3. Ei investointipanostuksia CAD -ohjelmien toimittajien kehitykseen laivateollisuuden näkökulmasta verrattuna auto-, lentokone-, ja offshore-teollisuuteen
4. Laivanrakennuksen kustannukset keskittyvät enemmän materiaaliin ja työvoimaan kuin suunnitteluun

### **Mittalaitetekokeilu Helsingin telakalla**

Helsingin telakalla on 2000-luvun alussa kokeiltu soviteputkien mittaukseen kehitettyä mittalaitetta ja räätälöityä ohjelmaa. Mittalaite on YIT Industria Oy:n kehittämä ES-järjestelmä (KUVA 9), jolla voidaan määrittää soviteputkien laippojen asennot ja muoto putkenpäiden välille. Tavoitteena on ollut määrittää mitat sähköisesti, vähentää jigien käytöstä aiheutuvaa turhaa työtä ja siten nopeuttaa soviteputkien valmistuskiertoa.

Mittalaite on itse rakennettu, siinä puolipallon muotoiset nastat kiinnitetään avoimien putkien päihin, joista mittatiedot voidaan tallentaa ohjelmaan mittauspistoolin avulla. Mittauspistoolissa on vaijeri, joka kiinnitetään nastaan ja jolla vedetään suora linja toisen putken pään mittanastoihin. Dimensiot tallennetaan ohjelmaan painamalla nappia langattomasta ohjaimesta. Mittalaitteella päästään 0,1 mm tarkkuuteen ja valmistuskierroksi mittauksesta asennukseen annetaan 3–7 päivää riippuen määrästä ja putkien vaatimasta pintakäsittelystä. Mittalaitteen käytön eduiksi on mainittu asennustyön helpottaminen vähentämällä tarvikkeiden ja rautojen haalausta asennuskohteeseen, työturvallisuuden parantuminen melun, käryn, materiaalin, palokuormien ja tulitöiden vähentyessä kohteessa sekä mittalaitteen hyödyntäminen kohteissa, joissa tulee välttää hitsausta. Putki valmistetaan tehdasolosuhteissa, jonka jälkeen valmis putki viedään asennettavaksi, ja näin saavutetaan kokonaisedullinen tulos. Mittauksia suorittaneella yrityksellä oli soviteputkien valmistukseen tarkoitettu aarporasta kustomoitu laite, jolla valmistettavan putken laipat saatiin kohdistettua toisiinsa nähden oikeisiin asentoihin. (YIT Industria 2003, Tanskanen 2016)



KUVA 9. Soviteputken mittausta telakalla ES-järjestelmällä (Kuva: Marko Tanskanen 2002)

## 6 NYKYTILASELVITYS – SOVITEPUTKIEN TUOTANTO TELAKALLA

Pajatoiminta telakoilla on yleensä erikoistuneen osaston keskittymistä tietyn tuoteryhmän valmistamiseksi laivan asennusosaston tarpeisiin. Putkityöpajan tehtävänä on vastata laivan asennusosastoilta tulevien soviteputkien valmistuksesta. Suurin osa putkiston esivalmisteista ostetaan alihankkijoilta telakan ulkopuolelta, mutta putkipajalla voidaan valmistaa myös esivalmisteputkia telakan koneikkovalmistuksen tarpeisiin. (Räisänen 1997, 39-8)

### 6.1 Soviteputken tuotantoprosessi

2000-luvun alussa testatun soviteputkille tarkoitetun mittausjärjestelmän testauksen tavoitteena oli mahdollistaa putken tuottaminen ulkoisella toimijalla suoraan mallin mukaan tai mitatuista koordinaattipisteistä. Käytetty menetelmä oli toimiva, mutta putkien tuotanto oli hidasta, laitteiden valmistelu toimintakuntoon työlästä ja mittaukset keskeytivät muiden toimijoiden työt alueella. Mitatuista putkista tilattiin koe-erä, mutta toimitusaika venyi kohtuuttoman pitkäksi sekä lisäksi putket oli merkitty huonosti telakalle vihdoinkin saavuttuaan. Menetelmä ei saanut suosiota asentajien keskuudessa hitauden ja vaativuutensa takia, ja paluu vanhaan käsin tehtävään menetelmään tapahtui hyvin nopeasti. (Hentelä 2016)

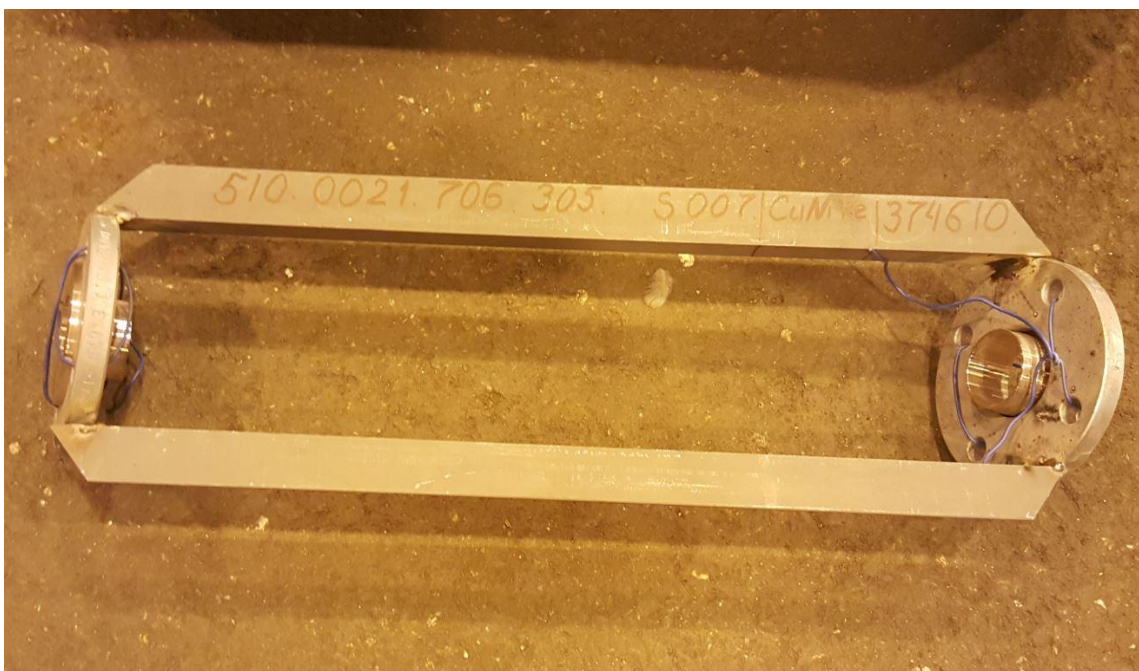
### Sovitteiden teettäminen putkipajalla

Soviteputken tekeminen pajalla koostuu seuraavista vaiheista:

1. Laivan aluevarustelun asentaja määrittää putken mitat ja tekee jiggin (KUVA 10) tai piirroksen putken mitoista
2. Avoimien putkien päiden välille laitetaan rautalanka ja tunniste ("prikka") sovitteiden tilaamisesta
3. Mittapiirustus tai jigi toimitetaan putkipajalle
4. Pajalla on käytössä tilauslomake soviteputkille, joka tulisi täyttää kohde- ja materiaalitiedoilla mittapiirustuksen kanssa, vaikka asentaja toimittaisikin myös jiggin pajalle.
5. Pajan asentajat tekevät putken työjonon mukaan tilauslomakkeen perusteella

6. Putki merkitään tunnustekilvellä, joka tehdään pajan stanssaus koneella WTAG-ohjelman avulla.
7. Tuotettu putki ohjataan:
  - a. Valmiiden putkien pinnoon
  - b. Jatkokäsiteltävien putkien pinnoon
8. Asentajat noutavat valmiit putket pajalta ja sovittavat paikalleen
9. Mahdolliset uudelleenmuokkaukset tehdään pajalla tai laivan asentajien toimesta, jos valmistus on epäonnistunut tai mitat eivät täsmänneet

Käsiteltävien putkien maalaukset on mahdollista tehdä telakalla, mutta sinkitykset ja kumioinnit toteutetaan telakan ulkopuolisella toimijalla. Kun putket saapuvat käsittelystä takaisin telakalle, toimitetaan ne pajalle valmiiden putkien pinnoon. (Halinen 2016)



KUVA 10. Jigi soviteputken valmistamiseen. (Kuva: Riku Honkaniemi 2016)

### **Sovitteen tekeminen laivassa**

Asentaja selvittää asennuskohteessa tarvittavat tiedot soviteputkesta ja tekee päätöksen, miten se parhaiten pystytään toteuttamaan. Asentajan harkinnan varassa on, viekö hän soviteputken tilauksen putkipajalle vai onko kannattavampaa tehdä se itse. Pienten halkaisijoiden putket, kuten pneumatiikkaputket, voidaan helposti taivuttaa paikan päällä ja



liittää osaksi järjestelmää. Suuret ja vaikeammat putket, jotka vaativat järeämpiä työkaluja, hitsaamista sekä pintakäsittelyä, on helpompi tehdä paremmissa olosuhteissa laivan ulkopuolella. Asentaja voi tehdä tarvittavan sovitteen paloista tai tehdä piirustuksen ja käydä taivuttamassa sen itse varustelulaiturin vieressä sijaitsevalla verstaalla. Paloista tehty soviteputki (KUVA 11) hitsataan usein silloittamalla palat toisiinsa kiinni muutamasta pisteestä ja kannetaan verstaalle viimeistelyhitsattavaksi. Pintakäsittely suoritetaan joka tapauksessa laivan ulkopuolella, joten vaikka asentaja tekisi sovitteen valmiiksi laivassa, käsittelyä vaativat sovitteet joudutaan kantamaan silti ulkopuolelle. (Hentelä 2016)



KUVA 11. Useasta palasesta silloitettu soviteputki (Kuva: Juha-Pekka Keltanen 2016)

## 6.2 Putkipajan rakenne

Putkipaja sijaitsee telakan alueella varustelulaiturin läheisyydessä. Samassa rakennuksessa toimivat myös laivan varustelua palvelevat ohutlevy- ja hitsausosastot. Putkipajalla työskentelee säännöllisesti kolme putkiasentajaa ja kolme hitsaajaa, joiden toiminnasta vastaa yksi työnjohtaja. Alihankkijat toimivat myös samassa hallissa heille osoitetuilla alueilla. Telakan alueella on useampia pajoja eri tarpeisiin, ja varustelulaiturin välittömässä läheisyydessä on myös versta, jota käytetään valmistettaessa vähemmän vaativia sovitteita, joihin ei tarvita isoa putkentaivutinta tai muuta erityislaitetta.

### 6.3 Telakalta löytyvät laitteistot ja työkalut soviteputkien valmistukseen

Telakan putkipajan laitekanta on jo hyvin ikääntynyt. Putkipajalta löytyvät laitteet putken taivuttamiseen ja katkaisuun, mutta viimeisin investointi on 1990-luvun alkupuolelta. Käytössä on kolme putkentaivutinta, joista yksi ei ole tällä hetkellä toimintakuntoinen. CNC-putkentaivutinta ei pajalta löydy, mutta käytössä olevat koneet ovat ohjelmoitavissa. Putkien sahaukseen on käytössä kaksi automaattisaha, yksi manuaalinen katkaisusaha sekä lisäksi pyörösahojä. (Halinen 2016)

Hitsauksen helpottamiseksi pajalle on hankittu pari vuotta sitten pyörityspöytä, johon pystytään ohjelmoimaan parametrit eri putkityypeille. Pyörityksen nopeutta pystytään säätämään eri putken halkaisijoille. Putkipajan asentajien mukaan eräs nuorempi hitsaaja oli joskus ohjelmoinut parametrit eri putkityypeille, mutta pyörityspöydän käyttö kokeneempien asentajien keskuudessa ei ole saavuttanut suurta suosiota. Pyörityspöytä parantaa ergonomiaa ja tehokkaasti käytettynä tekee hitsausprosessista luotettavamman ja nopeamman, mutta asentajan kokemuksesta riippuen nopeudessa ei koeta saavutettavan suurta hyötyä, ja käytön opettelu vaatisi myös oman aikansa. Myös orbitaalihitsauslaite löytyy, mutta sen käyttö ei ole suosiossa, vaan useimmiten hitsaukset suoritetaan paikallaan hitsaamalla. (Pitkänen 2016)

Telakan runko-osastolle on hankittu vuonna 2013 tarkat 3D-mittausjärjestelmät runko-  
muotojen määrittämiseen ja tarkastamiseen. Laitteistossa on muun muassa 3D-skanneri, jolla on mahdollista saada lohkojen tarkat muodot ja mittasuhteet 3D-malliksi. Hidas mittaustapahtuma ja yksityiskohtainen 3D-pistepilven tuottaminen ei yleensä kuitenkaan ole tarpeellista muuta kuin erityistapauksissa. Sen sijaan lohkon mittojen ja etäisyyksien määrittämiseen käytetään useimmiten laserseurainta, jonka mittaustietoja voidaan verrata teoreettiseen malliin. Laitteiden tarkkuudet riippuvat paljon mittausetäisyydestä, ilman lämpötilasta ja pölystä, mutta runkomittauksissa parin millimetrin toleranssit ovat sallittuja. Nämä laitteet eivät kuitenkaan tule oikeuksiinsa ahtaissa varustelutiloissa, joissa vaaditaan laitteelta ketteryyttä, toimintavarmuutta ja ulottuvuutta esimerkiksi turkkitasolla ja ahtaissa konetiloissa. (Saukas 2016)

## 6.4 Ongelmat ja pullonkaulat

Soviteputken mittauksessa ja valmistuksessa nyky menetelmällä tulee tiettyjä ongelmia vastaan. Ongelmat liittyvät mittojen tarkkuuteen, käsin tehtäviin työmenetelmiin, puutteellisiin merkintöihin, dokumentointiin tai materiaaleihin sekä yhteistyöhön eri osapuolten välillä.

