

Joonas Hokkanen

# ULTRAÄÄNIMITTAUS LAIVAN PUTKIS- TOJEN ENNAKOIVASSA KUNNOSSA- PIDOSSA

Opinnäytetyö  
Merenkulun koulutus

2020



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Joonas Hokkanen	Insinööri (AMK)	Huhtikuu 2020
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		52 sivua 5 liitesivua
Ultraäänimittaus laivan putkistojen ennakoivassa kunnossapidossa		
<b>Toimeksiantaja</b>		
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu/Merenkulun TKI		
<b>Ohjaaja</b>		
Joel Paananen		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä selvitys laivojen putkistojen korroosiosta sekä tutkia ja selvittää mahdollisuuksia ottaa ultraäänipaksuusmittaukset osaksi putkistojen ennakoivaa kunnossapitoa.</p> <p>Opinnäytetyössä käsitellään teoriapohjaisesti erilaiset korroosimuodot, laivan putkistojen pääperiaatteet sekä materiaalit. Varsinaisessa tutkimuksessa on otettu selvää ultraäänimittauksesta, joka on yksi ainetta rikkomattomista testausmenetelmistä eli NDT-menetelmistä. Opinnäytetyössä on myös tutkittu mahdollisuuksia ultraäänimittarin käyttöön miehistön toimesta ilman varsinaista standardisoitua ndt-tarkastajan pätevyyttä. Tutkimustyö on hyvin teoriapainotteinen ja perustuu kirjallisiin lähteisiin ja erilaisten ultraäänimenetelmien vertailuun teoreettisesti sekä pohdintaan. Parhaimmaksi vaihtoehdoksi aluksen henkilöstön käyttöön osoittautui tavallinen ultraäänipaksuusmittari, jonka ominaisuuksiin kuuluvat skannaus ja kaiusta kaikuun -menetelmä, joka mahdollistaa mittauksen pinnoitteen läpi. Osana opinnäytetyötä syntyi muistilista ultraäänimittarin hankintaa helpottamaan.</p> <p>Ultraäänimittarin hankinta ja käyttö aluksella ei ole yksinkertainen prosessi, vaan vaatii kattavan taustatutkimuksen ja pohdinnan tarpeellisuudesta. Opinnäytetyön puitteissa ei ollut mahdollisuutta lähteä toteuttamaan suurta seurantaa, joka voisi viedä vuosia, mutta opinnäytetyö antaa pohjaa sekä taustatietoa, mikäli jossain kiinnostutaan seurannan toteuttamisesta. Läheskään aina korrosio ei ole jatkuvaa seurantaa vaativa ongelma. Putkistojen seuranta voi kuitenkin auttaa selvittämään korroosionopeutta sekä mahdollistaa tulevien telakointien sekä muiden huoltotoimenpiteiden suunnittelun hyvissä ajoin putkiston osalta.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
laiva, putkisto, korrosio, eroosio, NDT, ultraääni, ennakoiva kunnossapito		

Author (authors)	Degree	Time
Joonas Hokkanen	Bachelor of Engineering	April 2020
<b>Thesis title</b>		52 pages
Ultrasonic testing in the proactive maintenance of the ship's piping system		5 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>		
South-Eastern Finland University of Applied Sciences/Marine Technology RDI		
<b>Supervisor</b>		
Joel Paananen		
<b>Abstract</b>		
<p>The purpose of this thesis was to investigate corrosion in ship's pipelines and to study the possibilities of incorporating ultrasonic thickness measurements into the proactive maintenance of these pipelines.</p>		
<p>The thesis examines different forms of corrosion and the main operating of ship's pipelines and materials principles. The study focused on ultrasound measurement which is one of the non-destructive testing appliances. The thesis also investigated the possibilities of using an ultrasonic thickness gauge by the crew without the actual standardized qualification of an NDT-inspector. The thesis is very theory-oriented and based on written sources and a theoretical comparison of different ultrasonic methods.</p>		
<p>The best alternative for the use of the ship's personnel was a standard ultrasonic thickness gauge, the features of which include scanning and measuring through the coating by the so-called echo-echo method. As part of the thesis, a checklist was created to facilitate the acquisition of an ultrasound thickness gauge. Acquiring and using an ultrasonic thickness gauge onboard is not a simple process and requires comprehensive background research and reflection on the need. Within the framework of the thesis, it was not possible to start a large-scale follow-up, which could take years, but the thesis provides a basis as well as background information if one is interested in carrying out such a study. Corrosion is not always a problem that would require constant monitoring. However, monitoring pipelines can help determine the rate of corrosion and allow for the timely planning of future docking and other maintenance measures for the pipeline.</p>		
<b>Keywords</b>		
ship, piping, corrosion, erosion, NDT, ultrasonic, proactive maintenance		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	KORROOSIO .....	6
2.1	Sähkökemiallisen reaktion tarkastelu.....	7
2.2	Meriveden aiheuttama korroosio.....	8
2.2.1	Merivedessä esiintyvät korroosimuodot.....	9
2.3	Erosio .....	10
2.4	Korroosion esto.....	11
3	LAIVAN PUTKISTOT .....	12
3.1	Putkistot aluksella .....	12
3.1.1	Erilaiset putkistot.....	13
3.1.2	Merivesilinja .....	14
3.2	Materiaalit.....	15
3.2.1	Eri teräslaadut.....	15
3.2.2	Kupari .....	17
3.2.3	Muovi .....	18
3.3	Putkistojen kuntoon vaikuttavat tekijät.....	18
3.4	Mittaus ja tarkastus.....	20
3.5	Laivan putkistojen vikaantuminen ja kunnossapito .....	21
3.6	Esimerkki laivan merivesiputkistosta .....	23
4	ULTRAÄÄNIMITTAUS NDT-MENETELMÄNÄ .....	23
4.1	Toimintaperiaate .....	24
4.2	Laitteistot .....	25
4.2.1	Yhdestä pisteestä mittaava ultraäänimittari sekä vaiheistamaton ultraäänimittaus .....	26
4.2.2	Vaiheistettu ultraäänimittaus.....	27
4.2.3	LRUT eli Long Range Ultrasonic Testing.....	29
4.3	Käyttäjän pätevyys.....	29

4.4	Käyttökohteet.....	30
4.5	Ultraäänimittauksen hyvät ja huonot puolet .....	30
4.6	Ultraäänimittauksen suorittaminen.....	31
5	ULTRAÄÄNIMITTARI OSAKSI LAIVAN PUTKISTOJEN ENNAKOIVAA KUNNOSSAPITOA .....	32
5.1	Ennakoiva kunnossapito.....	32
5.2	Säännöllinen seuranta .....	33
5.2.1	Tuloksien kirjaaminen .....	34
5.3	Tarpeellisuus .....	34
5.4	Laitteiston hankinta.....	35
5.5	Laitteen käyttöön vaadittava pätevyys ja koulutus laivalla .....	37
5.6	Sovellutus .....	37
5.7	Kustannukset.....	40
5.8	Mahdollisuudet.....	41
5.9	Ongelmat.....	42
5.10	Johtopäätös .....	42
6	POHDINTA.....	43
	LÄHTEET.....	45

## LIITTEET

Liite 1. Eri materiaalien äänennopeustaulukko

Liite 2. Muistilista ultraäänimittarin hankintaan ja käyttöön laivalla

Liite 3. Elbecon MT-190 ultraäänipaksuusmittarin esite

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdyn laivojen putkistoihin, putkistojen korroosioon, eroosioon, niiden syntymekanismeihin, ehkäisyyn sekä ultraäänimittauksen käyttöön ennakoivana toimenpiteenä putkistojen kunnossapidossa.

Alusten putkistojen kunto on tärkeä osa aluksen toimintaa ja merikelppoisuutta. Niiden kuntoa ei tosin tarkasteta säännöllisesti aluksen henkilöstön toimesta, vaan ainoastaan pintapuoleisesti ja vikatilanteen satuesssa.

Aihe-ehdotuksen sain opinnäytetyöni ohjaajalta Joel Paanaselta, ja hetken pohdittuani rupesin työstämään ajatusta mahdollisesta ennakoivasta kunnossapito-ohjelmasta putkistoille. Tarkoituksena on tutkia mahdollisuuksia ultraäänimittarin käyttöön laivan konehenkilökunnan toimesta sekä etsiä mahdollisesti sopivat laitteistot kyseiseen toimenpiteeseen.

Eniten aiheessa kiinnostavat mahdolliset sovellutukset ultraäänen käytölle ja tarkastusmenetelmän soveltuvuus säännölliseen seurantaan sekä laitteistoihin tutustuminen. Opinnäytetyö sekä tutkimus toteutetaan kirjallisuuskatsauksena resurssien ja aiheen vaativuuden vuoksi. Mikäli konkreettista tutkimustyötä haluttaisiin tehdä, vaatisi se investoinnin laitteistoon, kohdealuksen sekä riittävän pitkän seurannan.

Opinnäytetyö on tarkoitus tehdä pohjaksi sekä tietolähteeksi seuraaville opinnäytetöille sekä asiasta kiinnostuneille laivanvarustajille sekä muille, joita kiinnostaa ultraäänimittarin hankinta ja käyttö ennakoivan kunnossapidon tehostamiseksi.

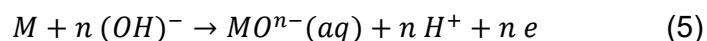
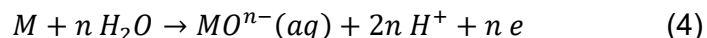
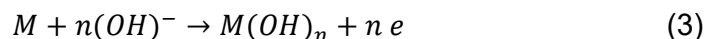
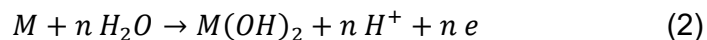
## 2 KORROOSIO

Korroosiossa materiaali, tässä tapauksessa metalli, muuttaa muotoaan, vähitellen jopa täysin käyttökelvottomaksi. Syynä korroosioon on

metalleissa esiintyvät epäpuhtaudet sekä metallien ominaisuus pyrkiä palaamaan takaisin yhdistemuotoon. Sähkökemiallisessa oksidoitumisessa putkistossa oleva vesi muodostaa yhdessä metallin kanssa potentiaalin. Metallin toimii elektrodina ja vesi liuoksena. Korroosioreaktion syntymiseen vaaditaan korroosiopari, jossa on kaksi elektrolyytin kanssa eri potentiaalissa olevaa elektrodia. Toinen näistä on anodi ja toinen katodi. Lisäksi näiden välille tarvitaan metallinen yhteys. Elektrolyytinä toimii neste, joka voi olla merivettä, makeaa vettä tai muuta potentiaalin omaavaa nestettä. Putkiston eri osat luovat metallisen yhteyden välilleen. Reaktiossa metalli-ionit siirtyvät anodista liuokseen ja pyrkivät kohti katodia. Tämä kuluttaa anodina olevaa metalliosaa, aiheuttaen korroosiota ja materiaalin heikkenemistä. (Häkkinen 1994, 17.)

## 2.1 Sähkökemiallisen reaktion tarkastelu

Sähkökemiallisessa reaktiossa syöpyvää kohta on nimetty anodiksi. Sähkövaraukset atomeissa tai ioneissa muuttuvat positiivisemmiksi eli tapahtuu hapettuminen. Vesiliuoksessa korroosiota aiheuttavat yleiset reaktioyhtälöt, joissa muodostuu positiivisesti varautunut metallikationi, voidaan kuvata seuraavalla tavalla:



joissa,

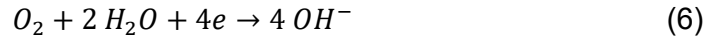
M on metalli

n on lukumäärä

e on elektroni

aq kertoo reaktiotuloksen olevan vesiliuoksessa (Häkkinen 1994, 18)

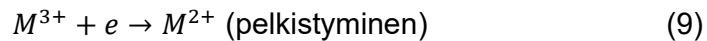
Metalliatomit muuttuvat anodissa ioneiksi, ja kappaleeseen jää ylimääräisiä elektroneja. Syöpymisen jatkumisen edellytyksenä on elektronien poistuminen liuokseen. Vesi liuoksena sisältää atomeja sekä molekyylejä, jotka ottavat elektronin vastaan ja pyrkivät pelkistymään. Lievästi happamat ja emäksiset vesiliuokset aiheuttavat yleisenä reaktiona hydrolyysi-ionien muodostumisen. Reaktiossa kulutetaan happea:



Happamassa liuoksessa tapahtuu yleensä katodinen reaktio, jossa vetyionit pelkistyvät:



Myös muut atomit tai ionit voivat pelkistyä katodilla:



(Häkkinen 1994, 18.)

