



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Ruoppausurakoiden vastaanoton tankoharausten korvaaminen muilla mittausmenetelmillä

Viljami Merenluoto

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Diplomityö

Huhtikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Ruoppausurakoiden vastaanoton tankoharausten korvaaminen muilla mittausmenetelmillä

Viljami Merenluoto

Oulun yliopisto, rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Diplomityö 2022, 62 s. + 3 liitettä

Diplomityön tavoitteena oli selvittää mahdollisia korvaavia mittausmenetelmiä tankoharaukselle ruoppausurakoiden vastaanottomittauksena. Työssä selvitettiin erityisesti jo olemassa olevien mittausmenetelmien soveltuvuutta Suomessa ruoppausurakoiden vastaanoton mittauksia varten. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena sekä haastattelututkimuksena. Haastatteluissa haastateltavina oli Suomessa toimivien ruoppaus- sekä mittausyritysten henkilöstöä. Työssä myös haastateltiin Ruotsin merenkulkulaitokselta vesiväylien mittauksen asiantuntijaa. Haastatteluissa haluttiin selvittää tankoharaukseen liittyviä haasteita sekä mahdollista soveltuvaa korvaajaa sille ruoppausurakoiden vastaanotossa.

Ruoppausurakoiden toteutukseen vaikuttavat ruoppauskohteen laajuus sekä pohjaolosuhteet. Näiden perusteella voidaan valita oikeat työtavat ja kalusto urakkaan. Ruoppausurakoihin sisältyy mittauksia niin työnaikaisen seurannan osalta kuin myös työn tuloksen toteamisessa. Suomessa on diplomityön tekohetkellä ruoppausurakan vastaanottomittauksena käytössä tankoharaus. Vesiväylien ja vesisyvyyden mittaukset voidaan jaotella niiden käyttämän tekniikan perusteella, joita ovat mekaaniset mittaukset, akustiset mittaukset sekä optiset mittaukset. Eri mittausmenetelmillä on mahdollista saavuttaa erilaista mittausdataa sekä päästä erilaiseen mittaustarkkuuteen.

Diplomityössä saatujen tulosten perusteella nykyisen vastaanottomenetelmän, tankoharauksen, korvaaminen ei ole vielä nykyisellään täysin mahdollista Suomen merialueilla. Itämeren pohjan ominaisuudet voivat vaikuttaa käytettyjen mittausten tarkkuuteen akustisissa ja optisissa mittauksissa. Kuitenkin maailmalla käytetään vesisyvyyden todentamiseen monikeilausta, joka on akustinen mittausmenetelmä.

Kyseinen mittausmenetelmä nousi haastattelujen perusteella ainoaksi mahdolliseksi korvaajaksi tankoharauksille. Haastateltavien mukaan sen käyttö ei ole vielä mahdollista ruoppausurakoiden vastaanotoissa, johtuen siitä, ettei sillä ole mahdollista todentaa vesisyvyyttä yhtä luotettavasti kuin tankoharauksella.

Asiasanat: ruoppaus, meriväylä, syvyysmittaus, monikeilaus, tankoharaus

ABSTRACT

The replacement of mechanical sweep with different surveying methods in acceptance of dredging works

Viljami Merenluoto

University of Oulu, Degree Programme of Civil Engineering

Master's thesis 2022, 62 pp. + 3 Appendixes

Supervisors at the university: Anne Tuomela ja Hanna Rasi-Koskinen

The purpose of the thesis was to find out possible alternative bathymetry surveying methods for replacing a mechanical bar sweep survey on acceptance of dredging works. In this thesis, the suitability of already existing surveying methods was investigated in acceptance of dredging works in Finland. The thesis was carried out as a literature review and as an interview study. In the interviews, the personnel of dredging contractors and surveying companies in Finland were interviewed. An expert in the field of waterway surveying from the Swedish Maritime Administration was also interviewed. The aim of the interviews was to find out the problems of mechanical bar sweep bathymetry and find out possible replacing the surveying method for it.

The implementation of dredging contracts is affected by the extent of the dredging site and the seabed soil conditions. Based on these, the right working methods and equipment for the contract can be selected. Dredging contracts include surveys both in terms of monitoring of the dredging works and the acceptance survey of the dredging works. During the time of the master's thesis, the only acceptance survey method was the mechanical bar sweep method in the acceptance surveys of dredging works. Bathymetric surveys can be divided by the technology that they are using, which are mechanical surveys, acoustic surveys, and optical surveys. With different measurement methods it is possible to achieve different survey data and survey accuracy.