### **Soviteputken valmistus- ja mitoitusongelmat**

Soviteputkien mittaaminen ja valmistaminen ovat pitkälti käsityötä, ja prosessin automatisointi on lähes mahdotonta. Putkien valmistusta ei voida ennakoida hyvissä ajoin ilman tarkkoja mittoja, jotka riippuvat monesta eri osatekijästä. Jos kaikki osat olisivat mittatarkkoja ja soviteputket voitaisiin tehdä esivalmisteina, tulisi rakentamisesta kohtuuttoman kallista eikä silti päästäisiin täydellisiin tuloksiin.

Laippojen väliin tehtävä jigi ei vaadi erillistä putken mitoittamista, mutta edellyttää, että jigi on tukevasti rakennettu. Jigin teko vaatii kuitenkin ylimääräistä työtä, joka ei ole jaloistavaa, sekä lisäksi jigin kantaminen putkipajalle on työlästä. Joskus jigit voivat olla raskaita, ja kantaminen esimerkiksi laivan konehuoneesta pitkän matkan päähän putkipajalle on kuluttavaa. Etenkin suurihalkaisijaisten putkien jigeistä tulee painavia ja hankalasti liikuteltavia. Niiden laivasta ulos siirtämiseen tarvitaan nosturin apua ja pajalle kuljettamiseksi trukkia. Putken muotojen ja mittojen määrittäminen ilman jigia perinteisin menetelmin kulmamitoilla ja linjaraudoilla on aikaa vievää sekä sisältää mahdollisuuden virhemitoitukselle. Mittatietojen täytyy olla selkeästi ilmaistuina, jotta putkipajan asentaja pystyy valmistamaan putken sopivaksi. Ahtaisiin paikkoihin vaadittavien soviteputkien mitoittaminen on haastavaa sekä ergonomisesti kuluttavaa.

Virheet soviteputkien valmistuksessa johtuvat yleensä liian lyhyeksi jääneestä pituusmitasta, jolloin putkea ei pystytä asentamaan tiiviisti. Tämä aiheuttaa aina uudelleentyöstöä, joka vaatii joko uuden putken valmistamisen tai putken jatkamisen. Myös kulmapoikkeamat laippojen linjauksessa ovat mahdollisia, ja laipan reikien kohdistaminen vasta-laippaan vaatii lähes täydellistä yhteensopivuutta pulttien kiinnittämiseksi ja liitoksen tiiveyden varmistamiseksi.

Soviteputken tekeminen paloista ja palojen kiinnittäminen silloittamalla vie paljon aikaa sekä vaatii myös hitsarin, jolla on riittävät hitsausluokat putken kokoon hitsaamiseksi

laadukkaasti. Hitsaus on yleensä hitaampaa kuin putken taivuttaminen, ja jos hitsauksen lämpövaikutuksesta aiheutuvia muodonmuutoksia ei huomioida, ei putki välttämättä sovi paikalleen.

### **Pajan työkuorma**

Putkipajan pääpaino ei ole soviteputkien valmistamisessa, vaan siellä valmistetaan tällä hetkellä ensisijaisesti esivalmisteputkia laivan koneikkovarustelulle. Putkipajan työnjohtajan Halisen mukaan työkuorma pajalla on kasvanut viime vuosien aikana pajan työntekijöiden määrän pysyessä ennallaan. Putkipajalla on oma työjono, jonka mukaan työt priorisoidaan, ja soviteputkitilaukset lisätään työjonoon tilausten saapumisjärjestyksessä. Jos putkipaja on kuormitettuna esivalmisteen osalta ja varusteltavassa laivassa on sovityö suurimmillaan, saattaa myös pajan toimitusaika olla pitkä. Laivan aluevarustelun asentajat saattavat myös kuormittaa pajaa turhaan esimerkiksi pienillä soviteilla, jotka he voisivat valmistaa myös itse. (Halinen 2016)

### **Materiaalipuutteet**

Putkipajan asentajan ottaessa laivan aluevarustelun asentajan toimittaman jigin tai mittapiirustuksen pajalle, voi putken valmistaminen pysähtyä materiaalipuutteisiin. Putkien varusteiden ja kokojen vaihtelut vaativat riittävät materiaalivarastot, jotta eri soviteputkikokojen valmistaminen on mahdollista. Kun materiaaleja käytetään muihinkin putkiin ja samalla materiaalivarastoon ei haluta sitoa paljon pääomaa, viivästyy soviteputken toimittaminen asennuskohteeseen. Myös keskeneräinen tuotanto kasvaa ja vie tilaa pajan lattialta, jos esimerkiksi soviteputki on ehditty tekemään varmistamatta että myös sopivat laipat löytyvät varastosta.

### **Putkien merkintä**

Soviteputkien merkinnät ovat tuottaneet ongelmia soviteen kohteen tunnistuksessa, ja tämä on aiheuttanut sekä pajalla että laivassa sekaannuksia putkien kohdistamisessa. Laivan asentaja, joka tekee putken tilauksen tai lähettää sen pintakäsittelyyn, on vastuussa putken merkinnästä ja riittävästä tiedoista putken kohdistamiseksi. Putkien merkintäohjetta tulisi noudattaa, mutta käytännössä se ei aina toteudu. Joskus asentaja saattaa merkitä putken omalla nimellään, jolloin kukaan muu ei pysty päättämään putken kohtalosta mitään. Merkitsemättömien soviteputkien kohdistaminen vie yleensä kohtuuttoman paljon aikaa, ja putket jäävät helposti ylijäämäputkiksi (KUVA 12) pajan lattialle.



KUVA 12. Ylijäämäputkia pajalla (Kuva: Riku Honkaniemi 2016)

### **Alihankkijat**

Laivan alueiden ja putkien valmistuksen teettäminen alihankkijoilla sisältää omat haasteensa myös soviteputkien tekemisessä. Laivaprojekteissa alihankkijoita on monista eri yrityksistä, ja vastuualueet menevät joskus päällekkäin tai aluevarustelun alihankkija saattaa vaihtua kesken projektin. Jos alihankkijoiden, telakan omien asentajien ja työnjohdon välillä ei ole kunnollista kommunikointia tai töiden koordinointi ja yhteiset käytännöt ovat puutteelliset, voi sekaannuksia syntyä.

Alihankkijan vaihtuessa kesken varustelun toiseen tekijään tai telakan omaan asentajiin on mahdollista, että alihankkijan asentajat ovat tehneet soviteputken valmiiksi tai tilanneet sen omalta pajaltaan, mutta merkintä kohteessa on ollut puutteellista tai sitä ei ole ollut lainkaan. Jos vielä kommunikointi osapuolten välillä on heikkoa, voi soviteputkitilanteesta helposti koitua turhaa työtä. Jos alihankkija on esimerkiksi tehnyt tai tilannut putken, mutta ei merkitse kohdetta kunnolla, seuraava asentaja ei välttämättä tiedä soviteen tilauksesta ja tilaa tai tekee itse uuden. Toinen mahdollisuus on, että alihankkija on käyttänyt putkessaan omaa tai puutteellista merkitsemistapaa, eikä sovitteita pystytä enää kohdistamaan. Nämä tilanteet johtavat tuplatuotantoon, mistä kertyy lisää ylijäämäputkia lojumaan pajalle tai laivaan ilman käyttökohdetta.

## 7 MENETELMÄT SOVITEPUTKIEK MTTAUKSEN KEHITTÄMISEKSI

Tässä kappaleessa selvitetään, kuinka 3D-mittausta ja uusia tekniikoita voitaisiin hyödyntää soviteputken mittaamisessa ja onko se kannattavaa verrattuna vanhaan systeemiin. Tavoitteena on löytää tuotantoa tehostavia keinoja ja tutkia mahdollisuutta jigien korvaamiselle luomalla putkesta 3D-malli, jonka perusteella soviteputki voitaisiin valmistaa.

### 7.1 Menetelmien vertailu

3D-mittausmenetelmää verrattaessa nykyisin käytössä oleviin soviteputkien muoto- ja mittatietojen keräysmenetelmiin halutaan tarkastella nykyisen menetelmän heikkouksia sekä kuinka 3D-mittauksella tai muulla keinolla ongelmat voitaisiin ratkaista. Lisäksi täytyy huomioida 3D-mittauksen hyödyntämisestä aiheutuvat mahdolliset ongelmat ja verrata niiden merkityksellisyyttä nykyisen menetelmän ongelmiin.

Menetelmien vertailuun sopiva työkalu on SWOT-analyysi, jonka tarkoitus on luoda ideoita ja kartoittaa uusia mahdollisuuksia nykytilanteeseen ja tarkasteltavaan kohteeseen nähden. SWOT-analyysillä voidaan arvioida ominaisuuksia, joissa määritetään tarkasteltavalle kohteelle vahvuudet (S, *Strengths*), heikkoudet (W, *Weaknesses*), mahdollisuudet (O, *Opportunities*) sekä uhat (T, *Threats*). Taulukossa yhdeksän on SWOT-analyysi 3D-mittauksen hyödyntämisestä ja Taulukossa kymmenen nykyisin käytettyjen menetelmien ominaisuuksista, joihin kuuluu jigien käyttö ja mittatietojen käsin määrittäminen. Kummassakin tapauksessa on otettu huomioon myös valmistettavuuteen liittyvät asiat.

Nykyiselle menetelmälle on hankala keksiä kehitysmahdollisuuksia tulevaisuudessa muuten kuin parantamalla ja yhtenäistämällä prosessia tarkemmaksi. Menetelmän heikkoudet ja vahvuudet ovat hyvin tiedossa, mutta uhkana ovat samojen virheiden toistaminen myös jatkossa, ergonomian puutteen aiheuttama työntekijöiden työkyvyn laskeminen sekä ammattitaitoisten asentajien väheneminen. 3D-mittaus on vastaus useimpiin nykyisen menetelmän heikkouksiin ja sisältää monia mahdollisuuksia myös muuhun käyttöön. Joidenkin uhkien eliminoiminen tai toteaminen heikkouksiksi voidaan toteuttaa ainoastaan käytännön kokeella, jonka perusteella voidaan arvioida kuinka merkityksellinen investointi olisi hyötyyn nähden.