Joissain tapauksissa korroosion tavoittelemisen on suotavaa. Korroosion yhteydessä metallin pintaan kehittyy tiivis kalvo eli pinta passivoituu. Passivoitunut pinta voi parhaimmassa tapauksessa pysäyttää syöpymisen, mikäli pinta säilyy ehjänä ja yhtenäisenä. (Häkkinen 1994, 20.)

## 2.2 Meriveden aiheuttama korroosio

Kaikissa vesissä tapahtuu jonkinasteista korroosiota, ja perusreaktiot ovat yhtäläiset. Merivedessä korroosion suurin aiheuttaja on korkeampi kloridipitoisuus kuin esimerkiksi makeassa järvivedessä. Merivedessä lähes kaikki metallit ovat alttiina syöpymiselle. (Häkkinen 1994, 21.)

Suolapitoisuus merivedessä vaihtelee 3,2 %–3,7 % välillä, ollen keskimääräisesti noin 3,5 %. Itämerellä suolapitoisuus on huomattavasti pienempi, ja nimenä käytetään murtovettä. Itämeren suolapitoisuus on noin 0,2 %–0,7 % vaihdellen alueen mukaan. Aivan rannikolla, jokien suistoalueilla ovat suolapitoisuudet kaikista pienimmät. (Häkkinen 1994, 21.)



Suolapitoisuutta voidaan määrittää kemiallisesti kloridipitoisuuden mittauksella tai sähköisesti sähkönjohtavuuden perusteella. Mitä korkeampi on sähkönjohtavuus, sitä enemmän vedessä on suolaa. Jos sähkönjohtavuus on korkea, korostuu katodin ja anodin pinta-alojen suhde. Suolapitoisuudeltaan matalassa vedessä korroosion merkitys on suurimmillaan eri potentiaalin omaavan metallin rajapinnan läheisyydessä. Suolapitoisuudeltaan suurissa vesissä lisääntyy korroosio passiivisen suojakalvon muodostavissa metalleissa. (Häkkinen 1994, 21.)

Veteen liunneen hapen määrä on verrannollinen korroosioherkkien metallien, kuten rautapitoiset metallit tai matalaseosteiset teräkset, korroosionopeuteen. Passiivikerroksen muodostavilla metalleilla runsas happipitoisuus voi kasvattaa passiivikerrosta, mutta sen murtuessa aiheuttaa nopeutunutta korroosiota. (Häkkinen 1994, 21-22.)

### **2.2.1 Merivedessä esiintyvät korroosimuodot**

Meriveden vaikuttaessa metallin kanssa voi siinä esiintyä usean tyyppistä korroosiota, riippuen rakenteesta ja ulkoisista tekijöistä.

Korroosimuodot ovat seuraavanlaisia:

- yleinen korroosio
- pistekorroosio
- galvaaninen korroosio
- raerajakorroosio
- valikoiva liukeneminen
- rakokorroosio
- piilokorroosio
- eroosikorroosio
- jännityskorroosio
- korroosioväsyminen

Yleisessä korroosiossa syöpyminen tapahtuu tasaisella nopeudella, ja on siten helppoa havainnoida ja seurata esimerkiksi seinämäpaksuuden mittauksilla. (Häkkinen 1994, 24.)

Pistekorroosiossa metallin syöpyminen tapahtuu pienillä alueilla ja tapahtuu nopeasti. Pistekorroosio on tyypillisimpiä vuodon aiheuttajia

putkistossa. Kuoppa tai naarmu, josta pistekorrosio on lähtenyt liikkeelle, toimii anodina ja pinta sen ympärillä katodina. (Häkkinen 1994, 24.)

Rakokorroosiossa merivesi tai muu neste tunkeutuu saostumien alle tai materiaalissa esiintyvien kerroksien alle aiheuttaen vaihtumisnopeuden laskun verrattuna avoimeen pintaan. Paikallaan seisova liuos edistää korroosiota ja aiheuttaa raon muuttumisen anodiksi. (Häkkinen 1994, 25.)

Jännityskorroosiossa materiaaliin kohdistuu jännitys, joka ylittäessään tietyn osuuden myötörajan aiheuttaa korrosioherkkyyden kasvua. Jännityksiä syntyy esimerkiksi asennustavasta, hitsauksista tai kylmämuokkauksesta. (Häkkinen 1994, 25.)

Raerajakorroosiota esiintyy lämpökäsitellyissä tai hitsatuissa kohteissa. Raerajan tuntumassa muodostuu yhdisteitä, jotka syöpyvät oikeissa olosuhteissa nopeasti. Tyypillisimmillään raerajakorroosio syntyy, kun kahta eri teräslaatua, kuten matalahiilistä ja ruostumatonta terästä hitsataan yhteen. (Häkkinen 1994, 25.)

Galvaanisessa korroosiossa samassa elektrolyytissä muodostuu sähköinen yhteys kahden eri metallin välille. Alemman potentiaalin omaava metalli toimii anodina ja syöpyy. Esimerkiksi matalaseosteinen teräs ja ruostumaton teräs muodostavat sähköisen parin, ja matalaseosteinen teräs syöpyy. (Häkkinen 1994, 26.)

### **2.3 Eroosio**

Eroosiokorroosiota tapahtuu kohteissa, joissa esiintyy virtausta. Virtausnopeus aiheuttaa paikallisia murtumia passiivikerrokseen ja synnyttäen paljastuneisiin kohtiin anodin. Näiden kohteiden syöpymisnopeus kasvaa. Eroosiokorroosiota esiintyy erityisesti kohdissa, joissa virtausnopeus muuttuu. Erityisesti erilaiset mutkat, haarautumat ja supistukset ovat tyypillisiä kohteita. Mikäli virtaavassa vedessä on joukossa

erilaisia kiinteitä partikkeleita, kuten hiekkaa tai metalleja, edesauttavat ne eroosion vaikutusta kuluttamalla putken sisäpintaa ja paljasten uusia teräspintoja, jotka muodostavat anodeja. (Häkkinen 1994, 25.)

Eroosiokorroosiota ehkäistessä on putki mitoitettava niin ettei virtausnopeus kasva liian suureksi, sillä suurella virtausnopeudella eroosionopeus voi kasvaa sekä syntyä niin sanottua kavitaatiokorroosiota, jossa turbulenttisesta virtauksesta irtoaa kaasukuplia, jotka voivat aiheuttaa passiivikerroksen hajoamisen. (Häkkinen 1994, 25.)

## **2.4 Korroosion esto**

Korroosiota voidaan pyrkiä estämään monin keinoin. Materiaalien valinnalla on suuri merkitys korroosion estossa.

Putkistoja suojatessa korroosiota on käytetyin menetelmä putken pinnoittaminen. Esimerkiksi sinkki on yksi käytetyimmistä pinnoitteista korroosion estossa. Sinkkiä käytetään putkiston pinnoittamisessa ulko- sekä sisäpuolelta, jolloin sinkkikerros suojaa jalompaa terästä korroosiolta. Sinkkipinnoitteen toiminta putkistossa perustuu passiivikalvon muodostumiseen, joka suojaa putkistoa korroosiolta. Passiivikalvo ei kuitenkaan kestä jatkuvaa virtausta, sillä passiivikalvon muodostuminen estyy virtausnopeuden ylittyessä 0,5 m/s (Häkkinen 1994, 27). Sinkkiä voidaan käyttää myös anodeina, jossa sinkistä tehty pala sijoitetaan korroosioherkälle alueelle, ja tarkoituksena on sinkin syöpyminen ennen terästä. Anodina toimiessa sinkit sijoitetaan helposti vaihdettaviin paikkoihin, sillä vaihtaminen ja kunnan seuranta säännöllisesti on edellytys anodin toiminnalle.

Suojaus voidaan toteuttaa myös sähköisesti, jossa metallin korroosiovirralla vastakkaissuuntaista virtaa syöttämällä metalliin on mahdollista pysäyttää syöpyminen. (Häkkinen 1994, 31.)

### 3 LAIVAN PUTKISTOT

Putkistoksi voidaan määrittää erilaisista putkista koostuva kokonaisuus, joka sisältää useita eri putkikomponentteja, kuten venttiilejä, pumppuja, liitoksia, mutkia, supistuksia sekä suodattimia. Putkistot ovat välttämättömiä laivojen toiminnalle, ja niitä onkin useita kilometrejä aluksilla, esimerkiksi Itämerelle rakennetussa risteilijässä on halkaisijaltaan yli 32 mm:n putkia yli 13280 m. (Häkkinen 1994, 89.)

Putkistoja käytetään eri olomuodoissa olevien aineiden siirtämiseen eri kohteiden välillä sekä kierrättämiseen takaisin alkupisteeseen, kuten merivesijäähdetyksen ollessa kyseessä, mereen. Tyypillisin kuljetettava aine on nestettä kuten vettä tai öljyä, mutta myös muita olomuotoja kuten kaasua tai höyryä liikkuu putkistoissa.

Putkistoissa tarvitaan yleensä pumppuja, joilla neste saadaan liikku-  
maan. Myös painovoimaisesti toimivat putkistot ovat käytössä esimerkiksi viemäröinneissä.

#### 3.1 Putkistot aluksella

Laivoilla käytettäviä putkia sekä putkistoja on valtava määrä. Alustyyppi vaikuttaa putkistoihin sekä niiden määrään. Esimerkiksi tankkilaivoilla tarvitaan jo pelkkään lastinkäsittelyyn iso määrä erilaisia putkistoja. Matkustaja-aluksilla hotellipuolen putkistot muodostavat suuren osan putkistoista. Viemäröinneistä ja makean veden linjoista tulee suuri kokonaisuus.

Putkiston suunnitteluun sekä valmistamiseen joudutaan yleensä käyttämään paljon aikaa laivan rakennusvaiheessa. Laivalle tyypilliset olosuhteet sekä rajoitteet asettavat vaatimukset putkistojen suunnittelulle. Putkistoja suunnitellessa tulee huomioida laivan rakenteelliset vaatimukset eikä putkia yleensä saada asennettua suorinta ja lyhintä reittiä kohteeseen. Putkistoja joudutaan tekemään useisiin eri tiloihin, kulke-

maan erilaisten tankkien sekä suljettujen tilojen läpi ja altistamaan erilaisille olosuhteille, kuten merivedelle, tärinälle, lämmölle, sekä muille muuttuville olosuhteille.

Laivan putkistojen kunnossapitoon ja kuntoon ei yleensä kiinnitetä huomiota, vaan ne ovat vain välttämätön asia muiden joukossa. Pahimassa tapauksessa putkistojen kuntoon puututaan vasta sitten kun pahin on jo tapahtunut putkistovaurion muodossa. Putkistovauriot voivat pahimmassa tilanteessa asettaa laivan, miehistön sekä lastin todelliseen vaaraan sekä aiheuttaa merkittäviä kustannuksia toimijoille. Putkistovauriot olisivat yleensä helposti ehkäistävissä edullisillakin toimenpiteillä. (Murdoch 2012, 2-3.)

### **3.1.1 Erilaiset putkistot**

Putkistoja löytyy laivan jokaisesta osasta ja ne ovat välttämättömiä laivan toiminnalle.

Pääsääntöisesti putkistot voidaan jakaa aluksella konehuonetta palveleviin putkistoihin, apukoneisto- sekä hotelliputkistoihin sekä lastinkäsittelyputkistoihin. Konehuoneen putkistot ovat välttämättömät kuljetuskoneiston kuten pääkoneet, toiminnalle, ja niissä siirretään höyryä, polttoainetta, voiteluöljyjä, jäähdytysvesiä sekä ilmaa. Apukoneistoputkistoihin voidaan laskea erilaiset avustavat järjestelmät kuten pilssien tyhjenys, painolastijärjestelmä, sammutusjärjestelmät, käyttövesi, viemäröinti ja lämmitys. Lastiputkistot ovat lastin siirtoon, vastaanottoon ja luovutukseen liittyvät putkistojärjestelmät. (Häkkinen 1994, 24-26.)