Based on the master's thesis it is not yet entirely possible to replace the current mechanical bar sweep method in Finnish sea areas. The characteristics of the Baltic Sea's

seabed may affect the accuracy of the surveying when using acoustic or optical measurements. However, multibeam survey, an acoustic surveying method, is already used around the world to verify water depth after dredging works. Based on the interviews, this measurement method emerged as the only possible replacing survey method for mechanical bar sweep. However, according to the interviews it is not yet possible to replace mechanical bar sweep surveys with multibeam surveys in after dredging survey. Using multibeam survey method in after dredging measurement the amount of dredged material would increase because of the margins.

Keywords: dredging, bathymetry, waterway, multibeam echosounder, bar sweep

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Väylävirastolle ja toteutettu Welado Oy:ssä joulukuun 2021 ja huhtikuun 2022 välisenä aikana. Työssä selvitettiin korvaavaa mittausmenetelmää tankoharaukselle ruoppausurakoiden vastaanotoissa.

Kiitokset Väylävirastolle mielenkiintoisesta ja opettavaisesta diplomityöstä ja Welado Oy:lle mahdollisuudesta toteuttaa diplomityö. Kiitokset Väylävirastolta työni ohjaajalle Olli Holmille. Kiitokset haluan esittää myös Väylävirastolta Kalle Muinoselle, jolta sain lisänäkemystä työhöni. Kiitokset Welado Oy:ltä Joonas Haveriselle sekä Toni Gussanderille, jonka ansiosta diplomityöni aihe saatiin järjestettyä. Myös kaikille muille weladolaisille Oulun toimistolla haluan esittää kiitokseni tsempeistä ja tuesta diplomityötä tehdessäni. Kiitokset myös Anne Tuomelalle ja Hanna Rasi-Koskiselle Oulun yliopistolta. Suuret kiitokset myös kaikille haastatteluihin osallistuneille henkilöille.

Kiitokset haluan myös esittää opiskelukavereilleni, joiden ansiosta opiskeluvuodet olivat unohtumattomia aivan ensimmäisestä päivästä alkaen. Erityiskiitokset myös Lauralle, joka on tsempannut minua koko opiskelujeni ajan niin kurssien kuin diplomityöni kanssa.

Oulu, 4.4.2022

Viljami Merenluoto
Viljami Merenluoto

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	9
2 Vesiväylärakentaminen	12
2.1 Kallioperä ja maaperä Itämerellä	12
2.2 Itämeren pohja sekä vedenpinta	13
2.3 Ruoppaustyöt.....	14
2.3.1 Mekaaniset ruoppaajat	15
2.3.2 Imuruoppaajat	18
3 Vesiväyliä mittaaminen	20
3.1 Suomen kansallinen merenmittaussovellus FIS44/2021	21
3.2 Pohjatutkimukset.....	22
3.3 Paikantaminen	23
3.4 Akustiset mittaukset	24
3.4.1 Monikeilaus	25
3.4.2 Linjaluotaus	28
3.4.3 Kaikuharaus	28
3.5 Mekaaniset mittaukset.....	29
3.6 Optiset mittaukset.....	32
3.7 Vesiväylämittausten mittausepävarmuus	35
3.8 Ruotsin merenkulkulaitos.....	37
4 Ruoppausurakan vastaanotto.....	38
4.1 Ruoppausurakoiden mittaukset maailmalla	39
5 Haastattelu.....	42
5.1 Kvalitatiivinen tutkimus ja teemahaastattelu	42
5.2 Aineiston keruu	43
5.3 Aineiston esittely.....	44
6 Tutkimuksen tulokset.....	45
6.1 Haastattelut suomalaisiin yrityksiin	45
6.2 Ruotsin merenkulkulaitoksen haastattelu	48

7 Johtopäätökset	51
8 Yhteenveto	53
LÄHDELUETTELO.....	54

LIITEET:

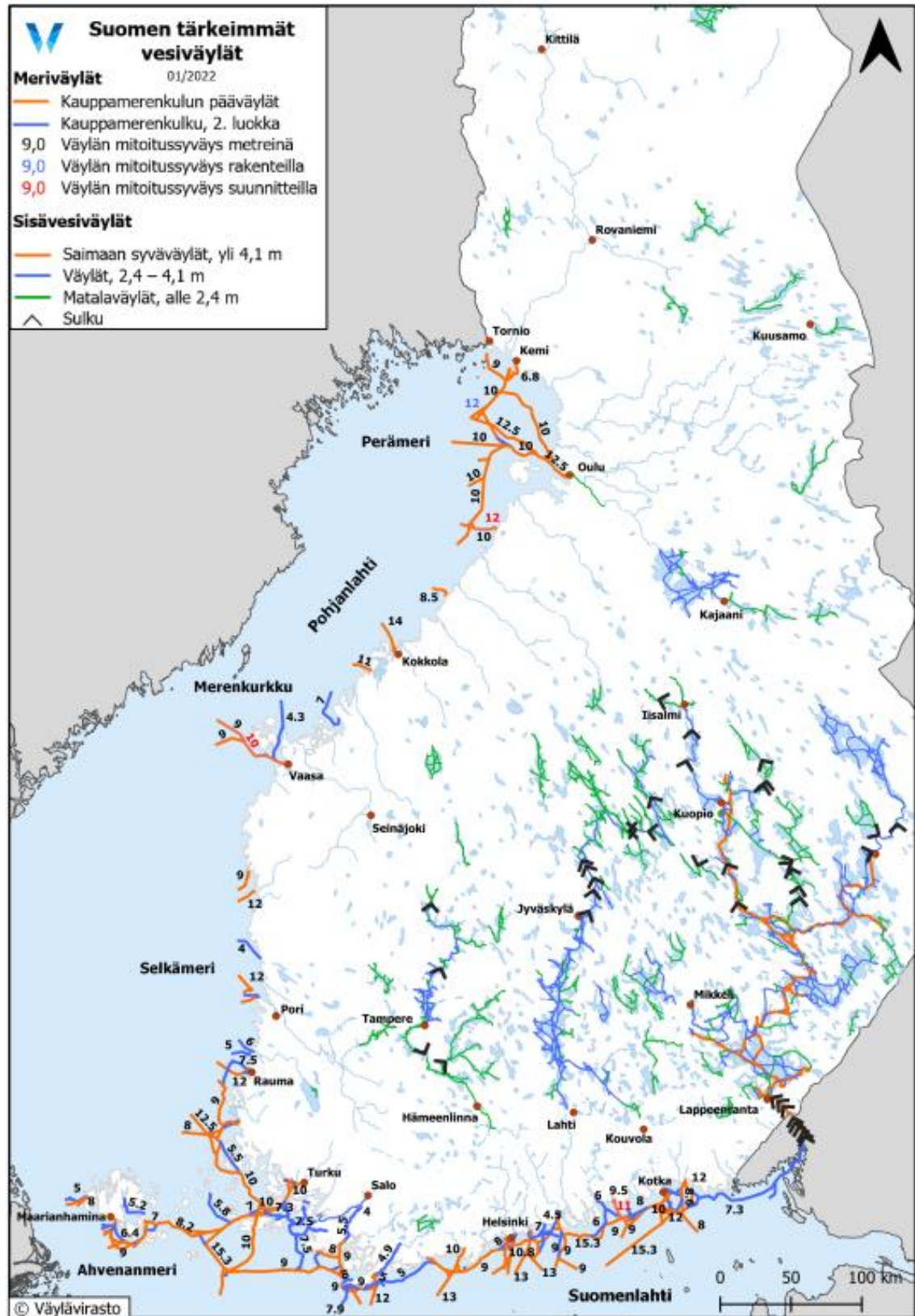
Liite 1. Kansallisen merenmittaussovelluksen FIS44/2021 mittausluokat