TAULUKKO 9. SWOT-analyysi. 3D-mittauksen hyödyntäminen

|   |  |
|---|--|
| <p><b>VAHVUUDET</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Ergonomia ja työturvallisuus</li> <li>+ Vähentää edestakaista kulke-<br/>mista ja kantamista</li> <li>+ poistaa inhimilliset virheet</li> <li>+ Dokumentointi paranee</li> <li>+ Uudelleentyöstö vähenee</li> </ul>  | <p><b>HEIKKOUEDET</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Laitteen herkkyys epäpuhtauk-<br/>sille ja rajulle käsittelylle</li> <li>- Hinta</li> <li>- Vaatii koulutuksen</li> </ul>   |
| <p><b>MAHDOLLISUUDET</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Nopeus, tehtäessä monta putkea<br/>kerralla</li> <li>+ Laajat hyödyntämismahdolli-<br/>suudet myös muihin käyttökoh-<br/>teisiin</li> <li>+ Suurien putkien mallintaminen</li> <li>+ Hitsien määrän vähentäminen</li> <li>+ Ahtaat paikat</li> <li>+ Telakan ulkopuolisen tuotan-<br/>non hyödyntäminen</li> <li>+ Tarkastus 3D-mallia vasten en-<br/>nen sovittamista</li> </ul> | <p><b>UHAT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Valmistettavuus ei välttämättä<br/>nopeampaa</li> <li>- Tiedonsiirto/tiedostomuodot</li> <li>- Ei mahdu ahtaimpiin paikkoi-<br/>hin</li> <li>- Ei osata hyödyntää oikein/ei<br/>omaksuta työtavaksi</li> <li>- Ei merkittävästi nopeampi ko-<br/>konaisuudessa</li> <li>- Käytön opettelu</li> <li>- Ei mahdollisuutta hyödyntää<br/>sarjatuotannossa riittävän usein</li> </ul> |

TAULUKKO 10. SWOT-analyysi. Nykyiset menetelmät

|  |  |
|--|--|
| <p><b>VAHVUUDET</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Hinta. Ei uusia laitteistoinves-<br/>tointeja</li> <li>+ Vahva osaaminen kokeneilla<br/>asentajilla</li> <li>+ Yksittäisen putken teko nopeaa</li> <li>+ Ei vaadi mitoittamista jigiiä käy-<br/>tettäessä.</li> </ul> | <p><b>HEIKKOUEDET</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ergonomia. Hankalat paikat ja<br/>raskaat kappaleet</li> <li>- Inhimillisen virheen mahdolli-<br/>suus</li> <li>- Materiaalihukka</li> <li>- Pintakäsittelyä vaativat lähetet-<br/>tävä ulos joka tapauksessa</li> <li>- Vahvasti riippuvainen asenta-<br/>jien ammattitaidosta</li> <li>- Jigiiä ei voida käyttää tiloissa<br/>missä ei saa hitsata</li> </ul> |
| <p><b>MAHDOLLISUUDET</b></p>   | <p><b>UHAT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ammattitaitoisten henkilöiden<br/>katoaminen</li> <li>- Uudelleentyöstö ja mittavirheet</li> </ul>   |

## 7.2 Nykytilaselvityksessä määritetyt ominaisuudet mittalaitteen vaatimuksista

Nykytilaselvityksessä havaitut kapeikot ja tuotannon toiveet soviteputkien valmistuksen kehittämiseksi määrittävät perusvaatimukset laitteistohankinnalle. Laitteen tulee täyttää vähintään seuraavat ominaisuudet:

- Helppokäyttöisyys
  - Omien asentajien kouluttaminen mahdollista
- Keveys ja helppo siirrettävyys
  - Täytyy mahtua esim. miesluukusta
- Operointi haastavassa ympäristössä
  - Alhaiset ja vaihtelevat lämpötilat
  - Öljy, vesi, pöly, kaasut, lika
  - Ahtaat tilat
- Toiminta offline -tilassa
- Asetusaika ei saa ylittää jig-in valmistusaikaa
- Ulottuvuus vähintään 2 metriä pituussuunnassa
- Soveltuvuus eri materiaaleille ja liitostyypeille
- Mallinnettujen osien nimeäminen telakan ohjeiden mukaan
- Akun kesto vähintään yhden työpäivän verran

Toivottuja lisäominaisuuksia laitteelle ovat:

- Mittausraporttien luonti
- Ohjelmiston yhteensopivuus telakalla jo oleviin ohjelmistoihin
- Hyödyntäminen myös muihin kohteisiin ja laajennettavuus
- Mittapäiden vaihto kosketuspästä skannaavaan
- Materiaali- ja standardiosakirjaston luonti ohjelmaan.



### 7.3 Mittalaitteen hyödyntäminen käytännössä

3D-mittausta käytettäessä voidaan poistaa turhia ja työllistäviä työvaiheita soviteputken mittojen määrittämisessä. Käsinnon mittauksen epävarmuus ja kömpelyys tekevät mittaamisesta hidasta ja tarkkaa työtä, kun taas 3D-mittalaitteella määritellään pinnat koskettamalla tai skannaamalla laippojen asennot toisiinsa nähden. Mittalaitteiden toleranssit ovat riittävän korkeita toteuttamaan putken mitat millin kymmenesosien toleransseilla. Tämä vähentää uudelleentyöstöä, kulma- ja mittavirheitä, sekä soviteputken valmistuksen jälkeen mittojen täsmävyys voidaan vielä tarkistaa mittaamalla valmistettu putki ja vertaamalla sitä 3D-malliin.

Kosketuksettomalla mittauksella voidaan putkien suunnitteluun tarkoitetulla ohjelmistolla reitittää putki skannatun pistepilven avulla mittatarkaksi 3D-malliksi. Kosketuksetonta mittaustapaa käytettäessä joudutaan mittaustietoa kuitenkin käsittelemään suunnittelijan toimesta ja mahdollisesti muokkaamaan putken tietoja erikseen suunnitteluohjelman avulla. Kosketukseton mittaus on monipuolinen mittaustapa, jota pystytään käyttämään helposti muihinkin kohteisiin kuin putkien mitoittamiseen. Nopeuden ollessa kriittinen tekijä pyritään mittaustapahtuma suorittamaan mahdollisimman tehokkaasti ja minimoimaan tietojen jälkikäsitelyaika, jossa kosketuksellinen mittaus tarjoaa enemmän etuja skannaukseen nähden. Koskettavalla mittakärjellä on pehmeiden ja joustavien materiaalien mittaus heikompaa kuin skannaamalla, mutta putkien mitoituksessa tätä ongelmaa ei kuitenkaan tule vastaan. Mittaustietojen ja putken valmistukseen käytettävien tiedostomuotojen täytyy olla yhteensopivia tai käytetyn ohjelmiston tulee sisältää mahdollisuus muuntaa tiedosto helposti toiseen muotoon.

Raskaiden ja suurikokoisten putkien mitoittamisessa mittatietojen hyödyntäminen tulee oikeuksiinsa, koska suurihalkaisijaisen putken jigistä tulee painava ja hankalasti käsiteltävä, mikä tekee valmiin putken paikalleen sovittamisesta työllistävästä ilman varmuutta sen oikeista mitoista. Mahdollisuus verrata valmistettua putkea laivassa otettuihin mittatietoihin poistaa raskaiden putkien turhan liikuttelun pajan ja laivan välillä sekä varmistaa, että putki on varmasti asennusvalmis kun se kuljetetaan laivaan.

Ahtaat paikat ovat suuri haaste laivan konetiloissa, joissa mittaaminen on hankalaa niin käsin kuin mittalaitteellakin. 3D-mittalaitteiden potentiaali on vaihdettavissa mittakärjissä, joihin saa erimittaisia ja -paksuisia varsia. Parhaimmassa tapauksessa ohuella ja ulottuvalla mittakärjellä pystytään soviteputken mitat määrittämään helposti ahtaissakin paikoissa. Skannaavalla mittauksella ongelmaksi muodostuu kameran rajattu näkökenttä. Skannausta pystytään hyödyntämään vain paikoissa, jonne säteet yltävät ja kamera vastaanottaa takaisinheijastuksen. Kun putki on mitoitettu paikan päällä ja tiedot rekisteröity ohjelmaan, voi joillain ohjelmilla lähettää putken mitat suoraan putkentaivuttimelle esimerkiksi alihankkijalle tai putkipajalle.

3D-mittauksen edut korostuvat, jos mitattavia putkia on kerralla useita. Mitä enemmän mitattavia kohteita on, sitä suurempi hyöty saavutetaan verrattuna perinteisiin menetelmiin. Monen putken mitoittaminen kerralla vierekkäin mahdollistaa myös putkien törmäyksen eliminoinnin mallin avulla. Sovitealueiden ennakointi yhtenäisesti ei kuitenkaan aina ole aina mahdollista. Jos soviteputkia joudutaan tekemään yksittäin, eivät mittalaitteen tuomat hyödyt pääse esille ja jigi on luultavasti toimivampi menetelmä, olettaen että putken valmistus onnistuu ensimmäisellä kerralla riittävien toleranssien mukaan. Kuvassa kolmetoista näkyy putkipakettien välinen sovitealue, johon asennetaan monta soviteputkea vierekkäin.



KUVA 13. Putkipakettien välinen sovitealue (Kuva: Riku Honkaniemi 2016)

Telakan ulkopuolisen alihankkijan hyödyntäminen prosessissa tuo soviteputkituotantoon merkittäviä etuja, mutta se sisältää myös riskejä, ja hyödyn irti saamiseksi se vaatii huolellista prosessin ja yhteistyön kontrollointia. Telakalla on jo hyvät olemassa olevat toimitajasuhteet esivalmisteiden osalta useasta eri paikasta monen vuoden ajalta. Näiden putkitoimittajien kanssa on ehditty tutustumaan toimintaan molemmin puolin sekä käsittelemään ongelmia, joita putkien valmistuksessa ja toimituksessa on ilmennyt. Esivalmisteputkiin erikoistuneilla putkipajoilla on laaja laitteistovalikoima ja kehittyneet menetelmät myös soviteputkien tehokkaaksi toteuttamiseksi.

Asioita, joihin erityisesti tulee kiinnittää huomiota alihankinnan hyödyntämisessä ja toimittajan valinnassa, ovat:

- Toimitusaika ja -varmuus
  - Työjonon pituus
  - Materiaalin saatavuus
- Putkilähetysten merkitseminen
- Mittatoleranssit ja laatuvaatimukset
- Tiedonkulun varmistaminen telakan, suunnittelun ja putkipajan välillä
- Yhtenäiset toimintatavat
- Hinta

Jos tiedonkulku saadaan yritysten välillä esteettömäksi ja kattavaksi, on yhteistyön menestyksenkäs hyödyntäminen mahdollista. Jigiä käytettäessä on ehdottomasti järkevintä käyttää omaa pajaa, koska fyysisen jigin toimitus vie aikaa ja putki jouduttaisiin joka tapauksessa valmistamaan käsin tai ottamaan erikseen mittatiedot jigin perusteella. 3D-mittauksella hankitut tiedot voidaan helposti toimittaa minne vaan, kunhan huolehditaan dokumentoinnin riittävydestä.

Ulkopuolisen putkipajan hyödyntäminen soviteputkissa keventää oman pajan työkuormaa. Merkittävää hyötyä tuo myös jos toimittajalla itsellään on putken jatkokäsittelyvalmiudet esimerkiksi sinkitykselle ja maalaukselle. Kriittisenä tekijänä ulkopuolista toimittajaa käytettäessä on toimitusaika. Jos yhteistyökumppani on kuormitettu tai heillä ei ole tarvittavaa materiaalia varastossa, soviteputken toimitusaika venyy väistämättä. Täytyy voida olla varmoja siitä, että toimittaja pääsee käsiksi tilattujen putkien materiaaleihin nopeasti, sekä huomioida heidän työjononsa pituus tai mahdollisuus priorisoida sovite-

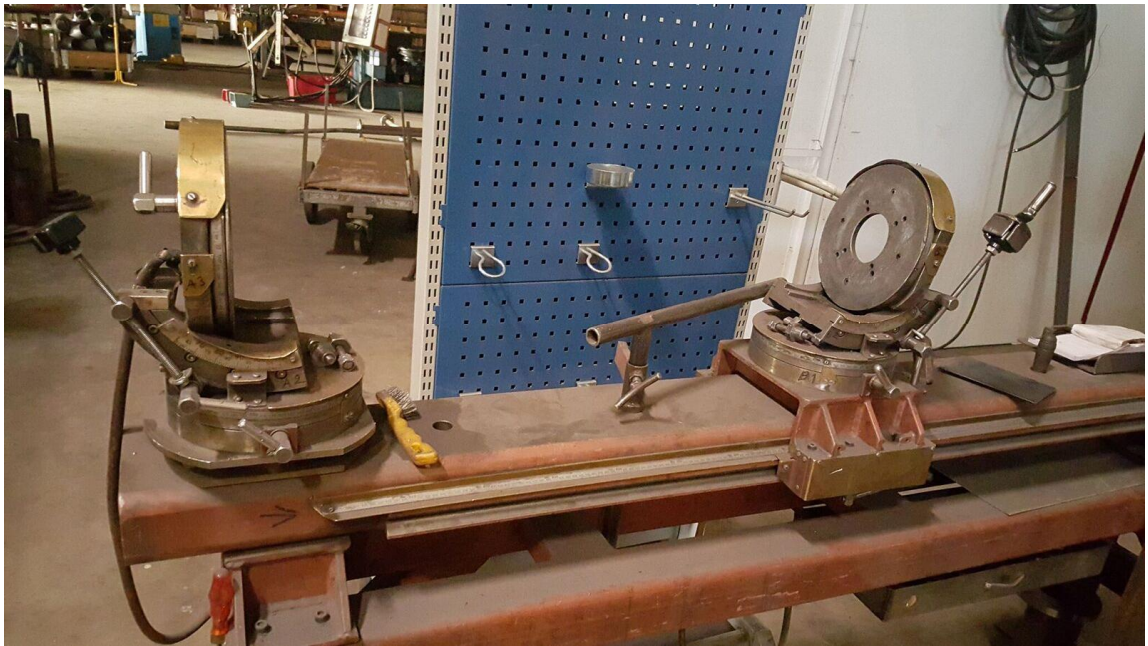
putkien teko työjonon kärkeen. Lisäksi putkien toimitustaajuus telakalle tulee olla riittävän tiheä ja erikseen sovittu. Sovitetarpeen ollessa suuri putket täytyisi saada mahdollisimman nopeasti tuotettua asennusvalmiiksi laivaan.