Alla on lueteltuna laivan putkistojen pääluokat:

- ❖ Merivesiputket
- ❖ Makeavesiputket
- ❖ Polttoaineputket
- ❖ Öljyputket
- ❖ Höyryputket
- ❖ Ilmaputket
- ❖ Palolinjasto
- ❖ Viemäröinti
- ❖ Pilssilinjastot

- ❖ Lastiputkistot
- ❖ Painolastiputkistot (Häkkinen 1994, 2-4).

### 3.1.2 Merivesilinja

Koska opinnäytetyössä käsitellään korroosiota, jota ei läheskään kaikissa laivan putkissa esiinny, käsitellään tässä opinnäytetyössä ainoastaan merivesilinjaa tarkemmin. Merivesilinjassa on odotettavissa suurin korroosiovaara.

Laivan monet koneistot vaativat runsaasti jäähdytystehoa. Jäähdytys toteutetaan usein meriveden avulla. Merivesi johdetaan merivesikavosta pumppujen avulla putkistoon, jossa se kiertää ja palaa takaisin mereen. Merivedellä jäähdytetään lämmönvaihtimien avulla koneiston suljetussa kierrossa kiertävää makeaa vettä.

Merivesiputkisto on toteutettu usein suurella halkaisijalla, jotta virtausnopeudet saadaan pysymään maltillisina korroosion estämiseksi. Matalalla virtausnopeudella pinnoite ei lähde irtoamaan niin helposti putken seinämistä.

Merivesi on lähes aina epäpuhdasta, ja sisältää erilaisia partikkeleita sekä epäpuhtauksia, kuten hiekkaa, muovia ja eloperäisiä mikro- ja makro-organismeja (Häkkinen 1994, 23). Koneistojen jäähdytys vaatii suuren massavirran pienellä virtausnopeudella, jotta lämmönvaihtimen läpi johdettu vesi jäähdyttäisi suljetussa järjestelmässä kiertävää makeaa vettä tehokkaasti ja putkien korrosio pysyisi hallinnassa. Merivettä ei siis yleensä voida tehokkaasti suodattaa, jotta virtaus olisi mahdollisimman tehokasta. Käytettävät suodattimet ovat yleensä melko suurireikäisiä, ja niistä menee läpi esimerkiksi pienet kalat sekä muut vesieliöt sekä roskat. Nämä kertyvät suodattimeen ja putkien pinnalle, ja voivat aiheuttaa korroosiota tuottamalla orgaanisia happeja. (Häkkinen 1994, 23.)

Myös suolapitoisuus merivedessä vaihtelee alueittain, joten virtaava vesi on lähes aina erilaista ja aiheuttaa korroosiota eri voimakkuudella.

Merivesilinjat ovat usein tehty halkaisijaltaan suurista putkista, jotta veden turbulენტista virtausta voidaan välttää. Tämä vähentää osaltaan korroosiota ja eroosiota (Murdoch 2012, 14).

### **3.2 Materiaalit**

Laivojen putkistojen materiaalina käytetään pääsääntöisesti eri matalaseosteisia teräslaatuja (Murdoch 2012, 4). Luokituslaitokset sekä kansainväliset määräykset antavat tarkat ohjeet ja rajoitukset eri materiaalien käytölle. Rajoitukset perustuvat laivaan asennusympäristönä sekä turvallisuusmääräyksiin. Lämpötilankesto on yksi eniten määrittävistä kriteereistä. (DNV 2008, 7.)

Materiaaleja valittaessa tulee selvittää käyttökohde. Eri käyttökohteisiin soveltuvat erilaiset materiaalit. Esimerkiksi merivesijärjestelmiin ei suositella käytettäväksi ruostumatonta terästä (DNV 2008, 7).

#### **3.2.1 Eri teräslaadut**

Teräkset jaetaan eri luokkiin riippuen niiden hiilipitoisuudesta sekä seosaineiden pitoisuuksista. Matalaseosteissa teräksissä seosaineiden pitoisuudet ovat alle 10 %. (Häkkinen 1994, 33.)

Ruostumattomasta teräksestä puhutaan, kun seosaineena on käytetty yli 10,5 % kromia ja hiilipitoisuus on alle 1,2 %. Ruostumattomat teräslaadut voidaan jakaa austeniittisiin, ferriittisiin, martensiittisiin sekä duplex-teräksiin. (The European Stainless Steel Association 2019, 1.)

Suurin osa laivojen putkistoissa käytetyistä putkista on valmistettu hiili-teräksestä ja matalaseosteisista teräksistä. Käyttökohteesta riippuen putki on suojattu korroosiota vastaan eri menetelmillä.

Ruostumattomat teräkset materiaalina ovat myös mahdollisia, mutta korkeamman hintansa vuoksi vähemmän käytettyjä. Läheskään aina ei

ole järkevää kustannustehokkaasti tehdä kaikkea ruostumattomasta teräksestä. Siksi käytetään matalahiilisiä teräslaatuja putkistomateriaaleina. Ruostumaton teräs ei myöskään ole tae korroosiokestosta. Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen putkien korroosionkesto perustuu passiivikalvoon eli kromioksidikalvoon, jonka meriveden kloridi-ionit kuitenkin syövyttävät (Häkkinen 1994, 33).

Kustannukset vaikuttavat myös materiaalin valintaan, ja suunnittelussa on otettu huomioon laivan odotettu käyttöikä. Yleensä hiiliteräkset sekä matalaseosteiset teräslaadut riittävät odotettuun käyttöikään, ja ovat kustannustehokkain ratkaisu.

Teräsputkistoille on säädetty niin kutsuttu korroosiovara (corrosion allowance), joka kertoo kuinka paljon seinämäpaksuus voi pienentyä ennen kuin putkiston paineenkesto heikkenee. Suunniteltuun putkiston seinämäpaksuuteen lisätään korroosiovara, jotta mahdollinen korroosio ei heikentäisi putkistoa liian aikaisin. Merivesiputkille on säädetty esimerkiksi Bureau Veritaksen säännöissä 3 mm:n korroosiovara. Kuvassa 1. näkyvä taulukko kertoo yleisimpien laivan putkien korroosiovarat Bureau Veritaksen sääntöjen mukaan, mutta muiden luokituslaitosten säännökset ovat hyvinkin vastaavat. (Bureau Veritas 2018, 197.)



Piping system	Corrosion allowance (mm)
Superheated steam	0,3
Saturated steam	0,8
Steam coils in cargo tanks and liquid fuel tanks	2,0
Feed water for boilers in open circuit systems	1,5
Feed water for boilers in closed circuit systems	0,5
Blow-down systems for boilers	1,5
Compressed air	1,0
Hydraulic oil	0,3
Lubricating oil	0,3
Fuel oil	1,0
Thermal oil	1,0
Fresh water	0,8
Sea water	3,0
Refrigerants referred to in Ch 1, Sec 13	0,3
Cargo systems for oil tankers	2,0
Cargo systems for ships carrying liquefied gases	0,3
<p><b>Note 1:</b> For pipes passing through tanks, an additional corrosion allowance is to be considered in order to account for the external corrosion.</p> <p><b>Note 2:</b> The corrosion allowance of pipes efficiently protected against corrosion may be reduced by no more than 50%.</p> <p><b>Note 3:</b> When the corrosion resistance of alloy steels is adequately demonstrated, the corrosion allowance may be disregarded.</p>	

Kuva 1. Korroosiovarataulukko. (Bureau Veritas 2018)

Teräs onkin käytetyin putkistomateriaali, vaikka se on korroosioherkkää ilman kunnollista suojausta. Materiaali on kuitenkin edullista ja helppoa työstää ja vaihtaa, joten sen käyttö on hyväksyttävää. Parempaa materiaalia merivesiputkistoihin ei vielä löydy markkinoilta.

### 3.2.2 Kupari

Kupariseokset tarjoavat useita ominaisuuksia laivan putkistoissa käytettäväksi. Kuparia putken materiaalina käytetään esimerkiksi makeavesiputkistoissa sekä erilaisissa koneistojen putkistoissa, joissa tarvitaan helppoa muokattavuutta ja asennusta. Kupari on materiaalina pehmeää eli helppoa muokattavaa, joten mutkien taivuttaminen ja asennus on nopeaa. (Häkkinen 1994, 34.)

Kuparin käyttö suurempina määrinä on kuitenkin hyvin kallista, joten kuparia ei ole kannattavaa käyttää materiaalina merivesilinjoissa, joissa putken halkaisijat ovat suuria ja materiaalia kuluisi paljon. Kupari myös altistuu korroosiolle meriveden vaikutuksessa.

### **3.2.3 Muovi**

Muovi laivojen putkistomateriaalina on melko uusi tulokas, mutta silti käytössä soveltuvissa paikoissa. Muovit ovat hapon ja alkoholin reaktiotuotteina syntyviä polyesterihartseja (Häkkinen 1994, 36).

Luokituslaitosten määräykset kuitenkin rajoittavat muovin käyttöä sen ominaisuuksien ja paloherkkyyden vuoksi. Esimerkiksi merivesilinjoja ei luokituslaitosten sääntöjen mukaan voi tehdä muovista, mikäli riskinä on veden virtaus sisään alukseen. (Häkkinen 1994, 36.)

Muoviputkistoihin ei oleteta syntyvän korroosiota samalla tavalla kuin metallisiin putkiin, mutta eroosio voi vaikuttaa niihin kuluttavasti, jolloin seinämäpaksuus voi pienentyä. Muoviputkistot ovatkin hyvin huoltovapaita, ja niiden käyttöä suositellaan kohteissa, joihin ne soveltuvat. IMO eli International Maritime Organization on antanut ohjeistuksia muoviputkien käyttöön merenkulussa.

### **3.3 Putkistojen kuntoon vaikuttavat tekijät**

Putkistojen kuntoon vaikuttavat monet asiat. Mainittavimpina ovat putkiston ikä, materiaalit, asennus, ympäristö sekä putkistossa liikkuva aine. Korroosioon vaikuttavat tekijät ovat eri putkistoissa erilaisia. Merivesiputkistossa korroosionmuotoja voi esiintyä useita erilaisia joko yksittäin tai yhdessä riippuen käytetyistä materiaaleista ja asennuksista.

Putken iän vaikutus putkiston kuntoon on mainittavin. Koska korroosio alkaa yleensä yhdestä kohdasta paljastamalla paljaan metallin ja synnyttäen anodin. Mitä vanhempi putki on, sitä useammasta kohdasta on todennäköisesti pinta paljastunut ja korroosio päässyt alkamaan. Putkiston vanhetessa myös putkiston läpi virrannut neste sekä partikkelit

ovat synnyttäneet eroosiota putken sisäpinnalle. Eroosion vaikutuksesta on voitu menettää suuri osa alkuperäisestä seinämäpaksuudesta.

Materiaalien valinnan vaikutus on otettu huomioon jo laivaa suunniteltaessa, ja putkistolle on laskettu teoreettinen käyttöikä käytettävillä materiaaleilla.

Asennustekniset ratkaisut voivat vaikuttaa korroosioon ja putkiston kuntoon. Mikäli putkisto on asennettu siten että sen kannattimet tai liitokset aiheuttavat jännitykseen, altistuu putki jännityskorroosiolle. Eri-laiset kiinnitykset voivat tärinän voimasta rikkoa suojaavan pinnoitteen ja aiheuttaa korroosiota ulkopinnoille. Asennuspaikka voi aiheuttaa ulkopuolelta putkeen kohdistuvia rasitteita kuten lämpö, seisova vesi tai mekaaniset rasitteet.

Putkiston sisäpuolen korroosiota ja eroosiota kiihdyttävät virtaava merivesi ja sen mukana liikkuvat partikkelit. Meriveden suolapitoisuus on merkittävä tekijä korroosionmuodostuksessa, ja mikäli läpi virtaava vesi sisältää paljon hiovia partikkeleja kuten hiekkaa, on tuloksena eroosiota ja putkiston käyttöikä pienenee.

Ulkopuolella korroosio voi iskeä, mikäli putkisto on alttiina kosteudelle ja pinnoite on vaurioitunut. Kuvassa 1. on esitettyä erään matkustaja-autolautan ilmastointilaitteiden jäähdytysveden merivesisuodatin, joka sijaitsee erillisessä pumppuhuoneessa. Kuten kuvasta huomataan, on pinnoite kärsinyt, ja koko suodattimen ulkopinta on kärsinyt korroosiosta.