Liite 2. Suomessa toimiville yrityksille toteutetun haastattelun kysymysrunko

Liite 3. Ruotsin merenkululaitokselle toteutetun haastattelun kysymysrunko

1 JOHDANTO

Suomessa on kartoille merkittyjä vesiväyliä noin 20 200 kilometriä (kuva 1), joista Väyläviraston vastuulle kuuluu 16 300 kilometriä. Väyläviraston ylläpitämät väylät jakautuvat rannikkoväyliin, joita on noin 8300 kilometriä ja sisävesiväyliin, joita on noin 8000 kilometriä (Väylävirasto 2022a). Ruoppauksella tarkoitetaan vedenalaisia maansiirtotöitä, johon kuuluvat vedenalaisen maan kaivaminen, kaivuumassojen siirtäminen sekä lopuksi niiden läjittäminen valittuun paikkaan. Ruoppaustöiden sijoituessa vedenpinnan alapuolelle, jolloin suoraa näköyhteyttä työskentelyyn ei ole, hyödynnetään ruoppaustöissä nykyaikaista teknologiaa ja mittauksia. Vesiväylien rakentamiseen ja kunnossapitoon kuuluvat olennaisena osana myös vesistöihin suoritettavat mittaukset sekä tutkimukset, jotka tukevat vesiväyläurakoiden suunnittelua sekä niiden toteutusta. (Bray ja Cohen 2010, s. 8; Liikennevirasto 2013, s. 4)



Kuva 1. Suomen valtion tärkeimmät vesiväylät (Väylävirasto 2022a).

Työn tavoitteena on selvittää, voidaanko Suomessa yleisesti käytössä oleva tankoharausmenetelmä, ruoppausurakoiden vastaanottomenetelmänä korvata monikeilauksella tai muilla mittausmenetelmillä. Työ koostuu kirjallisuustutkimuksesta, jossa käydään läpi ruoppausurakointia sekä selvitetään mitä ja millä tavalla toimivia mittausmenetelmiä on käytössä vesisyvyyden todentamiseen. Kirjallisuuskatsauksen lisäksi työtä varten toteutettiin haastattelututkimus, jossa haastateltiin alalla toimivia ruoppausurakoitsijoita, sekä vesistömittauksia tekeviä yrityksiä. Myös Ruotsin merenkulkulaitokselle toteutettiin haastattelu, jossa selvitettiin tarkemmin Ruotsissa käytössä olevia käytänteitä syvyyksmittauksissa.

2 VESIVÄYLÄRAKENTAMINEN

2.1 Kallioperä ja maaperä Itämerellä

Itämeri on Suomen, Venäjän, Viron, Latvian, Liettuan, Puolan, Saksan, Tanskan sekä Norjan ympäröimä meri. Sen keskisyvyys on 54 metriä ja syvin kohta 459 metriä. Itämeri on näin ollen hyvin matala meri koko maailman mittakaavassa. Vertailukohteena Välimeren keskisyvyys on 1500 metriä ja kaikkien maailman valtamerien keskisyvyys on 3700 metriä. Itämeri on jaoteltu useisiin altaisiin sekä kynnyksiin, joiden jaottelu perustuu niin pohjan muotoihin kuin myös sovittuihin rajoihin. (SYKE 2020a)

Suomen rannikolla Itämeri jakautuu Suomenlahteen, Pohjanlahteen sekä Perämereen. Itämeren kallioperä on vaihtelevaa. Aivan Suomen rannikkoalueilla Itämeren kallioperä on kiteistä ja Perämeren alueella se koostuu hiekkakivestä. Itämeren eteläosien kallioperä pääsääntöisesti koostuu hiekkakivestä ja kalkkikivestä. Itämeren pohja on kuitenkin melko tasainen. Itämeren pohjan maalajit koostuvat pääsääntöisesti savesta tai savisesta hiekasta, hiekasta, karkearakeisesta sedimentistä, sekasedimentistä tai kalliosta. Suomen rannikkoalueilla Perämeren alueella pohjan pintamaalajit koostuvat hiekasta sekä sekasedimentistä. Pohjanlahden alueella rannikon tuntumassa maalajit ovat pääsääntöisesti sekasedimenttiä. Suomenlahdella maalajit ovat savisia tai sekasedimenttejä. Myös kalliota esiintyy Suomenlahden alueella. (SYKE 2020b; SYKE 2020c)

Itämeren rannikolla tapahtuu myös maannousua. Maannousu on suurimmillaan merenkurkun lähistöllä, se voi olla jopa lähes yhden senttimetrin vuoden aikana. Maannousu on peräisin jääkauden ajalta, kun jäämassat painoivat maankuorta jopa noin 500 metriä syväksi kuopaksi. Jääkauden loppuessa ja jäämassan sulaessa pois, maankuori on alkanut hiljalleen palautua jään aiheuttamasta painosta. Kaikkein paksuimmillaan jäätä oli jääkauden aikana pohjanlahden rannikolla, jonka takia siellä maannousua voi tapahtua vielä noin 100 metrin verran. Maankohoaminen vaikuttaa Suomen vesiväyliin verrattain hitaasti, eivätkä ne siis sen takia juurikaan mataloidu. Ilmastonmuutoksen takia merenpinta nousee, joten maankohoamisen vaikutus ei ole niin suurta. (Maanmittauslaitos 2021; Liikennevirasto 2018, s. 45)