Tärkeäksi osuudeksi muodostuu putkien huolellinen merkitseminen, jotta kohdistaminen laivassa on mahdollista. 3D-mittausta hyödynnettäessä täytyy mittatietopiirustukseen voida viedä putken kohdistamistiedot sekä siirtää vastuu soviteputkitoimittajalle putkien oikeasta merkintätavasta. Nykyistä menetelmää käytettäessä putken merkinnästä on vastuussa asentaja, joka tietää minne putki kohdistetaan laivassa.

#### **7.4 Vierailu Meyer, Turun telakka**

Järjestimme vierailun Turun telakan putkipajalle tutustumaan heidän tapaansa toimia soviteputkien valmistamiseksi. Turun putkipajan työnjohtajan Mika Pihlajan (2016) mukaan suosituin menetelmä soviteputkien tekemiseksi on heilläkin jigi. Turussa jigi on havaittu hyväksi perusmenetelmäksi, jolla soviteputki saadaan sopimaan paikalleen suhteellisen varmasti, eikä laipan asentojen määrittämiseen tarvitse keskittyä erikseen.

Turussa on myös soviteputkien valmistukseen tarkoitettu valmistuspenkki (KUVA 14), jossa laippojen asennot pystytään määrittämään liukukiskon päällä liikuteltavien ja kääntävien vastakappaleiden avulla, joihin laipat voidaan kiinnittää. Soviteputken laippojen asennot laivassa määritetään laippoihin kiinnitettävien päätykappaleiden avulla, joiden asteikosta kirjataan ylös arvot laippojen asennoista. Tietojen kirjaamisen jälkeen ne syötetään ohjelmaan, joka tekee mitatuista tiedoista isometrisen kuvan putkesta. Tämän jälkeen sovite tehdään valmistuspenkissä säätämällä vastakappaleet oikeisiin asentoihin mitattujen arvojen perusteella. Laite ei ole tällä hetkellä käytössä, vaan odottaa ohjelman päivitystä uuteen versioon sekä mahdollisesti valmistuspenkin vastakappaleiden sähköistä paikoitusta mitattujen koordinaattien perusteella. (Pihlaja 2016)



KUVA 14. Soviteputken valmistuspenkki (Kuva: Riku Honkaniemi 2016)

Myös Turussa on pohdittu soviteputkien valmistuksen kehittämistä ja 3D-mittauksen hyödyntämistä putkien määrittämiseen. Syksyllä 2015 he olivat käyneet keskusteluja mittauspalveluita tarjoavan yrityksen kanssa ja järjestäneet mittaustapahtuman laivassa. Ongelmaksi muodostui laitteen koko, kuvien toimitusaika sekä putken valmistettavuus. Laitetta oli yritetty testata ahtaassa paikassa, jossa oli tarve soviteputkelle, mutta kamera oli mahdotonta asentaa paikalleen niin, että se olisi nähnyt molemmat putkenpäät. Laitetta päästiin kuitenkin testaamaan väljemmässä paikassa, jossa mittaukset pystyttiin suorittamaan. Kameran ottamista kuvista tehtiin mittapiirustus, jonka toimittaminen kesti liian pitkän aikaa, ja putken toteuttaminen käsin valmistuskuvien tarkkojen mittojen perusteella niin, että putki olisi varmasti sopinut paikalleen, muodostui todella haastavaksi. (Pihlaja 2016)

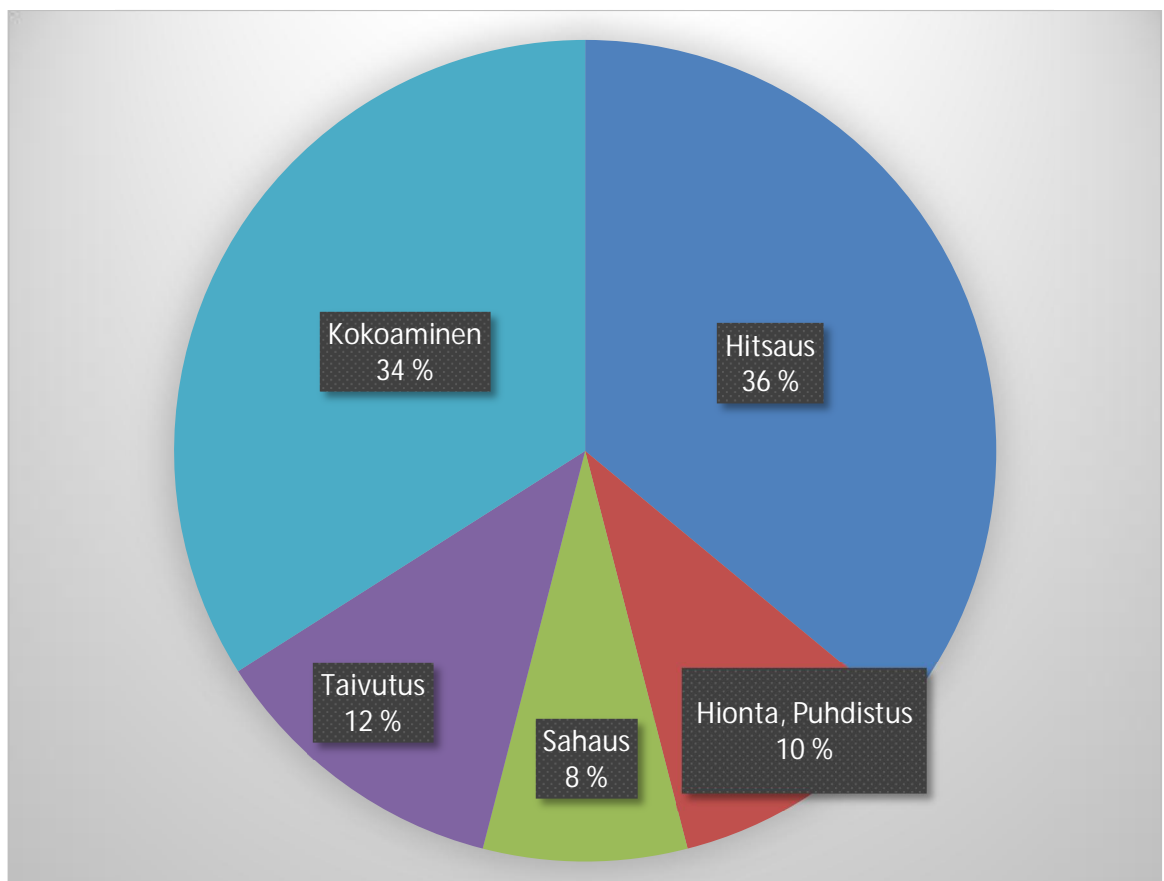
### 7.5 Putken valmistettavuus mittatiedoista

3D-mittauksen hyödyntäminen tarjoaa parhaimmillaan hyvät ja monipuoliset mittaustulokset, mutta mittatiedon hyödyntäminen valmistuksessa nousee ratkaisevaksi osuudeksi. Soviteputken valmistus vaatii tarkkuutta, jotta laippojen kierrot osuvat varmasti kohdilleen uudelleentyöstön välttämiseksi. Riskeinä ovat putken jääminen lyhyeksi, pultin reikien kohdistus sekä laippapintojen kulmapoikkeamat, jotka saattavat aiheuttaa vuodon liitoskohdassa ja jännityksiä putkistoon, jos putki väännetään väkisin paikalleen.

Jigillä putkenpäiden asennot on määritetty kohdalleen laippojen paikoituksella, ja tehtäväksi jää keksiä keinot putken muotoilemiseksi laippojen väliin. Putken muotoilu laippojen väliin sisältää omat haasteensa, mutta kun jigi on huolellisesti valmistettu, voidaan olla lähes varmoja siitä, että putki sopii paikalleen, jos laippojen asennot eivät ole päässeet muuttumaan. Mittapiirustusta käytettäessä valmistus voidaan suorittaa osa kerrallaan peräkkäin paremmassa järjestyksessä, mutta haasteeksi tulee toteuttaa putki mittatarkaksi huomioiden useat taivutukset, kierrot ja hitsausliitosten muodonmuutokset. Tämä lisää riskiä, ettei putki sovi paikalleen asennettaessa.

Putken valmistuksessa hitsaus vie aikaa enemmän kuin taivutus (KUVIO 1), ja sitä pyritäänkin käyttämään hitsauksen sijaan aina kuin mahdollista. Soviteputkien mittojen vuoksi taivuttaminen ei kuitenkaan aina ole mahdollista, koska putket ovat yleensä vain noin metrin mittaisia, mikä tekee taivutuksen haastavaksi ja jopa mahdottomaksi putkiin kasvaessa. Lisäksi taivutuksessa täytyy huomioida putken takaisintaipuma halutun taivutuskulman saavuttamiseksi.

KUVIO 1. Tyypillisen esivalmisteputken työvaiheiden osuudet (Häkkinen 1994, 90, muokailen)



3D-mittatiedoilla voidaan vaikuttaa soviteputken hitsisaumojen määrään suunnittele-  
malla mallin avulla ainoastaan välttämättömät hitsausliitokset putkelle. Tämä edellyttää  
kuitenkin edistyneitä CNC-laitteita putkien toteuttamiseksi mittatiedoista sekä tiedosto-  
muotojen ja ohjelmistojen yhteensopivuutta. Mittauksessa täytyy myös huomioida laip-  
pojen väliin tulevien tiivisteiden varat ja mahdollisia antureita varten tarvittavat mittari-  
korokkeet. Mittarikorokkeiden mittaaminen ei todennäköisesti ole mahdollista, vaan ne  
täytyy erikseen piirtää mallinnettuun putkeen tai saattaa tieto asentajalle mittarikorokkeen  
vaatimuksista muilla tavoin.

Mittausohjelmistolta toivotaan mahdollisuutta suunnitella putki mahdollisimman tehok-  
kaasti ja järkevästi valmistettavaksi tai ainakin yhteensopivuutta toisen ohjelman kanssa,  
jolla pystytään vaikuttamaan valmistettavuuteen. Putken vapaa muotoilu laippojen pysy-  
essä kiinteästi paikallaan on myös toivottu ominaisuus, jolla voitaisiin huomioida esimer-  
kiksi paremmat taivutuskulmat, vähentää hitsisaumoja ja mitoittaa putki niin, että stan-  
dardiputkikäyrien käyttö on mahdollista. Tällä tavoin putken taivutuskulmiin voidaan  
vaikuttaa tekemällä ne esimerkiksi tietylle taivutuskoneelle sopivaksi tai järkevämmiin  
paloista katkaistavaksi ja hitsattavaksi. Myös väistöt pystytään huomioimaan paremmin  
vapaan muotoilun mahdollistavan ominaisuuden ansiosta.

Putken valmistaminen mittatarkasti asennuspöydällä piirustuksen mukaan vaatii koke-  
musta ja tarkkuutta uudelleenmuokkausten välttämiseksi ja putken tiiveyden varmistamiseksi.  
Valmistukseen käytetään kiinnittimiä, jigejä, tukia ja muita paikotusvälineitä  
putken hitsaamiseksi. Työ on usein aikaa vievää useiden mittausten ja uudelleenasette-  
luiden vuoksi. Haasteena on huomioida hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset ja laip-  
pojen oikeat kierrot pultinreikien kohdistamiseksi.

Mittalaitteella kerätyn datan hyödyntämiseksi tarvitaan laite, joka pystyy käyttämään mit-  
tatietoja putken taivuttamiseen tai paikoittamaan soviteputken laippojen kierrot ja etäi-  
syydet suhteessa toisiinsa oikeaan asentoon koordinaattien perusteella. Vaihtoehtona on  
vastaavanlainen ratkaisu kuin Turussa käytössä oleva soviteputkien valmistuspenkki,  
missä laippojen asennot voitaisiin säätää vastaamaan mitattua putkea. Valmistuspenkistä  
voisi kehittää CNC-ohjatun version, joka säätäisi laippojen vastakappaleet oikeaan asen-  
toon mitattujen tietojen perusteella. Tällä tavoin voitaisiin luopua laivassa tehtävistä

jigeistä ja tehdä putki ohjelmoitavan laitteen avulla mittatietojen perusteella. Putken valmistuksen jälkeen voitaisiin tarkistaa putken mitat esimerkiksi skannaamalla, verrata sitä mallinnettuun putkeen ja suorittaa korjaukset tässä vaiheessa. Ohjelmoidussa laitteessa voisi myös ottaa huomioon putken tiivistevarat asettamalla tarvittavat tiivisteet laipan ja laitteen väliin, jolloin todennäköisyys putken sopivuudesta ja tiiveydestä kasvaa.