Kuva 2. Korroosiota ilmastointilaitteen jäähdytysmerivedensuodattimen pesän kyljessä. (Hokkanen 2020)

Kuvassa 2 esitetyn kaltaiset korroosiot ovat yleisiä aluksen pilssien lähetyvillä olevilla alueilla, joissa veden pinta pääsee joskus nousemaan normaalia korkeammalle, ja altistaa pinnat kosteudelle. Tässäkin tapauksessa pumppuhuoneessa on esiintynyt joskus vuotoa putkistoista, ja vesi on päässyt vaikuttamaan pitkään, jolloin esimerkiksi galvaanista korroosiota on päässyt tapahtumaan eri metallien ollessa kosketuksessa toisiinsa elektrolyyttisesti.

### 3.4 Mittaus ja tarkastus

Alusten putkistot tarkastetaan telakalla ennen luovutusta ja rakennusvaiheessa. Näissä tarkastuksissa todetaan hitsausseamujen laatu, oikeat ainevahvuudet, materiaalit sekä putkistojen toimivuus. Hitsausten tulee olla suoritettu pätevän hitsaajan toimesta. Pätevyys todistetaan esimerkiksi suoritetuilla hitsausluokilla.

Putkistoja tarkastellaan myös telakointien yhteydessä ja luokituslaitosten säännöllisissä tarkastuksissa. Luonnollisesti kokonaisen putkiston tarkastus yhden luokituslaitoksen tarkastuksen yhteydessä ei ole mahdollista, ja mahdollista on, että huonokuntoinenkin putkisto voi läpäistä tarkastuksen. Pääasialliset tarkastukset ovat visuaalisia, ja perustuvat tarkastajan asiantuntemukseen ja kokemukseen. Yleensä heikkokun-

toisen putken voi havaita päältäpäin helposti suuresta korroosiomäärästä, mutta on mahdollista, että korrosio on vaikuttanut vain putken sisäpintaan ja ulkopuolelta putki on hyvässä kunnossa. Mikäli putkiston kuntoa on syytä epäillä, ryhdytään suurempiin tarkastustoimenpiteisiin. Putkisto voidaan koeponnistaa ja tarkastaa NDT-menetelmien avulla.

Koeponnistuksessa putki paineistetaan vähintään 1,5 kertaisella paineella (DNVGL 2016). Mikäli putki kestää koeponnistuksen on se riittävän hyvässä kunnossa tarkastuksen läpäisyyn.

### **3.5 Laivan putkistojen vikaantuminen ja kunnossapito**

Laivan suunnitteluvaiheessa putkiston oletetaan kestävän laivan suunnitellun käyttöiän tai vähintään 15 vuotta (Häkkinen 1994, 37). Kuitenkin suunniteltu käyttöikä yleensä pitenee, ja alukset voivat olla aktiivikäytössä useita vuosia suunniteltua pidempään omistajanvaihdosten ja muutostelakointien seurauksena. 40-vuotta vanha laiva aktiivikäytössä ei ole mikään harvinaisuus maailman merillä.

Putkiston tai sen komponenttien vikaantuminen huomataan yleensä vasta kun se on jo tapahtunut. Tyypillisimpiä oireita ovat vuodot, jotka johtuvat korroosiosta, mekaanisista vaurioista tai putkiston komponenteista kuten venttiileistä, laipoista tai pumpuista. Erityisesti laippaliitokset ovat herkkiä vuodoille, mikäli niihin kohdistuu mekaanisia rasituksia, kuten tärinää tai vääntöä.

Korroosio aiheuttaa myös vuotoja, jotka havaitaan vasta kun ainevahvuutta on menetetty liikaa, tai pistekorroosio on päässyt yllättämään.

Aluksilla olevia putkistoja huolletaan ja korjataan yleensä vasta vian ilmettyä, tai suurempina kokonaisuuksina laitteistojen uusintojen yhteydessä tai muutostöiden yhteydessä. Tyypillisesti putkea ei korjata, vaan vaihdetaan kokonaan uuteen. Mikäli korjauksia kuitenkin tehdään,

ne tehdään usein vain väliaikaiseksi, jotta aluksen toimintakyky pystytään säilyttämään, ja putken vaihto siirtämään parempaan ajankohtaan (Murdoch 2012, 29).

Kuvassa 2 on esitetty merivesilinjan säätöventtiin jälkeen ilmestyneen pistesyöpymän väliaikainen korjaus, joka on toteutettu palalla kumia sekä kiristyspannalla. Tämän tyylinen korjaus on nopea tehdä, ja toimii yleensä hyvin pistesyöpymien väliaikaisessa paikkauksessa, jotta liikennöinti voi jatkua.



Kuva 3. Pistesyöpymän paikkaus merivesilinjassa. (Hokkanen 2020)

Kuvan 3 pistesyöpymä on luultavasti seurausta galvaanisesta korroosiosta, sillä se on hyvin lähellä meriveden takaisinkierrätysventtiiliä, joka on valmistettu eri materiaalista kuin putki.

### 3.6 Esimerkki laivan merivesiputkistosta

Tässä kappaleessa kuvataan aluksen merivesiputkiston pääkomponentit, ja niiden materiaalit sekä muut tiedot. Tiedot perustuvat M/S Finlandian putkistodiagrammeihin, jotka on laatinut aluksen valmistanut telakka, Daewoo Shipbuilding & Heavy Machinery Ltd, sekä paikan päällä tehtyyn selvitystyöhön.

Aluksessa on toteutettu pääkoneiston merivesijäähdytys lämmönvaihtimilla, jotka jäähdyttävät meriveden avulla koneistossa kiertävää makeaa vettä.

Merivesikaivo on aluksen runkoon tehty tila, johon merivesi pääsee virtaamaan vapaasti. Merivesikaivosta merivesi imetään merivesipumpuilla suodattimien läpi käyttökohteisiin kuten lämmönvaihtimiin ja palautetaan takaisin mereen laitaläpiviennin kautta. Aluksessa on merivesikaivon lisäksi laitakaivo, sekä jääkaivo jääluokan 1A ehtojen mukaisesti.

Merivesiputket ovat halkaisijaltaan 300–700 mm. Materiaalina putkistossa on käytetty rakenneterästä STPG370. STPG 370 -rakenneteräs on matalahiilistä terästä, hiilipitoisuus on alle 0,25 % (SteelJIS 2020). Korroosionestona putket ovat galvanisoitu ja maalattu ulkopinnoilta. Seinämäpaksuus on kaikissa putkissa yhtenäinen 9,5 mm. Putkisto on koeponnistettu 2,7 kg/cm<sup>2</sup>:n paineella. Suunniteltu käyttöpaine on 1,8 kg/cm<sup>2</sup>. Normaalisti vastaavan kokoluokan putkien seinämäpaksuus on 6,5 mm, mutta koska kyseessä on luokituslaitosten sääntöjen mukaan rakennettu alus, on putkissa lisätty säädetty 3 mm:n korroosiovara. (Hyundai Heavy Industries 1999.)

## 4 ULTRAÄÄNIMITTAUS NDT-MENETELMÄNÄ

NDT eli Nondestructive testing tarkoittaa ainetta rikkomatonta testausta. NDT mahdollistaa rakennelmien, materiaalien ja koneiden rakenteiden testauksen ilman rikkomista ja kalliita seisokkeja tai purka-

mista. Teollisuudessa ja merenkulussa on tärkeää, että materiaalit kestävät luvatut kuormitukset, rasitukset sekä kulumisen. NDT-testauksella voidaan todeta erilaisia vikoja sekä rakenteellisia ongelmia, jotka voivat aiheuttaa jopa koko laitoksen pysäyttämisen.

NDT-menetelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään, jotka ovat pintamenetelmät sekä volymetriset menetelmät. Pintamenetelmillä voidaan havaita ainoastaan aineen pinnassa olevat virheet ja volymetrisillä menetelmillä voidaan havaita aineen sisällä olevat virheet, kuten erilaiset huokokset tai muut materiaalin vahvuuteen vaikuttavat tekijät. (Cherfaoui 2012, 267.)

Pintamenetelmiä ovat esimerkiksi tunkeumanestetarkastukset, visuaaliset tarkastukset sekä magneettijauhetarkastukset. Volymetrisiä menetelmiä ovat radiograafiset tarkastukset sekä ultraäänitarkastukset. (Cherfaoui 2012, 267.)

#### **4.1 Toimintaperiaate**

Ultraäänit ovat ääniaaltoja, joiden taajuus on yli ihmisen kuuloalueen eli yli 20 kHz. Käytännössä ultraäänimittausta suoritetaan vaihtelevalla taajuudella 20 kHz–100 Mhz. Ääni etenee materiaalissa riippuen tiheydestä sekä kimmokertoimesta. Äänen etenemistapoja on useita, ja eri mittauslaitteet voivat käyttää eri tapaa. Yleisimmin ääni etenee pitkittäisenä (longitudinal) tai poikittaisena (transverse) aaltona. Aineen pinnassa ääni voi edetä Rayleigh-, Love- tai Lamb-aaltona. (Suomen LVI-Liitto 2013, 84.)

Mittauksissa käyttö perustuu äänen heijastumiseen takaisin rajapinnoista. Materiaalissa sijaitsee epäjatkuvuuskohtia, kuten säröjä, reunoja, syöpymiä tai muita vastaavia, joista ääni heijastuu takaisin ja mittaamalla aikaa heijastumiseen voidaan arvioida etäisyyksiä äänennopeuden avulla sekä laskukaavoilla, ja täten määrittää esimerkiksi materiaalin paksuutta, sisäisiä vikoja sekä yleinen kunto. (Berke 1993, 4.)



## 4.2 Laitteistot

Laitteiston muodostaa tavallisesti kokonaisuus, johon sisältyy virtalähde, tahdistin, pulssigeneraattori, vastaanotinvahvistin ja aikapoikkeutus. Nykyaikana elektroniikan parantuessa on nämä saatu sisällytettyä saman kuoren sisään pois lukien luotain ja sen johto. Puls-sigeneraattori tuottaa luotaimelle jännitepulssia, jonka luotain muuttaa ultraääneksi. Vastaanotin-vahvistimen tehtävänä on käsitellä palaava pulssi esitettävään muotoon. Luonnollisesti palaava pulssi on heikompi, joten se tarvitsee vahvistusta. Tämä toteutetaan vahvistimella. Tahdistimen tehtävä on synkronoida järjestelmän eri komponentit toimimaan samanaikaisesti. Aikapoikkeutus mahdollistaa kaikkujen esittämisen vaakasuoralla asteikolla ajan funktiona. Ajan funktiona esitettyä signaalia kutsutaan A-kuvalliseksi näytöksi. Signaali voidaan esittää myös muilla tavoin, kuten esimerkiksi numeraalisesti digitaalinäytöllä. Tällaista laitetta kutsutaan kansanomaisesti paksuusmittariksi. (Suomen LVI-liitto 2013, 84-85.)

Nykyaikaiset laitteet ovat jo hyvin kompakteja, ja saatu pakattua yksiin kuoriin. Laitteiston muodostaa itse ultraäänilaitte ja luotain. Luotaimet ovat yleensä vaihdettavia ja tarjoavat eri ominaisuuksia. Luotaimen valinnalla on suuri vaikutus ja se tulee valita aina mitattavan kohteen mukaisesti.

Johtuen ääniaaltojen huonosta kulkemisesta ilmassa, joudutaan luotaimen ja tarkastettavan kappaleen välillä käyttämään kytkentäainetta, eli ainetta, joka mahdollistaa ääniaaltojen kulkemisen. Tämä aine voi olla nestemäistä tai geelimäistä. Aineen valintaan vaikuttaa mitattava kohde, ja pystysuorissa sovellutuksissa aineen paikallaan pysyminen on tärkeää. Myös pinnankarheus vaikuttaa aineen valintaan.