2.2 Itämeren pohja sekä vedenpinta

Vesiväylän kunnostushankkeeseen ryhdytään, kun varaveden määrä laivan kölin alla on liian pieni (Liikennevirasto 2013, s. 10). Suoritettaessa vesiväylämittauksia, riippuen menetelmästä, tulee mittaajalla olla tieto meren liikkeiden ja käyttäytymisen vaikutuksesta mittauksiin. Meren sekä veden liikkeisiin voivat vaikuttaa niin merelliset kuin ilmastollisetkin tekijät, joiden huomioiminen on tärkeää, jotta saadaan tarkkoja, että laadukkaita mittaustuloksia. Meren käyttäytyminen tulee myös tuntea, jotta mittauksista saadaan laadukasta mittausdataa. (IHO 2010, s. 253)

Tänä päivänä globaalina puheenaiheena on merenpintojen nousu. Merenpinnan nousuun vaikuttaa sekä jäätiköiden sulaminen että veden lämpölaajeneminen (Ilmasto-opas 2021). Itämerellä merenpinnan nousua on sen eteläosissa ollut noin 2–3 millimetriä vuodessa, mutta Perämeren alueella se on ollut noin 6 millimetrin luokkaa. Yhdistyneiden kansakuntien hallitusten välisen ilmastopaneelin (IPCC) mukaan maailmaanlaajuinen meriveden pintojen nousu voi keskimäärin olla 0,29–1,1 metriä vuosisadan loppuun mennessä. (European Space Agency 2021)

Itämeren vesimassojen liikkeisiin vaikuttavat tuuli, ilmanpaine sekä veden tiheyserot. Itämerellä ei ole samanlaisia pysyviä merivirtoja, kuten on maailman valtamerissä. Myös vuorovesi-ilmiö on Itämerellä lähes merkityksetön. Suomessa vedenkorkeuden vaihtelua tapahtuu koko rannikkoalueilla. Itämeren rannikon vedenkorkeuden muutoksiin vaikuttavat kokonaisvesimäärän hitaat muutokset sekä lyhytaikaiset vaihtelut paikallisesti. (SYKE 2020d; Ilmatieteen laitos 2021)

Paikallisten vaihteluiden aiheuttajina ovat sääolosuhteet, joihin lukeutuvat tuulitilanne sekä vallitseva ilmanpaine. Talvella myös jääolosuhteilla on vaikutusta merenpinnan korkeusvaihteluun. Itämeren vesi virtaa sisään ja ulos Tanskan salmien kautta, jolloin vedenpinnan korkeus Suomen rannikon vedenpinnankorkeuden mittausasemilla muuttuu. Veden virtauksen suuntaan vaikuttavat hetkellinen korkeusero Itämeren sekä Pohjanmeren välillä. Tuulen vaikutus merenpinnan nousuun johtuu siitä, että tuuli kasaa vesimassoja yhteen paikkaan, esimerkiksi lahtien pohjille. Tästä johtuukin, että kaikkein ääreisimmät merenpinnan korkeuden arvot on saavutettu tällaisilla alueilla. Ilmanpaineen vaikutus meriveden korkeuteen vaihtelee, johtuen ilmanpaine-eroista. Korkeapaineen

vallitessa ilma painaa vedenpintaa alas, jolloin meriveden pinta laskee. Matalapaineella vuorostaan meriveden pinnankorkeus kasvaa. Millibaarin paine-ero ilmanpaineessa vastaa merenpinnan korkeuden muutosta noin yhden senttimetrin verran. Jääpeitteen vaikutus meriveden pinnankorkeuteen johtuu sen tuulelta eristävästä vaikutuksesta. Tuulen ei ole jääpeitteen vallitessa mahdollista liikuttaa ja kasata vettä yhteen paikkaan, jolloin merenpinnan korkeusvaihtelut ovat maltillisempia. Eri vuoden aikoina merenpinnan korkeudenvaihtelut eroavat toisistaan erilaisten sää ilmiöiden takia. (Ilmatieteen laitos 2021)