Vastaavanlainen CNC-ohjelmoitu laite soviteputkien tekemiseen on saksalaisen Tracto-Technikin tuote ROBOFIX (KUVA 16), jolla laippojen asennot ja vastakappaleiden etäisyys pystytään ohjelmoimaan paikoitustietojen avulla vastaamaan tarvittavan putken päitä. Laipat voidaan kiinnittää laitteeseen ja valmistaa putki niiden väliin. Laitteella voidaan valmistaa halkaisijaltaan DN40–DN400 putkia, joiden maksimipituus on 2 metriä. Putken mittojen määrittäminen ROBOFIX:lle voidaan suorittaa sille tarkoitettulla SCOPELINK-mittalaitteella. SCOPELINK (KUVA 15) on kääntyvillä nivelillä varustettu mittavarsi, jonka molemmissa päissä on laippapintoja vasten asetettavat levyt, jotka kiinnitetään laipan pultinreikiin. Mittalaite on sähköistetty, ja sen molemmissa päissä on anturit laippapintojen paikoitukselle. Anturit ovat yhdistetty johdoilla kannettavaan tietokoneeseen, mihin laippojen paikoitukset, kierrot ja putken kulmat tallennetaan omaan ohjelmistoonsa.

ROBOFIX-laitteesta tehtiin laitteen toimittajalle kysely, johon ei koskaan saatu vastausta. Kyseistä ratkaisua on telakalla mietitty aikaisemminkin, jolloin ongelmaksi muodostui laitteen korkea hinta.





KUVA 15. SCOPELINK-putkenmittauslaite (Tracto-Technik 2016)



KUVA 16. ROBOFIX-paikoituslaite (Tracto-Technik 2016)

## 7.6 Vaihtoehdot putkien merkinnän kehittämiseen

Putkien merkinnän kehittämistä voidaan lähestyä kahdesta näkökulmasta. Putkien merkintäohjeen noudattamista valvotaan tarkemmin ja varmistetaan, että jokainen osapuoli osaa merkitä putken tarpeeksi hyvin sen kohdistamiseksi. Toinen vaihtoehto on miettiä

merkitsemiseen automaattista tunnistusjärjestelmää. Tällä hetkellä käytössä oleva metallinen tunnistekilpi kohokuviolla on riittävästi tiedoilla varustettuna helppo, luotettava ja kestävä menetelmä. Stanssattu tunnistekilpi ei kuitenkaan tarjoa vaihtoehtoa osien automaattiselle tunnistukselle ja jäljittämislle. Automaattiseen tunnistukseen voidaan hyödyntää esimerkiksi RFID-tunnisteita, viivakoodia tai datamatriisia.

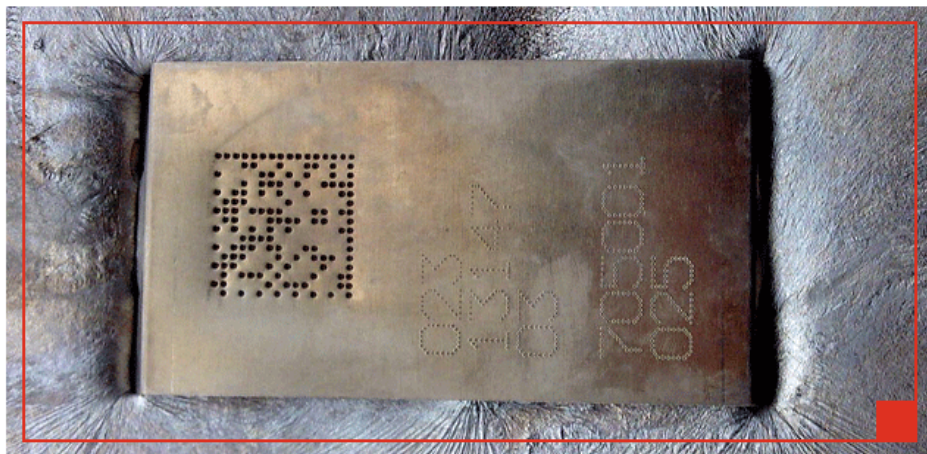
Suurimmat haasteet muiden kuin stanssattujen metallikilpien käytössä tulevat niiden kestävydessä. Putkien merkintöjen täytyy olla luettavissa pintakäsittelyn ja kuljetuksen jälkeen, ja useimmat automaattiset merkintätavat ovat joko erittäin kalliita tai eivät kestä rajua käsittelyä, maalausta, sinkitystä ja sitä edeltävää epäpuhtauksien poistoa suola- tai rikkikylvyssä.

### **Viivakoodit**

Viivakoodit koostuvat rinnakkaisista viivoista ja numerosarjasta, jonka sisältämä data voidaan muuttaa luettavaan muotoon siihen tarkoitettun laitteen avulla. Viivakoodia käytetään tavaroiden yksilöivään tunnistamiseen ja tuotetietojen automaattiseen kirjaamiseen järjestelmään. Tyypit voidaan jakaa karkeasti lineaarisiin ja 2D-viivakoodeihin, kuten datamatriisit ja QR-koodit. 2D-viivakoodit ovat perinteisiä lineaarisia viivakoodeja mutkikkaampia, sillä ne voivat sisältää paljon enemmän tietoa, kuten esimerkiksi kuvan tai ohjauksen internetsivustolle. 2D-viivakoodien kehitys on laajentunut valtavasti suuremman tiedontallennuskapasiteetin vuoksi sisältäen mahdollisuuden lukea tiedot matkapuhelimella ilman erillistä lukijaa. (Wasp Barcode Technologies 2015)

Viivakoodin hyödyntämiselle osien merkinnässä löytyy Infosight Corporation patentoima (Patentti US006764016B2, United States Patent) tunnistusmenetelmä, joka kestää kuumasinkityksen ja sen esikäsittelyn. Siinä metallinen merkintäkilpi käsitellään silikonihartsilla tai siloksaanilla, jotka kestävät sinkityksen. Kilpi päällystetään läpinäkyvällä synteettistä kumia, akryyliä, vinyyliä, polypropyleenia tai polyetyleenä olevalla kalvolla. Näillä materiaaleilla on hyvä kemiallinen kestävyys sinkittävän kappaleen esikäsittelyä varten, mutta kuumasinkityksessä kalvo sulaa pois jättäen jäljelle silikonihartsilla päällystetyn metallikilven merkintöineen. Tunnistekilven tiedot sisältäen viivakoodin ja tekstimerkinnot tulostetaan laser- tai CO<sub>2</sub>-tulostimella. Tunnistekilpien teon suorittaa siihen tarkoitettu kone, ja merkinnät kiinnitetään sinkittävään kappaleeseen metallikilven reiästä rautalangalla tai vastaavalla. (Robertson, Speakman, O'Neal & Hudelson 2002)

Kuvassa 17 näkyy metallikilpeen lävistämällä tehty datamatriisi. Lävistettyä datamatriisikilpeä voisi hyödyntää putkien merkitsemiseen automaattista tunnistusta varten, mutta suurimmaksi kysymykseksi muodostuu datamatriisin luettavuus pintakäsittelyn jälkeen. Jos reiät ovat hyvin pieniä, ne saattavat tukkeutua sinkitysprosessin tai maalauksen aikana.



KUVA 17. Lävistetty luettava datamatriisi (SIC Marking 2016)

### RFID-teknologia

RFID-teknologia on viivakoodien tavoin automaattinen datan keräystekniikka, jota voidaan käyttää osien tunnistamiseen, paikantamiseen ja seurantaan. RFID ei kuitenkaan tarvitse puhdasta pintaa tai ympäristöä, fyysistä kontaktia eikä näköetäisyyttä tiedon hyödyntämiseksi toisin kuin viivakoodi. RFID-teknologialla on todettuja etuja valmistuksen, kuljetuksen ja logistiikan alalla, samalla kun ratkaisuja teknisten rajoitusten ylittämiseksi teknologian hyödyntämiseksi teollisuuden työkohteissa on pystytty kehittämään. (Song ym. 2004)

Song ym. testasivat RFID:n käyttöä esivalmisteputkien seurannassa tutkimuksessaan (2004), jossa rakennuskohteeseen kuljetetut putkikuormat oli merkitty RFID-tunnisteilla ja kuorma ajettiin RFID-lukijoilla varustetun portaalin läpi, joka kirjasi saapuneet putket järjestelmään. Putkien tiedot saatiin kirjattua testissä lähes 100-prosenttisesti. Menetelmällä saavutetut hyödyt nopeuttivat materiaalin kirjaamista järjestelmään sekä vähensivät virheitä manuaaliseen seurantaan verrattuna. Ongelmiksi havaittiin lukuetaisyyden vaikutus sekä tunnisteiden sijainti putkessa. Jos tunniste oli keskellä kuormaa metallin ympäröimänä, ei tunnisteiden tietojen kirjaus onnistunut ensimmäisellä yrittämällä, vaan se piti tuoda paremmin esille.

RFID:n hyödyntäminen putkien merkinnässä on mielenkiintoinen vaihtoehto, mutta se ei ole vielä riittävän luotettava putkien merkitsemiseen, eikä tarve automaattiselle tunnistukselle telakalla ole niin suuri. Parks (2001) mukaan RFID-tunnisteet vaativat suhteellisen viileän ympäristön toimiakseen luotettavasti, eivätkä ne sovellu käytettäväksi esimerkiksi kuumasinkitystiloihin. Artikkelissa on mainittu RFID-tekniikan heikkouksiksi terästuotannossa myös suhteellisen pienet ja vaihtelevat eräkoot, likainen ympäristö sekä kalliit alkuinvestoinnit tunnisteesiin, lukijoihin ja ohjelmistoon.

## 8 3D-MITTALAITTEVERTAILU

### 8.1 Mittalaitteiden ominaisuuksien vertailu

Valittaessa 3D-mittalaitetta laivassa suoritettaviin mittauksiin korostuu laitteen helppo siirrettävyys sekä haastavan toimintaympäristön aiheuttamat rasitteet laitteen toiminnalle ja kestävyydelle. Koordinaattien mittaukseen ja 3D-skannaukseen tarkoitettuja laitteita löytyy markkinoilta monia erilaisia malleja useilta eri toimittajilta. Kiinteäjalustaiset koordinaattimittauskoneet voidaan rajata tarkastelun ulkopuolelle, koska kyseessä on laivassa suoritettava mittaus, jolloin laitteiston täytyy olla siirrettävä. 3D-mittalaitteita hyödynnetään paljon monimutkaisten kappaleiden mallintamiseen ja tarkastuksiin monilla eri teollisuuden aloilla. Useimpia niistä voidaan myös hyödyntää laivanrakennuksessa ja putkien mittaamisessa, mutta näihin osa-alueisiin erikoistuneita laitteita ei kuitenkaan ole montaa.

Koordinaattien mittauksessa ja putken mallin määrittämisessä on mahdollista käyttää molempia mittaustapoja: kosketuksetonta ja kosketuksellista. Laitteistojen karkeaan vertailuun valittiin kumpaakin mittaustapoa hyödyntäviä laitteita, joista joissakin laitteissa on mahdollista käyttää molempia mittaustapoja. Taulukkoon yksitoista on valittu eri toimittajien mittalaitteita, joita olisi mahdollista hyödyntää soviteputkien mittaamiseen. Soveltuvan mittalaitteen valitsemiseksi käytettiin kriteereinä telakalla määriteltyjä vähimmäisvaatimuksia sekä laitteiden yleisiä ominaisuuksia. Mittalaitteiden kartoittamiseen käytettiin metrologiaan ja mittauksiin erikoistuneiden yritysten kotisivuja ja tuotetietomanuaaleja, tutkittiin aiheesta tehtyjä opinnäytetöitä ja tutkimuksia sekä vierailtiin hitsaus- ja konepajamessuilla Tampereella tutustumassa eri vaihtoehtoihin.

Mittalaitteiden hinnat vaihtelevat arviolta 30 000–100 000 euron välillä, riippuen laitteen mittaustavasta, tarvittavista lisäosista sekä ohjelmistoista. Hinnat perustuvat mittalaitetoimittajilta saatuihin epävirallisiin kyselyihin ja aiheesta löytyviin tutkimuksiin ja artikkeleihin.