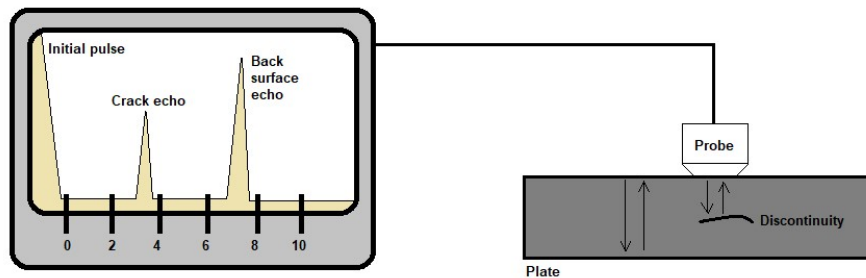
Käytetyn taajuuden valinta vaikuttaa vikakokojen havainnointiin, mutta korkeat taajuudet aiheuttavat vaimenemista. Vaimeneminen tulee ottaa

huomioon valittaessa tarkastuksessa käytettävää luotainta. (Suomen LVI-liitto 2013, 85.)

#### 4.2.1 Yhdestä pisteestä mittaava ultraäänimittari sekä vaiheistamaton ultraäänimittaus

Yksinkertaisin käytettävistä mittarityypeistä on yhdellä luotaimella varustettu paksuusmittari, joka tarjoaa vain paksuustiedon. Tämä on perinteinen tapa suorittaa ultraäänimittaus. Näiden mittarien käyttö on suhteellisen yksinkertaista ja helppoa. Mittarit ovat varustettu mittauslaitteella ja luotaimella. Luotainta siirtelemällä saadaan mitattavan kohdan paksuus nopeasti selville. Menetelmä on niin kutsuttu pulse-echo, jossa sama luotain lähettää ja vastaanottaa ultraäänisignaalin. Tämä mahdollistaa mittauksen suorittamisen vain toiselta puolelta materiaalia. (NDT Resource Center, s.a.)

Mittausalueet tällaisissa mittareissa vaihtelevat, mutta yleensä mittausalue on ilmoitettu 0,8 mm–300 mm:n välille. Erottelualue vaihtelee riippuen käytettävästä luotaimesta, mutta on yleensä välillä 0,01 mm–0,1 mm.



Kuva 4. Havainnekuva ultraäänimittauksen suorittamisesta yksivaiheisella mittarilla. (SZUTEST s.a.)

Ultraäänimittauksen heikkoutena on mittauksen suorittaminen ainoastaan yhdestä pisteestä. Mittauksia joudutaan siis suorittamaan useasta eri kohdasta, useammalla mittauksella. Pienet, mutta materiaalia heikentävät virheet ja vauriot kuten pistesyöpymät voivat siis jäädä helposti huomaamatta. Osassa mittareista on skannausvaihtoehto, jossa

luotainta voidaan siirrellä mittauksen aikana ja tuloksia voidaan seurata näytöltä reaaliajassa. Skannauksella on helppo huomata erot mittaus-tuloksissa nopeasti. Mahdollisuudet pienten virheiden huomaamiseen kasvavat.

Echo to echo -ominaisuudella varustetut mittarit pystyvät mittaamaan materiaalin paksuuden pinnoitteen kuten maali läpi. Tekniikka perustuu kaiusta kaikuun -mittaukseen. Koska pinnoitteella on eri äänennopeus kuin mitattavalla materiaalilla, normaalilla mittauksella saadaan virheel-linen tulos pinnoitteen läpi mitattaessa (Carnevale 2017).



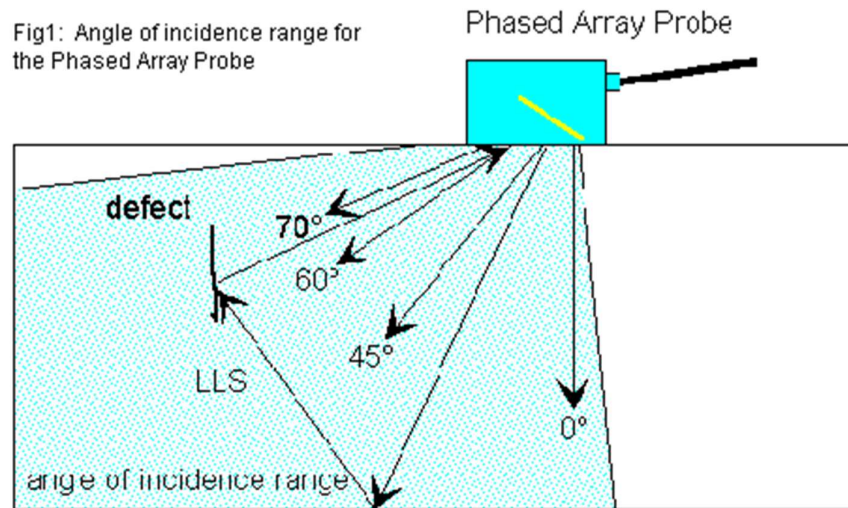
Kuva 5. Sauter TN 30 E-E ultraäänipaksuusmittari. (Sauter s.a.)

Kuvassa 5 on esitetty Sauterin valmistama ultraäänipaksuusmittari. Näyttö on helppolukuinen ja laite on kompakti. Luotaimet ovat vaihdet-tavat kyseisessä mallissa. Mittari on myös varustettu echo-to echo-me-netelmällä, jolloin se soveltuu pinnoitteen läpi mittaukseen.

#### 4.2.2 Vaiheistettu ultraäänimittaus

Vaiheistettu ultraäänimittaus (Phased array) on kehittyneempi ultraää-nimittaustapa, ja mittarit ovat tarkempia. Siinä lähetetään useampia ult-raääniaaltoja mitattavaan kohteeseen eri kulmissa, ja näistä piirretään laitteen näytölle graafinen esitys tuloksista. (Eddyfi 2020.)

Kuvassa 6 on esitetty havainnoivasti vaiheistetun ultraäänimittauksen toimintaperiaate. Ultraääniaallot lähtevät eri kulmissa ja kattavat täten laajan pinta-alan materiaalista.



Kuva 6. Vaiheistetun ultraäänien havainnekuva. (Ritter 1996)

Laitteet ovat huomattavasti kalliimpia kuin perinteinen laite sekä monimutkaisempia käyttää ja tulkitä. Tehokas ja luotettava käyttö vaatii perehtyneisyyttä kuvan tulkitsemiseen oikeiden tulosten saamiseksi.



Kuva 7. Olympus Omniscan X3. (Olympus 2020)

Kuvassa 7 on esitelty Olympus Omniscan X3 laitteen näyttö. Kuten edellä todettiin, vaatii vaiheistetun ultraäänimittarin näytön tulkinta vahvaa perehtyneisyyttä, jotta tuloksista saadaan luotettavia ja käyttö on tehokasta.

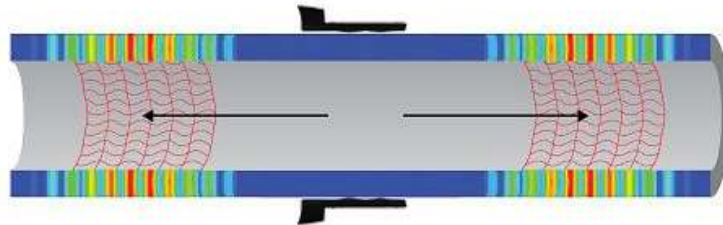
#### 4.2.3 LRUT eli Long Range Ultrasonic Testing

Uusimpana teknologiana putkistojen ultraäänimittauksessa on otettu käyttöön Long Range Ultrasonic eli pitkän kantaman ultraäänitestaus.

LRUT-menetelmässä putken ympärille kiinnitetään lähetinrenkas, joka lähettää ultraääntä putken seinämiä pitkin. Putkea voidaan menetelmän avulla tarkastaa useita metrejä, jopa 100 metriä.

Mittausdata piiryy tietokoneen näytölle, ja siinä voidaan havaita putkessa esiintyvät poikkeamat. (Kiwa Inspecta 2020.)

Kuvassa 8 esitetään mittaustapa, putken ympärille on asennettu lähetinrenkas, joka lähettää ultraääniaaltoja molempiin suuntiin putkessa, ja matkalla olevat virheet aiheuttavat heijastuman näytölle.



Kuva 8. Havainnekuva LRUT-tekniikasta. (Advanced NDT Solutions s.a.)

LRUT-tekniikka on hyvin kallista ja vaatii tarkastajilta koulutuksen käyttöön. Tehokas tapa esimerkiksi pitkien lastiputkistojen tarkastukseen alusten kansilla.

### 4.3 Käyttäjän pätevyys

Virallisten ja standardisoitujen NDT-testauksien suorittajien tulee olla päteviä. Standardi SFS-EN ISO 9712 määrittää NDT-tarkastajien päte-

vyysvaatimukset (Taitotalo 2020). Yritykset, jotka tarjoavat NDT-palveluita kuten ultraäänimittausta, ovat kouluttaneet tarkastajilleen tarvittavat pätevyudet ja toiminta on sertifioitua, jotta tulosten tarkkuuteen voidaan luottaa, ja toiminta on puolueetonta.

#### **4.4 Käyttökohteet**

Ultraääntä käytetään osana ainetta rikkomattomia koetuksia, joko yksistään tai muiden tarkastusten kanssa yhdistelmänä. Käyttökohteita ovat hitsisaumojen tarkastukset sekä eri materiaalien ja kohteiden paksuusmittaukset.

Laivojen tarkastuksissa ultraäänimittaria käytetään pääasiassa paksuusmittauksissa rungon, tankkien sekä putkistojen paksuuksia tarkastaessa. Pohjan paksuusmittaukset ovat yksi yleisimmistä suoritetuista mittauksista. Mittaukset suoritetaan yleensä telakoinnin sekä määrättyjen tarkastusten yhteydessä pätevän tarkastajan toimesta. Luokituslaitosten ohjeistuksissa on usein määritetty vaatimukset ultraäänitarkastusten suorittamiselle aluksen rungon osalta. DNVGL tarjoaa julkaisussaan Ultrasonic thickness measurements of ships, joka on päivitetty vuonna 2016, ohjeet rungon ultraäänitarkastuksen suorittamiseen. Ohjeessa on määritelty kriittiset alueet ja ohjeistukset tarkastajan toiminnalle.

#### **4.5 Ultraäänimittauksen hyvät ja huonot puolet**

Jokaisella NDT-menetelmällä on etuja ja heikkouksia, jotka vaikuttavat menetelmän valintaan ja käyttöön. Tässä kappaleessa esitellään ultraäänimittauksen edut ja heikkoudet tiivistettynä mukailien Professori Robert A Smithin vuonna 2015 Rolls-Roycen harjoittelijoille kirjoittamaa ohjedokumenttia An Introduction to NDT Common Methods.

Edut:

- Hyvä tunkeutumiskyky, mahdollistaa materiaalissa syvällä olevien virheiden löytämisen

- Tarkka virheiden etsimisessä
- Mahdollistaa virheiden muodon selvittämisen
- Mahdollistaa aineen tutkimisen vain yhdeltä puolelta
- Nopea käyttöä
- Kannettavat laitteistot
- Tulosten käsittely helppoa

Heikkoudet:

- Tulkitseminen voi olla vaikeaa
- Vaatii käyttäjältä kokemusta luotettavien mittausten saamiseksi
- Valmistelu ja mittauskäytännöt vaativat kokemusta ja teknistä osaamista
- Pinnan muodot vaikeuttavat testausta ja pinnan tulee olla puhdas, ja mahdollisimman tasainen
- Väliaineen käyttö pakollista
- Kalibrointi vaaditaan (Smith 2015.)

#### 4.6 Ultraäänimittauksen suorittaminen

Ultraäänimittaus suoritetaan eri tyyppisillä laitteistoilla hieman eri tavalla. Tässä käsitellään tavallisen yhdestä pisteestä mittaavan ultraäänilaitteen käyttöä aikaisempien kappaleiden tietojen ja lähdemateriaalien perusteella. Pitkän kantaman ultraäänilaitteille sekä vaiheistetuille ultraäänilaitteille on omat käyttötapsansa ja tulosten tarkastelu eroaa huomattavasti yhdestä pisteestä mittaavasta mittauksesta.

Tärkeää on, että laite on kalibroitu kyseiselle materiaalille, ja aineen sisäinen äänennopeus on otettu huomioon. Liitteessä 1 on luettelona eri aineiden äänennopeuksia. Eri materiaalien äänennopeudet löytyvät yleensä internetistä tai valmistajan tietopankeista.