Merenpohjan häiriintymistä tapahtuu monista ihmisten toiminnoista. Näiden toimintojen seurauksena merenpohjaan voi tapahtua muutoksia joko suoraan tai epäsuorasti. Näitä toimintoja ovat esimerkiksi pohjakalastus, merenkulku matalissa vesissä, ankkuroituminen, ruoppaus sekä mereen tehtävät rakenteet. Ruoppauksesta aiheutuva sedimentaatio levittää pohjan sedimenttiä koko vesipatsaaseen, joka pääsee leviämään ruoppausalueen ulkopuolelle. Leviäminen hidastuu mitä kauemmas ruoppausalueelta mennään. Myös ruopattujen sedimenttien läjittäminen merenpohjaan aiheuttaa sedimenttien kulkeutumista läjitysalueen ympäristöön. (Marine Information System for Europe 2022)

Potkurivirrat ovat laivan potkureiden aiheuttamia virtauksia, joiden takia vesiväylien pohjasedimentti voi häiriintyä ja sen takia syntyä eroosiota ja sedimenttien uudelleen kerrostumista. Tällä on vaikutusta pohjan topografiaan, jolloin voi olla, ettei vesisyvyys ole enää riittävä väylällä tai satama-alueella. Rakenteiden ikä laskee potkurivirtojen seurauksen takia. Laivojen potkurien aiheuttamat virrat aiheuttavat leikkausjännityksiä pohjaan, jolloin pohjasedimentti voi uudelleen sekoittua, kun leikkauslujuuden raja ylittyy. Kun pohjasedimentti pääsee liikkeelle, se voi levittäytyä laajalle alueelle merivirtojen, potkurivirtojen sekä laivojen liikkeiden aiheuttamien virtausten mukana. (Guarnieri et al. 2021, s. 1)

2.3 Ruoppaustyöt

Ruoppaustöihin on tarjolla erilaisia menetelmiä, riippuen ruoppaustyön vaatimuksista ja ruopattavan alueen ominaisuuksista. Pääsääntöisesti ruoppauskaluston ja ruoppausmenetelmän valintaan voivat vaikuttaa ruopattava materiaali, ruopattun

materiaalien sijoituspaikka sekä kaluston tarkkuus sekä hinta. Ruoppauskalusto voidaan pääpiirteittäin jakaa neljään eri kategoriaan, joita ovat mekaaniset ruoppaajat, imuruoppaajat, mekaaniset imuruoppaajat sekä hydrodynaamiset ruoppaajat. (Bray ja Cohen 2010, s. 38)

Olellaisena osana kaikkea maarakentamista on rakennettavien maiden maanrakennusominaisuudet. Maanrakennusominaisuuksia ovat kaivuvastus, löyhtyminen, tiivistyminen, kuljetettavuus sekä läjitettävyyys. Kaivuvastuksella tarkoitetaan tarvittavaa voimaa, jolla saadaan maa-aines irrotettua. Kaivuvastuksen ja maarakennusominaisuuksien yhteistekijä on kaivettavuus. (Hartikainen 2000, s. 10–11) Ruoppaustöissä tästä käytetään termiä ruopattavuus.

Ruoppaustöitä tehtäessä on yleensä päätavoitteena saavuttaa tietty vesisyvyys. Suomessa yleisesti käytetään tähän vesisyvyyden selvittämiseen tankoharausta. Ruopattu alue harataan tankoharalla, eikä tanko saa lainkaan haratessa koskettaa ruopatun väylän pohjaan. Riittävä vesisyvyyden saavuttaminen varmistetaan yleensä tekemällä vielä niin kutsuttu työvara, jota kutsutaan ylisyvän ruoppaukseksi. (Hartikainen 2000, s. 160)