TAULUKKO 11. Mittalaitevertailu

|                                   | <b>Romer Absolute Arm 7530</b>                | <b>SOLOtwin system</b> | <b>Freestyle<sup>3D</sup></b> | <b>HandyProbe</b>        |
|-----------------------------------|---|------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| <i>Toimittaja</i>                 | Hexagon Metrology                             | Metronor               | FARO                          | Creaform                 |
| <i>Tyyppi</i>                     | Käsivarsi                                     | Kamera+ valokynä       | Käsiskanneri                  | Laser-asema+ mittalaite  |
| <i>Suositteltu ohjelmisto</i>     | TubeShaper                                    | TeZetCad               | SCENE                         | VXProbe                  |
| <i>Muut ohjelmistovaihtoehdot</i> | Kyllä   | Kyllä                  | Kyllä                         | Kyllä                    |
| <i>Toimintalämpötila (°C)</i>     | 0–50  | 10–45                  | 0–40                          | 5–40                     |
| <i>Tarkkuus (mm)</i>              | ±0,044  | ±0,12                  | <1,5                          | ±0,25                    |
| <i>Mittaustapa</i>                | Kosketus/kosketukseton                        | Kosketus               | Kosketukseton                 | Kosketus/kosketukseton   |
| <i>Kiinnitystapa</i>              | Magneetti, ruuvattavat puristimet, kolmijalka | Kolmijalka kameralle   | Kannettava                    | Kolmijalka mittaasemalle |
| <i>Mittausetäisyys (m)</i>        | max 3   | 1,5–25                 | 0,5–3                         | 1–10                     |
| <i>Mittalaitteen paino (kg)</i>   | 8,3   | 12                     | 0,98                          | 0,45                     |
| <i>Koko paketin paino (kg)</i>    | 35  | 26                     | -                             | 30                       |
| <i>Kameran kulma</i>              | -   | 70°                    | -                             | Ei ilmoitettu            |

### 8.1.1 Romer Absolute Arm

Romer Absolute Arm (KUVA 18) on kannettava käsivarsimittalaite, johon on saatavilla erilaisia mittauskärkiä. Malli painaa noin 10 kg riippuen kokoonpanosta, ja sillä päästään jopa 4,5 metrin ulottuvuuteen. Vertailuun valitun mallin 7530 ulottuvuus on kolmeen metriin asti, mikä on riittävä useimmille soviteputkille ilman mittalaitteen siirtoa. Laitteen

jalusta toimii mittauksen nollapisteenä, ja mittaus perustuu kosketuksettomiin mittausantureihin, jotka mittaavat putken pituutta, muotoa ja kulmia XYZ-, LRA- ja YBC-arvoina. Mittaamiseen voidaan käyttää kosketuskärkeä, skannausta tai putken muotojen seuraamiseen tarkoitettua U:n muotoista haarukkaa, joita voi vaihtaa kesken mittauksen ilman erillistä kalibrointia. (Hexagon Metrology 2015b)

Romer Absolute Arm -mittalaitteelle tarkoitettu TubeShaper on Hexagon Metrologyn julkaisema putkenmittaus ja -mallinnusohjelmisto, joka on kehitetty yhteistyössä maailman johtavien putkitekniikan toimijoiden kanssa. Lokakuussa 2015 julkaistua ohjelmistoa pystytään hyödyntämään monipuolisesti putkien tuotantoon, mittaamiseen, arviointiin ja tarkastamiseen sekä putkien ja kokoonpanojen takaisinmallinnukseen (reverse engineering). Skaalautuva järjestelmä soveltuu käytettäväksi suunnitteluinsinööreistä ja laatuosastosta tuotannon tasolla asti. (Hexagon Metrology 2015a)

TubeShaperilla on mahdollista käyttää offline-mallia vertailuna mittauskohteisiin, tai jos kyseessä on erä samanlaisia putkia, voidaan ensimmäisestä putkesta tehdä vertailukohde erän muihin putkiin. CAD-muunnin antaa mahdollisuuden tuoda ja viedä tietoa kokonaisista putkipaketeista monessa eri tiedostoformaattissa. Ohjelmiston voi kytkeä myöskin suoraan yhdessä yhden tai useamman CNC-putkentaivuttimen kanssa. Tämä mahdollistaa korjausdatan syötön tuotantokyklien välissä, joka tarjoaa tehokkaan prosessin ohjauksen sekä minimoi hukan. (Hexagon Metrology 2015a)



KUVA 18. Romer Absolute Arm eri mittapäävaihtoehdoilla (Hexagon Metrology 2016)

### 8.1.2 Metronor SOLOtwin System

Metronor SOLOtwin system (KUVA 19) on kannettava koordinaattimittauslaite, joka on tarkoitettu erityisesti teollisuuteen suoraan mittauskohteeseen vietäväksi. SOLOtwin käyttää mittauksessa kuvan muodostamiseen kahta erillistä kameraa, jotka muodostavat 70° kulman. Kameranat ovat kiinnitettynä kolmijalkaan, joka voidaan asettaa langattomasti lähelle mittauskohdetta. (Metronor 2015, 4)

Järjestelmällä on mahdollista mallintaa olemassa olevia putkia Metronorin TeZetCAD-putkenmallinnusohjelmalla. Putken mallintaminen kahden laipan väliin voidaan mitata haluttua reittiä seuraten, tallentamalla pisteitä ilmaan painamalla nappia valokynästä halutussa kohdassa. Valokynä mahdollistaa pisteiden tallentamisen kameran näkökentän ulkopuolella 600 millimetriin asti. Etäisyyttä on mahdollista kasvattaa pidemmällä mittavarsilla. Tiedot voidaan lähettää suoraan CNC-putkentaivuttimelle tai tarkistaa jo taivutettu putki ja verrata sitä CAD-malliin, jonka perusteella voidaan syöttää korjausarvot taivutusprosessille. Järjestelmän mittausetäisyys on riittävä 18 metriin asti kamerasta. Paketti sisältää:

- Kaksi laserkameraa
- Kannettavan mittakärkilaitteen eli *valokynän*
- Kannettavan tietokoneen
- Kaapelit varayhteydelle
- Kuljetuslaatikon
- Metronor PowerINSPECT, System SW (MSS) ja SOLOtwin technology -lisenssit

(Metronor 2015, 4, 8)

Metronorin muita saman tuoteperheen järjestelmiä ovat:

- SOLO
- DUO
- DUET
- QUAD



Järjestelmät sisältävät samat peruskomponentit kuin SOLOtwin, mutta järjestelmästä riippuen siihen on lisätty useampi kamera, kannettava tietokone tai valokynä sekä lisälaitteena saatava referenssipalkki. Lisävarusteita laitteisiin on saatavilla tarpeiden mukaan, sekä esimerkiksi valokyniä on saatavilla kuusi eri kokovaihtoehtoa 300 millimetrin mittaisesta 1100 millimetriin asti (Metronor 2015, 5–6, 15). Metronorin tuoteperheestä kahdella kameralla varustettu SOLOtwin olisi todennäköisesti sopivin vaihtoehto putkien mittaamiseen muodostaen riittävän laajan näkökentän, mutta samalla minimoiden tilantarpeen käyttökuntoon asettamiseksi laivassa.



KUVA 19. Metronor SoloTWIN System (Metronor 2015)

### 8.1.3 Faro Freestyle<sup>3D</sup>

Faro Freestyle<sup>3D</sup> (KUVA 20) on kannettava käsikäyttöinen laserskanneri, joka on kokonsa ja painonsa puolesta helppo käsitellä. Kädessä pidettävä kameravarsi sisältää laservastaanottimen, kaksi infrapunakameraa ja RGB-kameran eri mittausympäristöjen monipuoliseen skannaukseen. Kameravarsi on yhdistettynä USB 3.0 -yhteydellä tablettiin, jossa mittaustilanne nähdään reaaliaikaisena värillisenä mallina. Faro Freestyle<sup>3D</sup> -mittalaitteen yleisimpiä käyttökohteita ovat kohteiden digitaalinen tallennus arkkitehtuurin, onnettomuustutkinnan, rakentamisen, kiinteistöjen kunnossapidon, teollisuuden ja rikospaikkatutkinnan tarpeisiin. (Faro 2015)

Faro SCENE -ohjelmiston automaattisella muotojen tunnistuksella pystytään erottelmaan kokonaisuuksia pistepilvimassasta ja muokkaamaan tietoja CAD-ohjelmistolla. SCENE on yhteensopiva monien laivateollisuudestakin tuttujen CAD-ohjelmistojen kanssa, kuten AVEVA PDMS, AutoCAD ja Rhino. Skanneriin kuuluu kuljetussalkku sekä kalibrointilevy, jolla voidaan varmistaa laitteen tarkkuus kenttäolosuhteissa. (Faro 2015)



KUVA 20. FARO Freestyle<sup>3D</sup> -mittalaitepaketti (Faro 2015)

#### 8.1.4 Creaform HandyProbe

Kannettava koordinaattimittausjärjestelmä HandyProbe (KUVA 21) on kevyt käsi­käytöinen langaton mittalaite, jonka kosketuspäällä voidaan mitata koordinaatteja mitattavasta kohteesta. HandyProbe lähettää signaalin mitattavasta kohteesta C-Track -mittausasemalle, joka kahden kameran avulla vastaanottaa HandyProben lähettämän lasersignaalin. Dynaamisen ja automaattisesti paikantavan seurannan ansiosta järjestelmällä saavutetaan mittaustulokset jopa alle 25 mikrometrin tarkkuudella. C-Track -mittausasemalla voidaan myös mitata 1–3 metrin kokoisia osia kiinnittämällä kohteeseen optisia tunnis-

teita referenssipisteiksi. C-link -teknologian avulla HandyProbe voidaan kytkeä samanaikaisesti 2–4 C-Track mittausaseman kanssa, millä saavutetaan nopeammat mittaustulokset. HandyProbea käytetään mitattavan kohteen muotojen tallentamiseen, suuntaamiseen ja laadunvalvontaan auto- ja lentokone-teollisuuden sekä muilla valmistavan teollisuuden aloilla. (Creaform 2016)

Suositteluna ohjelmistovaihtoehtona on VxProbe, jonka avulla HandyProbe ja C-Track tallentavat mitatut pisteet kohteesta, ja joka suorittaa geometrisia laskutoimituksia, kuten kulmia ja etäisyyksiä. Ohjelmisto on yhteensopiva muiden Vx Elements -ohjelmistojen kanssa, ja tiedot voidaan ottaa käsittelyyn kolmannen osapuolen CAD-ohjelmiston kanssa. (Creaform 2016)



KUVA 21. HandyProbe -mittalaite ja C-track-mittausasema (HelloTrade 2016)