Yhdestä pisteestä mittaavalla mittarilla mittaus aloitetaan valitsemalla haluttu mittaushohta, ja siitä puhdistetaan mahdollinen pinnoite pois, jotta se ei häiritse mittaustulosta. Joissain paksuusmittareissa on myös echo to echo-ominaisuus, joka ottaa huomioon pinnoitteen paksuuden, eikä sen poistaminen ole välttämätöntä (NDT-tukku Oy 2020).

Mittauksessa levitetään väliainetta mitattavalle pinnalle, koska ultraäänit eivät liiku ilmassa kovinkaan tehokkaasti. Väliaineita on erilaisia,

tärkeintä on, että aine johtaa ultraääntä ja muodostaa tiiviin kalvon luotaimen ja mitattavan pinnan välille.

Mittarin asetukset tarkistetaan, ja tarvittaessa suoritetaan kalibrointi kalibrointipalan avulla. Oikean äänennopeuden valitseminen materiaalille on erittäin tärkeää, jotta tulokset saadaan oikeaksi. Tärkeää on myös ottaa huomioon vallitsevat olosuhteet kuten lämpötila.

Mittarin luotain asetetaan mitattavalle pinnalle ja seurataan näytöstä paksuuslukemia tai a-kuvallista näyttöä. Säröjä havaitessa muodostuu epäjatkuvuuskohtia näytölle tai paksuuslukema muuttuu. Luotainta voidaan liikutella hitaasti ja mitata useammasta pisteestä, jotta saadaan varmistettua mitattavan alueen olevan yhtä paksua, ja tulosta voidaan siten pitää luotettavana.

## **5 ULTRAÄÄNIMITTARI OSAKSI LAIVAN PUTKISTOJEN ENNAKOIVAA KUNNOSSAPITOA**

Tässä osiossa pohditaan mahdollisuuksia ultraäänimittarin käyttöön laivan putkistojen ennakoivassa kunnossapidossa.

Ultraäänimittarin avulla saadaan putkistojen lisäksi mitattua myös muiden metallirakennelmien paksuuksia, kuten tankkien seinämiä sekä paikkoja, joissa voidaan epäillä korroosion syöneen ainevahvuutta joko seisovan veden tai muun ulkoisen tekijän vaikutuksesta. Käyttö ei siis rajaudu vain putkistoihin, vaan mittari on monikäyttöinen laite.

### **5.1 Ennakoiva kunnossapito**

Kunnossapito tarkoittaa laitteiston huoltamista sekä kunnosta huolehtimista. Kunnossapito sisältää useita eri toimintatapoja sekä toimintoja. Pääsääntöisesti kunnossapito voidaan jakaa hallinnollisiin toimintoihin, taloudellisiin toimintoihin sekä teknillisiin toimintoihin. (Opetushallitus s.a.)



Ennakoiva kunnossapito tarkoittaa kunnossapitoa, jossa toimenpiteitä tehdään ennen kuin mitään hajoaa. Ennakoiva kunnossapito sisältää erilaisia toimenpiteitä, jotka pidentävät laitteen käyttöikä ja ovat toteutettavissa ennakkoon. Ennakoivaa kunnossapitoa ovat esimerkiksi öljyn vaihdot, erilaiset tarkastukset sekä testaukset, joita tehdään ennen vikaantumista. (Opetushallitus s.a.)

## **5.2 Säännöllinen seuranta**

Säännöllisen mittauksen tarkoituksena olisi saada jatkuvaa informaatiota putkiston sen hetkisestä kunnosta. Mittausjärjestelyä varten tulisi etsiä putkistosta kohta, jossa voidaan olettaa tapahtuvan kaikista eniten korroosiota. Yleensä tällainen kohta muodostuu putkiston kohtaan, jossa esiintyy jännitystä, galvaanista korroosiota tai eroosiota. Kohta voi olla esimerkiksi mutka, jossa virtausnopeus muuttuu huomattavasti, putken kannake tai muu sellainen kohta, jossa voidaan olettaa syntyvän jotain korroosiotyypeistä. (Häkkinen 1994, 26.)

Ennen säännöllistä seurantaa ja mittausta tulee tietenkin selvittää putken alkuperäinen paksuus sekä korroosiovara, jotta tuloksista nähdään muutokset.

Säännöllisen seurannan kohteena olevasta kohdasta käytäisiin ottamassa säännöllisin väliajoin lukemat useammasta eri pisteestä. Tulosten perusteella voitaisiin arvioida, onko korroosio voimakasta, ja luoda ennuste saatujen tulosten perusteella, milloin toimenpiteisiin tulisi ryhtyä ja mahdollisesti uusia putkistoa. Tilanne, jossa korroosiovara alkaa olla vähissä olisi mittausten perusteella siis hyvin ennakoitavissa. Kuten luvussa 3.6 on kerrottu putken alkuperäinen seinämäpaksuus sekä materiaali mahdollista selvittää aluksen putkistodiagrammien taulukoista. Kun alkuperäinen paksuus sekä materiaali tiedetään, on helppoa lähteä toteuttamaan seurantaa.

### 5.2.1 Tuloksien kirjaaminen

Ultraäänimittauksesta saatavat tulokset täytyy kirjata ulos ja arkistoida, jotta seuranta onnistuisi. Kirjaamisen tulisi olla helppoa, jotta kaikki seurantaan tekevät henkilöt osaisivat tulkita ja kirjata tulokset oikein.

Seurantapäiväkirjasta tulee ilmetä mittauspäivämäärä, seinämäpaksuus, mittauskohdat sekä muut huomioitavat asiat. Yksinkertaisimmillaan seuranta voitaisiin toteuttaa Excel-taulukolla, johon tarvittavat tiedot saadaan kirjattua. Vaihtoehtoisesti mittarien laitevalmistajat tarjoavat omia seurantaohjelmistojaan.

### 5.3 Tarpeellisuus

Eriyisesti vanhemmissa laivoissa putkiston kunto on yleensä arvoitus, ja yllättäviä tilanteita voi tulla eteen putkiston kunnan osalta. Tilanteessa, jossa varustamoon on hankittu laiva käytettynä, ei yleensä ostohetkellä ole kattavaa tietoa aluksen yksittäisten järjestelmien kunnosta, vaan yllätyksiä voi tulla vastaan. Tämänkaltaisissa tilanteissa yleensä alus luokitetaan ja katsastetaan vastaamaan mahdollisesti muuttuneen liikennealueen vaatimuksia, ja näissä tarkastuksissa saatetaan tarkastaa jotain putkistoja, mutta ei perusteellisesti koko alusta. Mikäli aluksella olisi oma ultraäänipaksuusmittari, voisi henkilökunta suorittaa järjestelmällistä paksuusmittausta putkistoille, ja suunnitella saatujen tulosten perusteella tulevia telakointeja.

Myös aluksen liikennöinti useilla alueilla voi altistaa korroosiolle meren suolapitoisuuden vaihtuessa, joten korroosion vaikutus voi vaihdella, ja aiheuttaa yllätyksiä. Kuten aikaisemmin on todettu vaikuttaa meriveden suolapitoisuus korroosion voimakkuuteen.

Kuvassa 9 on ilmastointilaitteiston merivesijähdytyksen suodattimelta lähtevä putki 20-vuotta vanhasta aluksesta. Putken ulkopuolinen sinkitys on irronnut, ja tilassa on ollut kosteutta, joka on antanut mahdollisuuden korroosiolle. Tilanteessa olisi hyvä varmistua putken seinämäpaksuudesta, sillä sisäpuolella tilanne voi olla täysin samanlainen, tai

jopa pahempi. Painolastiputkistoissa voi jäädä vesi seisomaan pitkäksi-  
kin aikaa, mikäli tarvetta jatkuvaan painolastin kanssa toimimiseen ei  
ole.



Kuva 9. Korroosiota merivesiputkessa. (Hokkanen 2020)

Putkiston ulkopuolelta ei aina kuitenkaan voi aina tulkita sisäpuolen  
kuntoa, mutta hyvin todennäköisesti se ei ainakaan ole parempi tässä  
tapauksessa.

#### **5.4 Laitteiston hankinta**

Aikaisemmin käsitellyistä ultraäänimittausavoista ja laitteista tähän so-  
vellutukseen kaikista parhaiten sopii yksinkertainen, yhdestä pisteestä  
mittaava sekä paksuustiedon helposti luettavassa muodossa ilmoittava

mittari. Yksinkertaisen paksuusmittarin hankinta on hyvin helppoa, ja markkinoilta löytyy useita malleja. Mittaria valitessa tulee pohtia mittarin käyttötarkoitus, mitattava materiaali, haluttu mittarin tarkkuus sekä käyttötapa (Carnevale 2017).

Markkinoilta löytyy useiden valmistajien ultraäänimittareita eri hintaluokissa, riippuen haluttavista ominaisuuksista. Halvimmillaan paksuusmittarin voi saada muutamalla sadalla eurolla, mutta ominaisuuksista joutuu siinä vaiheessa karsimaan reilusti. Hintaluokassa ylöspäin mentäessä alkaa lisää ominaisuuksia sekä muunneltavuutta löytymään. Kalliimmat laitteet tarjoavat echo to echo-ominaisuuden, skannausominaisuuksia sekä valikoiman vaihdettavia luotaimia eri käyttötarkoituksiin. Myös A-kuvalliset näytöt tulevat kalliimmissa laitteissa saataville.

Hankintakustannuksiltaan pieni mittari voi olla houkutteleva, mutta kuten muussakaan työkaluhankinnassa, ei tässäkään kannata tyytyä halvimpaan. Halvimmista mittareista puuttuvat echo to echo ja skannausominaisuus vaikeuttavat mittausta, ja aiheuttavat lisää työtä. Myös mittareiden käyttöikä sekä tarkkuus voivat aiheuttaa ongelmia edullisessa hintaluokassa. Jatkuva pinnoitteen poisto ja uudelleen pinnoittaminen eivät ole suotavia mittauksen suorittamiseksi. Pinnoitteen poisto altistaa aina putken pinnan korroosiolle, sekä kuluttaa materiaalin paksuutta, mikäli toistetaan useita satoja kertoja.

Tässä sovelluksessa hintaluokaksi valitaan noin 1000 euroa, jolla saa jo perusominauksiltaan käyttötarkoitukseen riittävän mittarin. Aikaisemmin mainittu Sauter TN 30 E-E soveltuu hyvin tähän hintaluokkaan, ja laitteessa on vaadittavat ominaisuudet sekä helppolukuinen näyttö. Muilla valmistajilla on myös vastaavat mittarit lähes samoilla ominaisuuksilla vastaavassa hintaluokassa, joten kilpailutus laitteista kannattaa, mikäli hankinta on ajankohtaista. Esimerkiksi Elbecon tarjoaa MT-190 mallin laitetta, joka on ominaisuuksiltaan ja ulkonäöltään lähes identtinen Sauterin laitteen kanssa. Liitteessä 3 on kyseisen tuotteen tuote-esitys, josta nähdään laitteen ominaisuudet.

## 5.5 Laitteen käyttöön vaadittava pätevyys ja koulutus laivalla

NDT-tarkastuksia tulevien henkilöiden tulee olla sertifikoituja sekä päteviä tekemään tarkastuksia, sama koskee myös ultraäänitarkastuksia. SFS-EN ISO 9712-standardissa on määritetty NDT-tarkastajalta vaadittavat pätevyydet. Standardi sisältää kaikki NDT-menetelmät. Koulutusta NDT-menetelmiin tarjoavat eri tahot. Esimerkiksi Taitotalo tarjoaa Ultraäänitarkastus 1 kurssia, joka täyttää SFS-EN ISO 9712-standardin mukaisesti tason 1 ultraäänitarkastajan koulutukset. Kurssin hinta on 1575e + alv 24%. (Taitotalo 2020.)

Miehistön pätevöittäminen tekemään ndt-tarkastuksia toisi kustannuksia varustamolle. Sovelluksessa olisi siis luontevinta käyttää ns. maallikkotason koulutusta laitteen käyttöön. Koulutusta ja oppaita löytyy internetistä sekä laitteiden käyttöohjekirjoista. Niiden avulla aluksen miehistö voisi opetella käyttämään mittaria riittävällä tarkkuudella sovellutuksen käyttöä varten. Erilaiset harjoituskappaleet olisivat hyviä auttamaan tulkitsemaan mittarin antamia lukemia. Vanhojen vaurioituneiden putkien pätkiä voisi käyttää harjoitusmateriaalina.