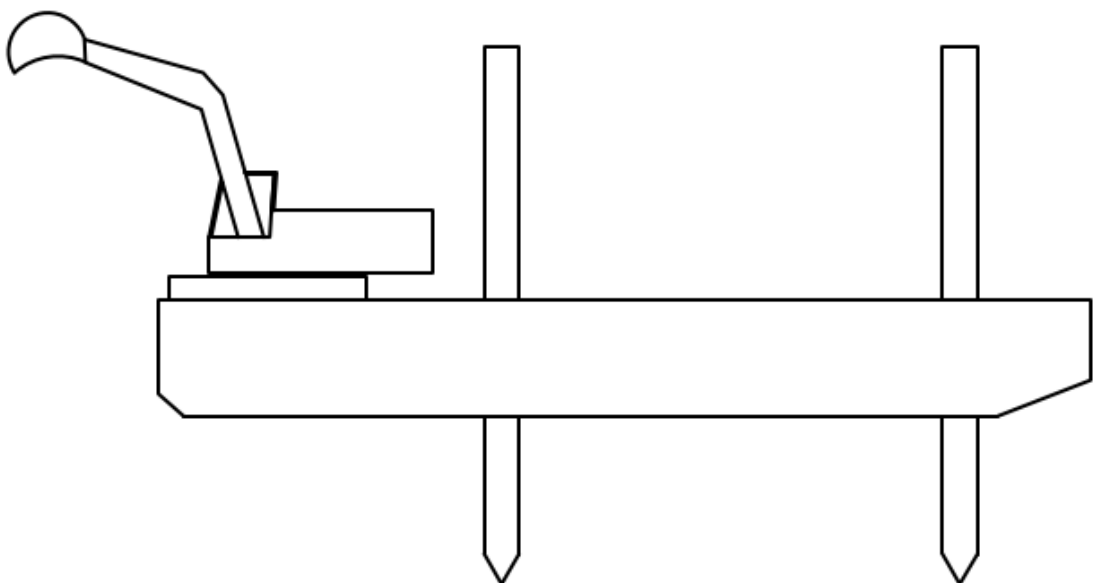
Ylisyvän ruoppaus kasvattaa ruopattavan maamateriaalin määrää, jolloin ruoppausurakan kustannukset kasvavat. Ruoppausurakoiden sopimuksissa sovitaan ylisyvän ruoppauksesta, jonka ylityksen jälkeen urakoitsija ei saa korvausta ylimääräisestä ruoppauksesta. Nykyaikaisella ruoppauskalustolla ruoppaaminen on jatkuvasti yhä tarkempaa, mutta silti ruoppaustyön suorittajan kokemus ja ammattitaito ovat vielä suuressa roolissa. (Trimble 2021, s. 2)

2.3.1 Mekaaniset ruoppaajat

Mekaanisten ruoppaajien toimintaperiaate on pitkälti samanlainen, kuin vedenpinnan yläpuolella, kuivalla maalla käytettävien maansiirtokoneiden toimintatapa. Kauharuoppauskalustoa käytetään tilanteissa, joissa ruopattava materiaali on vaihtelevaa. Kauharuoppauskalusto voidaan vielä jakaa eri tyyppeihin niiden toimintaperiaatteidensa mukaisesti. Näitä ovat pistoruoppaaja, kuokkaruoppaaja, kahmariruoppaaja sekä ketjukauharuoppaaja. (Bray ja Cohen 2010, s. 38)