## 8.2 Testilaitteen valinta

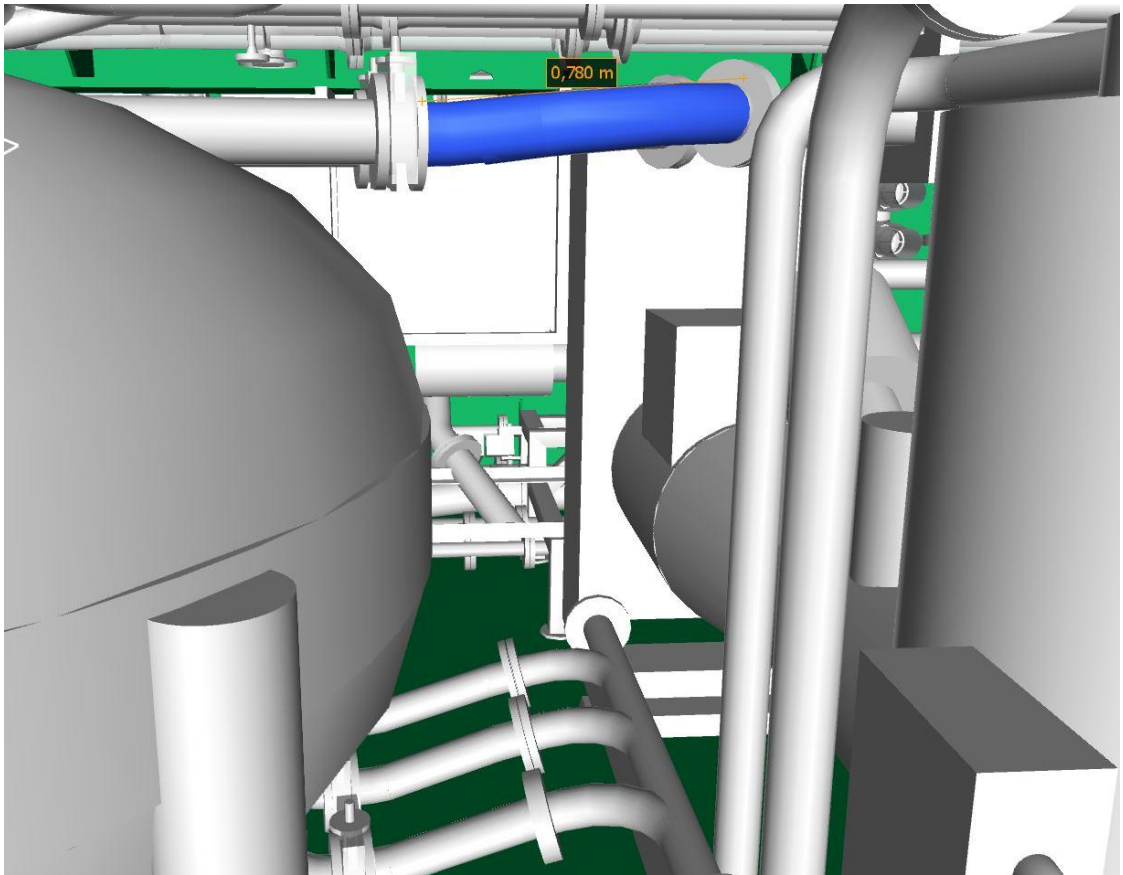
Vertailuun valituista vaihtoehdoista parhaiten laivoolosuhteisiin testattavaksi soveltuu Romer Absolute Arm -kannettava käsivarsimittalaite, joka ainakin teoriassa täyttää telakan asettamat tärkeimmät kriteerit valinnalle muiden kriteereiden selvittäessä käytännön testauksella. Valintaan vaikutti erityisesti Romerin erikoistuminen putkenmittaukseen, johon on saatavilla vuonna 2015 syksyllä julkaistu uusi TubeShaper -ohjelmisto. Laitteen mittapäiden vaihdot onnistuvat koskettavasta skannaavaan ilman erillistä kalibrointia, sekä laitteeseen on saatavilla putkenmittaukseen erityisesti tarkoitettu haarukkamittapä. Painonsa ja kokonsa puolesta mittalaite on kannettavissa laivaan, sekä erilaisten jalustavaihtoehtojen ansiosta mittalaitetta voidaan käyttää hankalissakin olosuhteissa.

Romer Absolute Arm -laitteen testaukseen vaikutti myös esittelytilaisuuden helppo järjestäminen ja aiemmat kokemukset Hexagon Metrologyn tuotteista. Hexagon Metrologylla on myyntikonttori Helsingin Pitäjänmäessä, jossa kyseinen laite oli valmiina, sekä lisäksi telakalla on käytössä Hexagonin omistaman brändin laitteet runko-osaston mittauksissa.

Muista mittalaitetoimittajista FARO:lta emme saaneet vastausta tiedustelumme ja Metronorin Suomen edustajalla ei ollut laitteeseen tarvittavaa ohjelmistoa kyselyhetkellä käytössään, joten mittalaite-esittelyn ajankohdan sopiminen aikataulun rajoissa osoittautui haasteeksi. Romerin ja HandyProben välillä päädyimme Romeriin sopivampien ominaisuuksien perusteella, ja HandyProben kolmijalalla olevan suurikokoisen laser-aseman asentaminen mittauskohteeseen vaikutti haastavalta laivan ahtaiden tilojen takia.

### **8.3 Mittalaite-esittely telakalla**

Romer Absolute Arm -mittalaitetta päätettiin testata telakalla käytännössä. Testauksen jälkeen on helpompi arvioida mittalaitteen käytön etuja ja haittoja sekä kehittää menetelmää laivan tiloissa suoritettavan mittauksen vaatimuksiin sopivammaksi. Laivasta löytyi sopiva paikka mittauksille, johon tulee aikanaan sovitteet lastipumpun ja putkipaketin väliin (KUVAT 22 ja 23).



KUVA 22. 3D-malli mittauspaikasta



KUVA 23. Soviteputkien mittauspaikka lastipumpulla (Kuva: Riku Honkaniemi 2016)

Telakalla järjestetyssä esittelyssä kävimme läpi mittauksen onnistumiseen vaadittavia tekijöitä ja kuinka hyvin mittalaite täyttää laitteelle asetetut esivaatimukset. Soviteputkien mittaustaikojen hankalan sijainnin takia jo alussa kävi ilmi, että laitteen kuljetuslaatikko sisältäen varusteet oli liian suurikokoinen kuljetettavaksi mittaustaikalle, eikä laitetta pystyttäisi ainakaan päivittäisessä käytössä hyödyntämään tehokkaasti ja kuljettamaan helposti paikalleen haastavimpiin mittaustaikoihin. Lisäksi mittausdemon edetessä kävi ilmi, että ohjelmisto ei pystynyt suoriutumaan putken mitoittamisesta avoimien putken päiden välille laippatietojen perusteella, vaan se soveltui enimmäkseen olemassa olevien putkien takaisinmallinnukseen. Avoimien laipan päiden väliin olisi tarvinnut vähintään taivutella jonkinlainen malliputki, jota olisi putkenmittaushaarukalla voitu seurata. Tämä ominaisuus kuitenkin tyrmättiin saman tien työnjohtajien toimesta liian työllistävänä päivittäistä käyttöä ajatellen, eikä kuulunut ominaisuuksiin, joita laitteelta toivottiin. Näin ollen mittauksia ei lähdetty suorittamaan käytännössä, vaan päädyimme keskustelemaan mittalaitetoimittajan kanssa mahdollisista kehityskohteista ja kävimme tutustumassa mittaustaikaan.

## 9 TULOKSET

### 9.1 Mittalaite–esittelyn tulokset ja jatkokehityshankkeet

Mittaustapahtumaa ei pystytty suorittamaan laivassa, eikä näin ollen mittaustuloksia ole saatavilla. Totesimme, että testattu mittalaite ei ollut riittävän helposti siirrettävissä laivan ahtaiden tilojen läpi mittaushoiteeseen, eikä ohjelmisto ollut täysin soveltuva soviteputkien mittojen määrittämiseen. Esittelyn seurauksena syntyi kuitenkin ideoita laitteen ja ohjelmiston kehittämiseksi telakan tarpeisiin, jotka esittelijä sai viestitettyä heidän kehityksikölleen. Kehitysideoita olivat esimerkiksi pienempi kokoonpano laivaan vietäväksi, monipuolisempien ja kevyempien mittalaitejalustojen kehitys sekä ohjelmiston kehittämiseen liittyen putken vapaa muotoilu laippojen välissä paremmin valmistettäväksi.

Olisi ollut mielenkiintoista testata myös toisen tyyppistä mittalaitetta tulosten vertailemiseksi tai ylipäätään tuloksien kirjaamiseksi. Mittaustulosten jälkeen olisi voinut testata mittatietojen hyödyntämistä valmistuksessa ja verrata sitä nykyiseen menetelmään. Mittalaite–esittelyn jälkeen korostui kuinka tärkeää on, että käytettävä mittalaite on tarpeeksi helposti kuljetettavissa laivaan.

Metronorin SOLOtwin -järjestelmän testaaminen laivassa olisi ollut mielenkiintoista tutkia. Mittauspäänä toimiva kevyt valokyna ja kameran pieni koko olisivat luultavasti täyttäneet kriteerit kokonsa puolesta, jos jalustana toimivalle kolmijalalle kehitettäisiin kevyempi ja mukautuvampi vaihtoehto. Esittelymateriaalin ja mittalaitteen Suomen edustajan kanssa käydyn keskustelun perusteella putkien vapaa muokkaus kiinteiden laippa-asemien välillä on mahdollista, jonka testaus käytännössä olisi ollut mielenkiintoista. Kameran rajatun näkökentän riittävyys, laitteen herkkyys ympäristölle ja valokynä suoriutuminen mittauksista ahtaissa paikoissa olisivat jääneet varmistettaviksi asioiksi laivassa mittaamiselle.

FARO Freestylen tyyppisen käsiskannerin käyttö mittauksissa olisi fyysisesti joustavin ja kevyin vaihtoehto nopealle mittaukselle, mutta mittaustuloksena syntyvä 3D-pistepilvi ei sellaisenaan ole käyttökelpoista mittaustietoa nopeutta vaativiin soviteputkimittauksiin, vaan vaatii aina suunnittelijan työtä erottelemaan putken mitat skannatusta pistepil-

vestä. Pistepilvien käsittelyohjelmistoissa on jo nykyään automaattisia muotojen, pintojen ja kohteen tunnistusominaisuuksia, jotka tulevaisuudessa tulevat vielä kehittymään jopa niin, että putkien tiedot ovat mahdollisesti erotettavissa datasta ilman suurta suunnittelupanosta.

Mittaukseen parhaiten soveltuva järjestelmä lähitulevaisuudessa on varmasti kamera- tai lasermittausjärjestelmä, jonka varusteet ovat pienikokoisia ja helposti käsiteltäviä. Ratkaistavaksi ongelmaksi jää kameran tai laseraseman sijoitus laivassa. Yleisimmin käytössä olevat kolmijalat mittausasemalle ovat liian hankalia laivaolosuhteisiin, mutta järjestelmät eivät yleensä ole riippuvaisia niistä. Muita vaihtoehtoja kiinnitykselle on olemassa, kunhan ne ovat riittävän tukevia, etteivät kalliit laitteet tipu tai koordinaatisto heilahtele. Seinään tai kattoon kiinnittäminen on mahdollista esimerkiksi magneettikiinnittimillä, joita laivanrakennuksessa jouduttaisiin luultavasti muokkaamaan tai rakentamaan erityisesti laivan konetiloihin sopiviksi.

3D-mittalaitteen hankinnan jälkeen on mahdollista käyttää sitä myös muihin kohteisiin laivan varustelussa. Mittalaitetta voisi hyödyntää esimerkiksi ylijäämäputkien dokumentoinnissa, alkuperäisistä suunnitelmista poikkeavien muiden teräsosien korvaamisessa, koneikkojen alustojen linjaamisessa tai As built -kuvien luomisessa alkuperäisten suunnitelmien rinnalle ja helpottamaan huoltotoimenpiteitä. Uuden monipuolisen laitteen hankinnan jälkeen syntyy usein myös ideoita täysin uusista käyttökohteista, mihin laitetta voitaisiin hyödyntää ja testata.

## **9.2 Muita työssä ilmenneitä jatkokehityshankkeita putkituotantoon**

Nykytilaselvityksessä ilmeni myös pajan toimintaan liittyviä kehityskohteita, joita on syytä tutkia. Esimerkiksi pajan materiaalinohjaukseen, putkien varastointiin ja alihankkijoiden kanssa yhteistyössä toimimiseen liittyviä kysymyksiä on syytä pohtia omina kokonaisuuksinaan, kun putkituotantoa halutaan kehittää.

Työssä perehdyttiin kestäviin ja automatisoituihin merkintätapoihin ja kävi ilmi, että markkinoilta löytyy useita vaihtoehtoja rajua käsittelyä kestäviin tunnisteisiin. Nykyinen putkien merkintään käytetty sään, maalauksen ja sinkityksen kestävä metallitunniste on



toimiva ja selkeä menetelmä, jos automaattista tunnistusta ei koeta tarpeelliseksi. Jos putkien merkintä koetaan selkeäksi ongelmaksi, olisi RFID-tunnisteiden, viivakoodien ja QR-koodien hyödyntämisessä hyvä lopputyön aihe tutkittavaksi.

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tehtävänä oli selvittää 3D-mittauksen hyödyntämistä soviteputkituotannossa. Työssä perehdyttiin laivan putkistojen teoriaan kattavasti, jonka pohjalta saatiin kokonaiskuva laivaan tulevien soviteputkien laajasta kirjosta ja erityyppisten putkien ominaisuuksista. Aikaisempien laivaprojektien osaluetteloiden pohjalta tehdyt taulukot soviteputkien määrästä ja kokojakaumasta antoivat tietoa, kuinka suuri osuus laivan putkistoista tehdään sovitteina ja mitä halkaisijakokoja tulee laivaan eniten.

Nykytilaselvityksessä soviteputkien valmistuksesta telakalla saatiin kartoitettua kattavasti ongelmakohdat ja lähtötiedot osa-alueisiin, joita 3D-mittauksella pystyttäisiin ja haluttaisiin parantaa. Nykytilaselvityksessä ilmeni myös parannuskohteita pajan toiminnan kehittämiseksi, jotka vaikuttavat suoraan myös sovitteiden valmistamiseen.