## 5.6 Sovellutus

Laivan henkilöstön käytössä mittaria sovellettaisiin käytettäväksi merivesiputkiston seinämäpaksuuksien säännöllisessä seurannassa. Seuranta toteutettaisiin säännöllisesti konehenkilöstön toimesta ja tulokset kirjattaisiin.

Ennalta tulisi määrittää kriittiset kohdat putkistosta, jossa korroosiota todennäköisimmin tapahtuu, ja joissa mittauksia pitkäjänteisesti tekeillä voidaan huomata seinämäpaksuuden vähenevän. Kriittinen kohta voisi olla esimerkiksi merivesilinjassa oleva mutka, merivesikaivo tai muu korroosiolle altis paikka.

Kuvassa 10 on esitetty merivesilinjan ulkolaitaan menevä putkisto, josta järjestelmässä kiertänyt merivesi syötetään takaisin mereen. Kyseisessä kohdassa on havaittavissa korroosion ja eroosion muodostumiselle otollisia paikkoja. Hitsisaumat, laippaliitos, kannatin sekä mutkat ovat aiemmin todettu korroosiolle alttiiksi paikoiksi. Seuranta voitaisiin toteuttaa esimerkiksi tämän kaltaisista paikoista.



Kuva 10. Mahdollisesti otollinen paikka korroosiolle merivesiputkistossa. (Hokkanen 2020)

Korroosionopeudet vaihtelevat, joten seuranta-ajan tulisi olla riittävän pitkä, jotta mahdollinen seinämäpaksuuden muutos olisi edes havaittavissa.

Sovellutuksessa luodaan seurantarutiinit seinämäpaksuuden seurannalle. Seinämäpaksuuden mittaus voitaisiin sisällyttää PMS-järjestelmään (Planned Maintenance System), kuten Teomaki tai AMOS. Keskimääräinen korroosioaika on joitakin millimetrin sadasosia vuodessa, joten seurantaväliksi riittäisi luultavasti vähintään kuukausi. PMS-järjestelmä antaisi kuukauden tai muun määritellyn ajan välein tehtäväksi käydä mittaamassa putkiston paksuuden ja mittaus suoritettaisiin. Seurantavälin ollessa pidempi, olisi mahdollista toteuttaa ns. kiertävä systeemi, jossa kerran kuukaudessa käytäisiin mittaamassa yksi putki, ja seuraavan kuukautena toinen. Näin saavutettaisiin tehokas seuranta kokonaan riskialttiille putkistolle.

Erittäin tärkeää mittauksen suorittamisessa on saada mittaustilanne joka kerta samanlaiseksi sekä suorittaa samoilla mittarin säädöillä ja asetuksilla, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään. Esimerkiksi lämpötilan tulisi olla aina sama, tai lämpötilan aiheuttama muutos materiaalin paksuudessa tulisi ottaa huomioon. Joissakin kalliimmissa mittareissa on ominaisuus, joka ottaa tämän lämpötilan huomioon ja muokkaa tulosta lämpölaajenemiskertoimen mukaan. (Berke s.a., 7.)



Kuva 11. Merivesikaivolta lähtevä merivesiputki ja venttiili merivesisuodattimelle.  
(Hokkanen 2020)

Kuten kuvasta 11 huomataan ovat putkien halkaisijat suuria. Tässä tapauksessa kyseessä on DN 700 -putki. Suuret halkaisijat mahdollistavat pienen virtausnopeuden. Myös putken maalipinnoitteen alta voidaan havaita sinkkipinnoitteen olemassaolo.

## 5.7 Kustannukset

Tiukkojen taloustilanteiden aikana budjetointi on tehty tiukasti, eikä ylimääräisiin hankintoihin yleensä löydy rahoitusta. Yksinkertaisen mittarin hankinta tosin on hyvin edullista, joten luultavasti sellaisen saisi ujutettua budjettiin mukaan. Halvimmillaan paksuusmittarin saa hankittua



muutamalla sadalla eurolla, mutta näissä joutuu karsimaan rajusti ominaisuuksista ja laadusta. Noin tuhannella eurolla saadaan jo ominaisuuksiltaan täysin riittävä mittari, jolla mittaukset sujuvat mukavasti.

Kustannuksia arvioidessa on myös pohdittava ultraäänimittaukseen käytettävää aikaa sekä seurantaan käytettävää aikaa. Nämä ovat suoraan pois muuhun työhön käytettävästä ajasta. Ultraäänimittaukset voisikin suorittaa niin sanottuina hiljaisina hetkinä, jolloin muu tekeminen ja priorisoidut tehtävät on suoritettu. Alussa seurannan käyminen vie enemmän aikaa, mutta homman rutinoituessa on toimenpide suoritettavissa nopeasti ja tehokkaasti, jolloin käytettävä aika pienenee.

## **5.8 Mahdollisuudet**

Ultraäänimittarin hankinta laivalle putkistojen kunnon seurantaan tarjoaa myös mahdollisuuden muiden kohteiden paksuusmittauksiin, ja käyttökohteita löytyy laivoilta suuri määrä. Merivesilinjoja, jotka ovat alttiina korroosiolle löytyy myös painolastijärjestelmistä sekä matkustajalaivoilla suurien ilmastointilaitteistojen jäähdytysjärjestelmistä.

Luokituslaitosten tarkastusten kannalta olisi hyvä, jos seurannassa saatua dataa voitaisiin hyväksyä virallisiin pöytäkirjoihin, eikä tarkastuksissa tarvitsisi käydä joka kerta kaikkia vastaavia kohtia, mikäli mittausdataa voitaisiin pitää luotettavana ja aktiivisena. Luokituslaitosten kanta asiaan olisi hyvä selvittää, jos heidän puoleltaan olisi saatavissa helpoituksia tarkastuksiin.

Suurena mahdollisuutena ultraäänimittarin käytössä on tehostunut ja jatkuva putkiston kunnonseuranta, joka tarjoaa mahdollisuudet suunnitella telakoinnit putkiston osalta ennakkoon. Yllätyksien määrä putkiston kuntoon liittyvissä asioissa pienenee, ja voidaan ennakoida mahdolliset putkirikot hyvissä ajoin. Yllätykselliset asiat ovat yleensä kalliita ja pahimmassa tapauksessa aiheuttavat jopa liikennöinnin pysäyttämisen.

## 5.9 Ongelmat

Ongelmalliseksi ultraäänimittauksen ottaminen osaksi ennakoivaa kunnossapitoa muodostavat käytännön ongelmat sekä mittauksen haastavuus ilman pätevoitymistä. Mittaustulokset voivat vaihdella huomattavasti riippuen mittaajasta sekä laitteistosta. Myös tulosten hyväksyttävyyttä esimerkiksi luokituslaitosten tarkastusten yhteydessä on epävarmaa, koska mittaukset eivät ole suoritettu pätevoityneen tarkastajan toimesta.

Ultraäänimittaus on myös epätarkkaa, koska putkiston kunto saadaan määritettyä vain yhdestä pisteestä, ja esimerkiksi pistesyöpymien havainnointi on vaikeaa. Virhelöydökset tulisikin aina varmentaa röntgenkuvauksella (Suomen LVI-liitto 2013, 38).

Saavutettavan hyödyn jääminen pieneksi tai olemattomaksi on myös riski, koska putkien käyttöiät on yleensä laskettu riittämään laivan oletetun käyttöajan ajan. Mahdolliset odottamattomat seinämäpaksuuden ohenemat olisi tietysti mahdollista saada ultraäänimittauksilla ja seurantalutulosten vertailulla huomattua.

Ennakoivan kunnossapidon kannalta ultraäänimittausmenetelmää ei valitettavasti voi hyödyntää muiden kuin putkiston varsinaisten osien kunnan seurantaan. Oheislaitteet, liitokset sekä muut jäävät yhä riskialttiiksi osiksi ja voivat aiheuttaa ongelmia ja yllätyksiä. Vuotavat venttiilit, laippaliitokset ja niiden tiivisteet sekä pumpput voivat pettää, vaikka putkiston materiaalin kunto ja tila tiedettäisiin.

## 5.10 Johtopäätös

Ultraäänipaksuusmittarin hankinta laivalle putkistojen ennakoivaa kunnossapitoa varten voi olla tarpeellinen, mikäli halutaan tietää seinämäpaksuuksia eri kohteista, mutta kuitenkin tällä hetkellä olevalla tekniikalla se ei sovellu yksistään luotettavaksi menetelmäksi tarkastusme-

netelmän epäluotettavuuden vuoksi. Virheiden havaitseminen on tuurista kiinni, ja vaatii käyttäjältä perehtyneisyyttä laitteen käyttöön ja lukemien tulkitsemiseen.

Jatkuvasti kehittyvä teknologia tarjoaa kuitenkin uusia laitteita jatkuvasti ja mahdollisesti tulevaisuudessa on saatavilla laitteita, jotka ovat esimerkiksi eräänlaisia hybridejä, jotka yhdistävät useamman NDT-menetelmän yhteen laitteeseen, jolloin tuloksista saadaan luotettavampia.

## 6 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön pohjalta voidaan todeta, ettei ultraäänimittausten suorittaminen henkilökunnan toimesta aluksella ole aivan yksinkertainen toimenpide, mutta täysin toteutettavissa sekä paljon potentiaalia omaava tapa selvittää putkiston kuntoa muun ennakoivan kunnossapidon ohella. Parhaimmillaan ultraäänimittarin hankinnalla voitaisiin tehostaa ennakoivaa kunnossapitoa. Ajantasaiset tiedot putkiston korroosiosta ja mahdollisesta uusinnan tarpeesta tulisivat hyvissä ajoin, ja niihin ehdittäisiin reagoimaan ennen suurempia vahinkoja.

Opinnäytetyöhön kerätyt tiedot antavat hyvän pohjan kehittää seurantasovellutusta tästä eteenpäin ja jonakin päivänä ultraäänimittari voisi olla aktiivisessa käytössä putkistojen ennakoivassa kunnossapidossa. Tämä tietysti vaatii hieman kokeilumieltä sekä pitkän seurantajakson, jonka aikana nähdään saavutettava hyöty. Myös varustamon tai muun toimijan tulee olla suostuvainen sekä kiinnostunut kokeilemaan seurantaa, jotta käytännön asiat kuten mittarin hankinta saadaan onnistumaan ja mahdutettua budjettiin. Tarkkojen tulosten saaminen vie jonkin aikaa, joten aikaa laitteen käytön opiskelulle tulee varata.

Opinnäytetyöprosessi oli haastava, sillä mahdollisuutta laitteen hankkimiseen ja seurannan toteuttamiseen ei ollut. Olisi ollut mukava päästä kokeilemaan erilaisia mittauksia oikeassa ympäristössä, mutta aikataulun ja mittarin puuttumisen vuoksi toteutus ei ollut mahdollista. Opin-

näytetyö avasi ja syvensi tietoa laivan putkistoista ja niiden materiaaleista ja heikkouksista huomattavasti. Myös ultraäänen käyttö NDT-menetelmänä oli itselleni melko tuntematon, ja siihen tutustuminen teoreettisella tasolla oli hyvin opettavaista.

Seuraava luonnollinen jatkumo opinnäytetyölle olisi ottaa tehdä selvitys jonkun aluksen putkistoista ja kriittisistä kohdista sekä aloittaa säännöllinen seuranta putkistojen kunnan toteamiseksi. Ennakoivan kunnossapidon kannalta voitaisiin saavuttaa parhaimmassa tapauksessa tilanne, jossa putkiston kunto tiedettäisiin jatkuvasti eikä ikäviä yllätyksiä pääsisi tapahtumaan. Putkistojen korjaukset ja vaihdot voitaisiin suunnitella ajoissa, mikäli havaitaan seinämäpaksuuden ohenemista.

## LÄHTEET

Basic Principles of Ultrasonic Testing. NDT Resource Center. Verkkosivusto. Saatavilla: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Introduction/description.php> [viitattu 21.3.2020].

Berke, M. s.a. Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus. Krautkrämer. PDF-tiedosto. Saatavilla: <https://www.sonar.fi/wp-content/themes/sonarfit-heme/ohjeet/ultraaanitarkastus.pdf> [viitattu 18.4.2020].

Carnevale, D. 2017. What you need to know when selecting an ultrasonic thickness gage. Verkkosivusto. Saatavilla: <https://www.quality-mag.com/articles/94332-what-you-need-to-know-when-selecting-an-ultrasonic-thickness-gage> [viitattu 25.4.2020].

Cherfaoui, M. 2012. Innovative Techniques in Non-Destructive Testing and Industrial Applications on Pressure Equipment. Procedia Engineering. PDF-tiedosto. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812045353> [viitattu 20.4.2020].

Guidance Document: An Introduction to NDT Common Methods. 2015. Smith Robert. British Institute of Non-destructive testing. PDF-tiedosto. Saatavilla: <https://www.bindt.org/admin/Downloads/Apprenticeship-Guidance-Document.pdf> [viitattu 21.4.2020].

Häkkinen, P. 1999. Laivan putkistot. 5. painos. Otaniemi. Teknillinen korkeakoulu

Kiwa Inspecta Oy. 2020. Verkkosivusto. Saatavilla: <https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelumme/korroosiotarkastus-putkille-ultraaanitekniikalla-guided-wave-lrut/> [viitattu 28.4.2020].

Kunnossapito-opetusmateriaalit. Opetushallitus s.a. Verkkosivusto. Viitattu 25.4.2020. Saatavilla: [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet\\_2-1\\_kunnossapidon\\_kasitteet\\_ja\\_maaritelmat.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_2-1_kunnossapidon_kasitteet_ja_maaritelmat.html) [viitattu 30.3.2020].

Material Sound Velocities. s.a. Olympus Corporation. Verkkosivusto. Saatavilla: <https://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/> [viitattu 27.4.2020].

Murdoch, E. Sciacca, F. A Masters Guide to Ships Piping. 2012. Standard Club. PDF-tiedosto. Saatavilla: <https://www.standard-club.com/media/24158/AMastersGuidetoShipsPiping2ndedition.pdf> [viitattu 1.4.2020].

Mitä on ruostumaton teräs? s.a. The European Stainless Steel Development Association. PDF-tiedosto. Saatavilla: [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/What\\_is\\_Stainless\\_Steel\\_FI.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/What_is_Stainless_Steel_FI.pdf) [viitattu 21.4.2020].

MT-190 Ultraäänipaksuusmittari. s.a. Oy Elbecon Ab. Verkkosivusto. <https://www.mittalaitteita.fi/oy-elbecon-ab/lang-FI/shop/product/ultraaanipaksuusmittari-luotaimella-p5ee> [viitattu 20.4.2020].

NDT – Non-destructive testing. 2019. Szutest. Verkkosivusto. Saatavilla: <https://www.szutest.com/non-destructive-testing/> [viitattu 25.4.2020].

Phased Array Ultrasonic testing. 2020. Eddyfi Technologies. Verkkosivusto. Saatavilla: <https://www.eddyfi.com/en/technology/phased-array-ultrasonic-testing-paut> [viitattu 15.4.2020].

Rules for The Classification of Steel Ships. 2018. Bureau Veritas. PDF-tiedosto. Saatavilla: [https://marine-offshore.bureauveritas.com/sites/g/files/zypfnx136/files/pdf/NR467\\_C1\\_2018-07.pdf](https://marine-offshore.bureauveritas.com/sites/g/files/zypfnx136/files/pdf/NR467_C1_2018-07.pdf) [viitattu 25.4.2020].

Sauter TN 30 E-E ultraäänipaksuusmittari. s.a. Suomen NDT-tukku Oy. Verkkosivusto. Saatavilla: <https://ndt-tukku.fi/shop/product/tns30-e-e?tm=&sm=https://ndt-tukku.fi/shop/product/cts-30b-1> [viitattu 31.3.2020].

STPG 370. s.a. SteelJIS. Verkkosivusto. Saatavilla: [http://steeljis.com/jis\\_steel\\_datasheet.php?name\\_id=680](http://steeljis.com/jis_steel_datasheet.php?name_id=680) [viitattu 26.4.2020].

Suomen LVI-liitto. 2013. LVV-kuntotutkimusopas. PDF-tiedosto. Saatavilla: [http://uutiset.hometalkoot.fi/component/dpcontentplugin/files/download/189/LVV-kuntotutkimusopas\\_2013\\_WEB.pdf](http://uutiset.hometalkoot.fi/component/dpcontentplugin/files/download/189/LVV-kuntotutkimusopas_2013_WEB.pdf) [viitattu 21.3.2020].

Ultraäänitarkastus 1. 2020. Taitotalo. Verkkosivusto. Saatavilla: <https://www.taitotalo.fi/koulutus/hitsaus/321/ultraaanitarkastus-1> [viitattu 20.4.2020].

Ultrasonic thickness measurements of ships. 2016. DNV GL. PDF-tiedosto. Saatavilla: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/CG/2016-03/DNVGL-CG-0285.pdf> [viitattu 28.4.2020].

**Ultrasonic Velocities in Common Materials**

Material	V (in./ $\mu$ sec)	V (m/sec)
Acrylic (Perspex)	0.1070	2730
Aluminum	0.2490	6320
Beryllium	0.5080	12900
Brass	0.1740	4430
Composite, graphite/epoxy	0.1200	3070
Copper	0.1830	4660
Diamond	0.7090	18000
Fiberglass	0.1080	2740
Glycerin	0.0760	1920
Inconel®	0.2290	5820
Iron, Cast (soft)	0.1380	3500
Iron, Cast (hard)	0.2200	5600
Iron oxide (magnetite)	0.2320	5890
Lead	0.0850	2160
Lucite®	0.1060	2680
Molybdenum	0.2460	6250
Motor oil	0.0690	1740
Nickel, pure	0.2220	5630
Polyamide	0.0870	2200
Nylon	0.1020	2600
Polyethylene, high density (HDPE)	0.0970	2460
Polyethylene, low density (LDPE)	0.0820	2080
Polystyrene	0.0920	2340
Polyvinylchloride, (PVC)	0.0940	2395
Rubber, polybutadiene	0.0630	1610
Silicon	0.3790	9620



Silicone	0.0580	1485
Steel, 1020	0.2320	5890
Steel, 4340	0.2300	5850
Steel, 302 austenitic stainless	0.2260	5740
Tin	0.1310	3320
Titanium	0.2400	6100
Tungsten	0.2040	5180
Water (20°C)	0.0580	1480
Zinc	0.1640	4170
Zirconium	0.1830	4650

Taulukko 1. Material Sound Velocities. (Olympus s.a.)

## **Ultraäänimittari osaksi aluksen putkiston ennakoivaa kunnossapitoa**

Tässä liitteessä käydään läpi tärkeimmät ultraäänimittarin hankintaa ja käyttöä koskevat asiat, jotka ovat tulleet ilmi opinnäytetyötä tehdessä.

### **Mittarin hankinta:**

Alukselle hankittavan mittarin kriteereinä ovat helppokäyttöisyys, nopea käyttö sekä edullinen hankintahinta. Echo to echo- sekä skannausominaisuudet ovat suuri etu ja helpottavat mittauksia.

### **Putkiston kartoitus:**

Kartoita laivanputkistosta kriittiset kohdat, jotka todennäköisesti ovat altistumassa/altistuneet korroosiolle ja joista halutaan saada mittausdataa. Putkien mutkat, supistukset sekä muut virtausnopeuden vaihtelulle altistuvat alueet ovat hyviä kohteita seurannan toteuttamiseen.

### **Mittaus:**

Huolehdi mittarin oikeaoppisesta kalibroinnista ja käytöstä. Tärkeää on käyttää oikeaa äänennopeutta, väliainetta sekä luotainta mitattavalle kohteelle. Mikäli mittarissa ei ole echo to echo-ominaisuutta, huolehdi pinnoitteen puhdistamisesta ja uudelleen pinnoittamisesta mittauksen jälkeen. Muista suorittaa mittaus useammasta kohdasta, jotta voit varmistua tuloksen paikkansapitävyydestä. Muista, että pistesyöpymien havaitseminen on tuurista kiinni.

### **Tulosten seuranta ja kirjaus:**

Valitse aluksellenne toimiva seurantajärjestelmä. Yksinkertaisimmillaan seurantajärjestelmä voi olla Excel-taulukko, johon on koostettu mittauspäivä, saadut tulokset, käytetyt mittarin asetukset ja kalibrointitiedot, mittauspisteet sekä mittaaajan nimikirjaimet. Huolehdi jatkuvasta seurannasta. Mittausväli voi aluksi olla tiheämpi, jotta saadaan kartoitettua korroosionopeus. Mikäli korroosionopeus on hidasta, voidaan seurantaväliä pidentää.

# ULTRAÄÄNIPAKSUUSMITTARI MT-190

## Ominaisuudet

- Laaja mittausalue
- Kaksi mittausmenetelmää; normaali (pulssi-kaiku) ja pinnoitteen läpi (kaiku-kaiku).
- Soveltuu useille eri materiaaleille kuten metalli, muovi, keramiikka, komposiitti, epoksimuovi, lasi sekä muille ultraääniaaltoja hyvin johtaville materiaaleille
- Eri luotain malleja
- Luotaimen nollaus sekä äänennopeuden kalibrointi toiminto
- Kaksipiste kalibrointi
- Kaksi mittaus tilaa: yksipiste tai skannaus. Yksipiste mittauksella seitsemän lukemaa sekunnissa ja 16 lukemaa sekunnissa skannaus mittauksella. Skannaus mittauksessa pienin lukema jää näyttöön.
- 20 muistipaikkaa joihin jokaiseen tallennettavissa 99 mittautulosta
- Luotaimen kontaktin merkki
- Pariston tilailmaisoin osoittaa pariston jäljellä olevan tehon
- Automaattinen lepotila ja virta OFF toiminto säästää paristoja
- DataPro ohjelma tietojen käsittelyyn tietokoneella [Tekniset tiedot:](#)
- Näyttö: 4 ½ numeroinen taustavalolla varustettu LCD
- Mittausalue: 0,65~600 mm (teräksessä). Luotaimella P5EE 2 – 600 mm
- Pinnoitteen läpi mittaus: Kaiku-kaiku 3~60 mm
- Äänennopeus: 1000~9999 m/s
- Erottelukyky: 0.1 / 0.01 mm valittavissa
- Tarkkuus: ± (0.5 % paksuus +0.01)mm, riippuen materiaalista
- Mittausyksiköt: Valittavissa metriset/tuumat
- Muisti: 20 muisti paikkaa joihin jokaiseen tallennettavissa 99 mittaus tulosta
- Virtalähde: 2 kpl AA 1.5 V paristoa. Paristojen toiminta-aika n. 100 tuntia ilman taustavaloa.
- Toimintalämpötila: -20 - +60 °C
- Liikennöinti: USB1.1 portti



- Mitat 150 × 74 × 32 mm, paino 245 g
- Mittalaitteen takuu 2

## Kokoonpano

Mittalaite MT-190  
 Luotain P5EE  
 2 kpl AA paristoja  
 Kontaktiaine  
 Kuljetuslaukku

DataPro-ohjelma tietojen käsittelyyn PC:llä  
 Suomenkielinen käyttöohje

## Valinnaiset luotaimet

Malli	Taa-juus	Halkai-sija	Mittausalue (te-räs)	Alarajat	Lisätiedot
N02	2.5 MHz	14 mm	3 mm ~600 mm	20 mm	Äänen kulkua heikentävät materiaalit esim. valurauta
N05	5 MHz	10 mm	1 mm~600 mm	Φ20 mm×3 mm	Yleiskäyttö
N05/90°	5 MHz	10 mm	1 mm~600 mm	Φ20 mm×3 mm	Yleiskäyttö
N07	7 MHz	6 mm	0.65 mm~200 mm	Φ15 mm×2 mm	Ohuet tai kaarevat putki seinämät
HT5	5 MHz	14 mm	1 mm~600 mm	30 mm	Korkeille lämpötiloille (alle 300 °C)
P5EE	5 MHz	10 mm	P-K: 2 mm~600 mm K-K: 3~100 mm	Φ20 mm×3 mm	Yleiskäyttö Pinnoitteen läpi mittaus



HT5



P5EE



N02



N05



N05/90°



N07