3D-mittauksen hyödyntäminen soviteputkituotannossa osoitettiin teoriassa toimivaksi ratkaisuksi, jolla mitoitusvirheitä ja jigien käytöstä aiheutuvaa ylimääräistä työtä voitaisiin minimoida. Käytännön testaukset eivät kuitenkaan kohdanneet teoriaa vielä, vaan laitteiden koko, luotettavuus ja kömpelyys vaativissa laivaolosuhteissa osoittautuivat kompastuskiviksi sovitteiden tuotannon parantamiselle käytännössä. Myös mittauksien jälkeinen suunnittelun ja tiedonkäsittelyn tarve ovat vielä liian suurina laitteiston käyttöönoton perustelemiseksi.

Lähitulevaisuudessa, kun mittalaitteistot tulevat pienemmiksi ja ohjelmistot ketterämmiksi, saadaan mittatiedot varmasti luotettavasti mitoitettua kannettavalla mittalaitteella myös haastavissa laivaolosuhteissa. Kun mittaustiedon tallentamisessa saadaan nykyiset haasteet ratkaistua, jäljelle jää edelleen mittausdatan soveltaminen valmistukseen.

Opinnäytetyön suorittaminen opetti paljon laivan putkijärjestelmien ominaisuuksista ja myös laivan varusteluun liittyvistä haasteista soviteputkituotannossa. Jälkikäteen tarkasteltuna olisi mittalaitteen testaus voitu suorittaa paljon aiemmin telakalla, jolloin olisi voitu keskittyä paremmin sopivan kokoisien laitteiden kartoittamiseen ja testaamiseen.

## LÄHTEET

Arctech Helsinki Shipyard Oy. 2011a. Kumioitavien ja epoksimaalattujen putkien suunnitteluohje. Q.HKI.C.S.052. Luettu 26.1.2016. Sisäinen arkisto.

Arctech Helsinki Shipyard Oy. 2011b. Osaluettelon täyttö - MARS. Luettu 28.1.2016.. Sisäinen arkisto.  
[https://projectportal.arctech.fi/kronodoc/1200/Get/59640/osaluettelon\\_taytto.pdf](https://projectportal.arctech.fi/kronodoc/1200/Get/59640/osaluettelon_taytto.pdf)

Arctech Helsinki Shipyard Oy. 2011c. Putkien ja putkilähetyserien merkitseminen. Työohje. WST.HKI.5.013. Luettu 8.2.2016. Sisäinen arkisto.

Arctech Helsinki Shipyard Oy. 2011d. Putkistojen maalaus- ja käsittelytaulukko. D.T00.7000.708.100. Luettu 13.2.2016. Sisäinen arkisto.

Arctech Helsinki Shipyard Oy. 2011e. Putkipakettien suunnitteluohje. Työohje. Q.HKI.C.S.011. Luettu 28.2.2016. Sisäinen arkisto.

Arctech Helsinki Shipyard Oy. 2011f. Tunnistekilpi putkille. Käyttöohje. Q.HKI.C.V.019. Luettu 8.2.2016. Sisäinen arkisto.

Arctech Helsinki Shipyard Oy. 2013. Teräksisten laivaputkistojen valmistus. Työohje. WST.HKI.6.013 Luettu 26.1.2016. Sisäinen arkisto.

Arctech Helsinki Shipyard Oy. 2014. Lohkoraja-alueen hitsaaminen, varustelu ja maalaus. Työohje. WST.HKI.1.001. Luettu 3.2.2016. Sisäinen arkisto.

Arctech Helsinki Shipyard Oy. 2015. Työhönperehdytysmateriaali. Luettu 11.1.2016. Sisäinen arkisto.

Arctech Helsinki Shipyard Oy. 2016a. Helsingin telakan historia. Luettu 11.1.2016  
<http://arctech.fi/fi/about-us/history/>

Arctech Helsinki Shipyard Oy. 2016b. Vitus Bering ja Aleksey Chirikov. Luettu 25.1.2016  
<http://arctech.fi/fi/ships/nb-506-nb-507/>

Arctech Helsinki Shipyard Oy. 2016c. Yritys. Luettu 11.1.2016  
<http://arctech.fi/fi/about-us/>

Bernardini, F & Rushmeier, H. 2002. The 3D Model Acquisition Pipeline. Vol 21. S.149-172. IBM Thomas J. Watson Research Center, Yorktown Heights, New York, USA. Luettu 8.2.2015  
[http://www1.cs.columbia.edu/~allen/PHOTOPAPERS/pipeline\\_fausto.pdf](http://www1.cs.columbia.edu/~allen/PHOTOPAPERS/pipeline_fausto.pdf)

Boehm, J., Kyle, S., Luhmann, T. & Robson, S. 2014. Close-Range Photogrammetry and 3D imaging. 2. PAINOS. Berliini/Boston: De Gruyter

Creaform. 2016. Portable Coordinate Measuring Machine (CMM): HandyProbe. Luettu 27.3.2016

<http://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/coordinate-measuring-machines-handyprobe>

Faro. Faro Scanner Freestyle<sup>3D</sup>. 2016. Luettu 28.3.2016

<http://www.faro.com/products/3d-documentation/faro-scanner-freestyle-3d>

Halinen, J. Putkipajan työnjohtaja. 2016. Haastattelu 15.1.2016. Haastattelija Honkaniemi, R. Helsinki.

HelloTrade. 2016. Handyprobe. Luettu 28.3.2016.

<http://www.hellotrade.com/kvejborg/handyprobe.html>

Hemminki, S., Hiltunen, E., Hägg, M., Järvenpää, E., Kärhä, P., Linko, L., Saarinen, P. & Simonen, S. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Espoo: MIKES. Luettu 16.3.2016

[http://www.mikes.fi/mikes/Oppaat/j4\\_2011\\_laadukkaan\\_mittaamisen\\_perusteet.pdf](http://www.mikes.fi/mikes/Oppaat/j4_2011_laadukkaan_mittaamisen_perusteet.pdf)

Hentelä, J. Työnjohtaja. 2016. Haastattelu 2.2.2016. Haastattelija Honkaniemi, R. Helsinki.

Hexagon Metrology. 2015a. Hexagon Metrology introduces all new TubeShaper software for tube inspection applications. Luettu 13.1.2016.

<http://www.hexagonmetrology.us/news-and-events/press-releases/1042-hexagon-metrology-introduces-all-new-tubeshaper-software-for-tube-inspection-applications>

Hexagon Metrology. 2015b. Putkenmittausjärjestelmä. Luettu 11.3.2016.

[http://www.hexagonmetrology.fi/Putkenmittausjaerjestelmae\\_1966.htm#.VuLL1CiL-RaQ](http://www.hexagonmetrology.fi/Putkenmittausjaerjestelmae_1966.htm#.VuLL1CiL-RaQ)

Hexagon Metrology. 2016. Romer Absolute Arm. Luettu 11.3.2016.

<http://www.hexagonmetrology.us/products/portable-measuring-arms/romer-absolute-arm>

Hu, D & Mohamed, Y, 2012. Pipe spool fabrication sequencing by automated planning. Luettu 23.2.2016. <http://rebar.ecn.purdue.edu/crc2012/papers/pdfs/-146.pdf>

Häkkinen, P.1993. Laivan koneistot. Otaniemi.

Häkkinen, P.1994. Laivan putkistot. Otaniemi.

Kalibrointipalvelu. 2014. Koordinaattimittauskoneet. VTT. Luettu 8.2.2016.

<http://kalibrointipalvelu.fi/tutkimus-laitteet-koordinaattimittauskoneet>

Kokkonen M. Suunnittelija. 2016. Soviteputkien halkaisijat. Sähköpostiviesti. mauri.kokkonen@arctech.fi. Luettu 23.3.2016

Liikennevirasto. 2006. Merenkulun turvallisuuden hallinta. Luettu 22.1.2016

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf5/mkl\\_2006-6\\_merenkulun\\_turvallisuuden.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf5/mkl_2006-6_merenkulun_turvallisuuden.pdf)

- Lloyd's Register. 2015. Rules and Regulations for the Classification of Ships. Piping Design Requirements 5.12.1.
- Lukacs, G., Lockhart, J. & Facello, M. 2012. Non-contact whole-part inspection. Geomagic Inc. Luettu 11.2.2016 [http://www.geomagic.com/files/6113/3037/1396/Non-Contactwhole-part-inspection\\_Final.pdf](http://www.geomagic.com/files/6113/3037/1396/Non-Contactwhole-part-inspection_Final.pdf)
- Metronor. 2015. Portable Coordinate Measurements Systems. Product Brochure. Luettu 15.2.2015. [http://www.metronor.com/wp-content/uploads/2015/05/Metronor\\_Product\\_Brochure\\_015.01.pdf](http://www.metronor.com/wp-content/uploads/2015/05/Metronor_Product_Brochure_015.01.pdf)
- Morais, D., Waldie, M. & Larkins, D. 2011. Driving the Adoption of Cutting Edge Technology in Shipbuilding. Luettu 22.2.2016. [http://www.ssi-corporate.com/documents/white\\_papers/CuttingEdgeTech-COM-PIT2011.pdf](http://www.ssi-corporate.com/documents/white_papers/CuttingEdgeTech-COM-PIT2011.pdf)
- Parks P. 2011. Automatic Identification Technologies and Steel. Luettu 16.3.2016 [http://msc.aisc.org/globalassets/modern-steel/archives/2011/07/2011v07\\_automatic\\_id.pdf](http://msc.aisc.org/globalassets/modern-steel/archives/2011/07/2011v07_automatic_id.pdf)
- Phasevision. 2016a. Contact vs. Non-Contact Measurement. Luettu 9.2.2016 <http://www.phasevision.com/technology/contact-vs-non-contact-measurement.html>
- Phasevision. 2016b. Measurement Landscape. Luettu 9.2.2016 <http://www.phasevision.com/technology/measurement-landscape.html>
- Pihlaja, M. putkipajan työnjohtaja. 2016. Haastattelu 1.3.2016. Haastattelija Honkaniemi, R. Turku.
- Pitkänen, P. asentaja. 2016. Haastattelu 28.1.2016. Haastattelija Honkaniemi, R. Helsinki.
- Robertson J., Speakman C., O'Neal E. & Hudelson D. 2002. Identification Method for Dip Galvanizing. Patentti US006764016B2. Infosight Corporation. United States Patent.
- Russian Maritime Register of Shipping. 2015a. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships, Part VIII - SYSTEMS AND PIPING. Luettu 5.2.2016. [http://www.rs-class.org/upload/iblock/796/2-020101-087-E\\_8.pdf](http://www.rs-class.org/upload/iblock/796/2-020101-087-E_8.pdf)
- Russian Maritime Register of Shipping. 2015b. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships, Part XIII - MATERIALS. Luettu 5.2.2016. [http://www.rs-class.org/upload/iblock/4e7/2-020101-087-E\\_13.pdf](http://www.rs-class.org/upload/iblock/4e7/2-020101-087-E_13.pdf)
- Rubesa, R., Fafandjel, N. & Kolic, D., 2011. Procedure for estimating the effectiveness of ship modular outfitting. Engineering Review, 31.
- Räisänen, P. 1997. Laivatekniikka - Modernin laivanrakennuksen käsikirja. Helsinki: Gummerus Kirjapaino Oy
- Saukas, S. mittausinsinööri. 2016. Haastattelu 21.1.2016. Haastattelija Honkaniemi, R.

SIC Marking. 2016. Heavy/Bulky Part Marking. Luettu 10.3.2016.

<http://www.sic-marking.com/marking-heavy-or-bulky-parts>

Song J., Caldas, C., Ergen E., Haas C. & Akinci B. 2004. Field Trials of RFID Technologies for Tracking Pre-Fabricated Pipe Spools. University of Texas at Austin, Carnegie Mellon University.

YIT Industria. 2003. ES -järjestelmä. Tuote-esite.

Tanskanen, M. konepajapäällikkö. TelaSteel Oy. 2016. Haastattelu 2.3.2016. Haastattelija Honkaniemi, R.

Tikka, H. 2009. Koordinaattimittaus. 2. korjattu painos. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy- Juvenes Print.

Tracto-Technik. 2016. Automated fabrication of template pipes. Luettu 8.2.2016.

<http://www.pipe-bending-systems.com/Automated-fabrication-of-template-pipes-11.html>

Wasp Barcode Technologies. 2015. Barcode: The ultimate guide to barcodes. Luettu

10.3.2016 <http://www.waspbarcode.com/buzz/barcode/>

Wermac. 2016. Pre-Fabrication of Piping spools. Luettu 27.1.2016. [http://www.wermac.org/documents/fabrication\\_shop.html](http://www.wermac.org/documents/fabrication_shop.html)