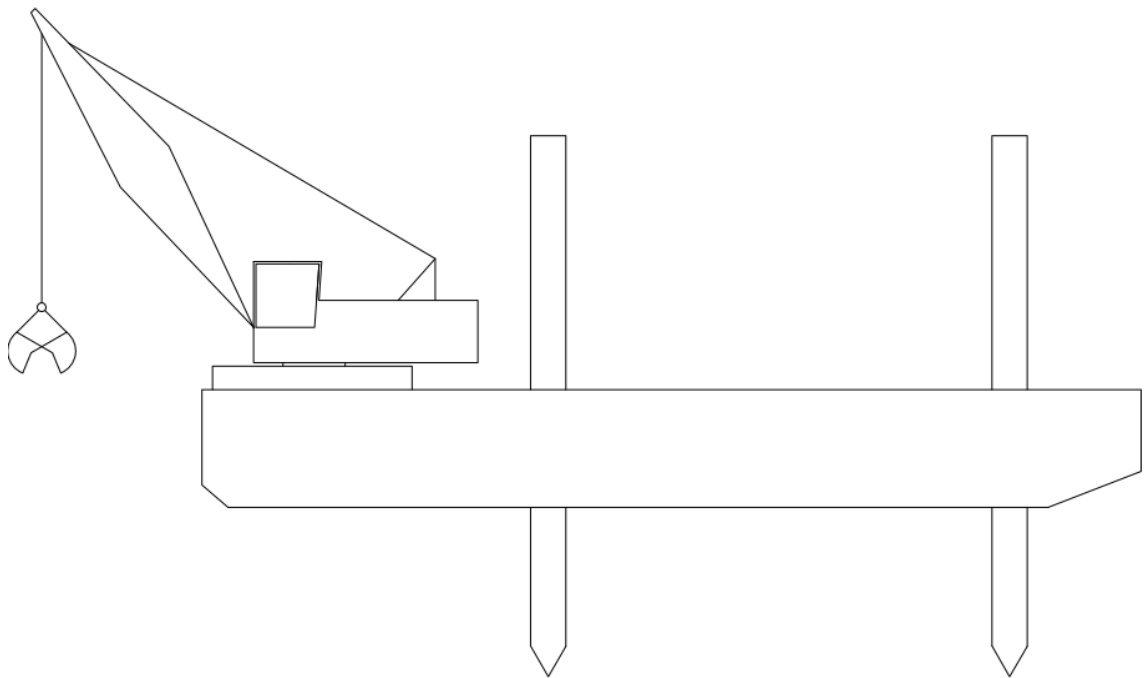
Pistoruoppaajilla kyetään ruoppamaan hyvin haastavia maalajeja (Hartikainen 2000, s. 151–152). Niillä voidaan tehdä tarkkuutta vaativia ruoppauksia rajoitetuissa tiloissa, kuten siltojen ja muiden rakenteiden läheisyydessä, sillä niiden vaatima liikkumavara on pieni. Pistoruoppaajilla on kuitenkin rajoituksensa, kuten se että niillä tehtävät ruoppaukset voivat aiheuttaa huomattavaa pohjasedimentin häiriintymistä, mikäli pistoruoppaajalla tehdään ruoppauksia hienojakoiseen materiaaliin. (IADC 2021b)

Kuokkaruoppaajalla (kuva 2) tarkoitetaan ruoppauskoneetta, joka on hyvin samantyylinen kuin yleensä maanrakennustöissä käytettävä hydraulinen kaivinkone. Kuokkaruoppaajalla on mahdollista ruopata niin pehmeitä kuin koviakin maalajeja, joten se soveltuu Suomen alueella todella hyvin käyttöön. Kuokkaruoppaajat ovat yksiä yleisimpiä ruoppauskoneita nykypäivänä, ja niiden käyttö on hyvin kustannustehokasta. Kuokkaruoppaajilla on kuitenkin rajoituksenaan liikerata sekä ruoppausvyvyys. Ne myös vaativat vahvat ankkurit tai tukijalat tukevasti merenpohjaan, jotta ruoppaaja pysyy paikoillaan työn aikana. Kuokkaruoppaajilla yleensä ruopattu maa läjitetään lastialuksiin, joilla ruopattu maa-aines kuljetetaan urakka-alueelta pois. Nykyään kuokkaruoppaajien tekniikka on kehittynyt, ja ruoppaukseen on tullut käyttöön entistä suurempia kuokkaruoppaajia, joilla voidaan yletä jopa yli 30 metrin ruoppausvyvyyteen. (Hartikainen 2000, s. 152; IADC 2021c)



Kuva 2. Kuokkaruoppaaja (mukaiillen Vlasblom 2003).

Kahmariruoppaajalla (kuva 3) tarkoitetaan ruoppaajaa, jolla on vaijereiden tai puomin päässä kauha, ja joka lasketaan haluttuun ruoppaussyvyyteen. Kahmariruoppaajalla ruopattu materiaali yleensä lastataan proomuun, jolla se kuljetetaan urakka-alueelta pois. Kahmariruoppaajat ovat yleensä paikallaan työskennellessään, joten ne ankkuroituvat pohjaan joko ankkurilla tai ruoppaajassa olevilla paaluilla. Kahmariruoppaajilla on mahdollisuus ruopata melko syvissäkin vesissä, sekä tehdä ruoppaustöitä tarkasti halutussa pisteessä. Kahmariruoppaajilla kuitenkin on haasteena ruopata hyvin hienoja maalajeja, sekä niiden tuottavuussuhde on verrattain heikko. Kuitenkin ne soveltuvat mainiosti pienempiin ruoppauskohteisiin. (IADC 2021d)



Kuva 3. Kahmariruoppaaja (mukaiillen Vlasblom 2003).

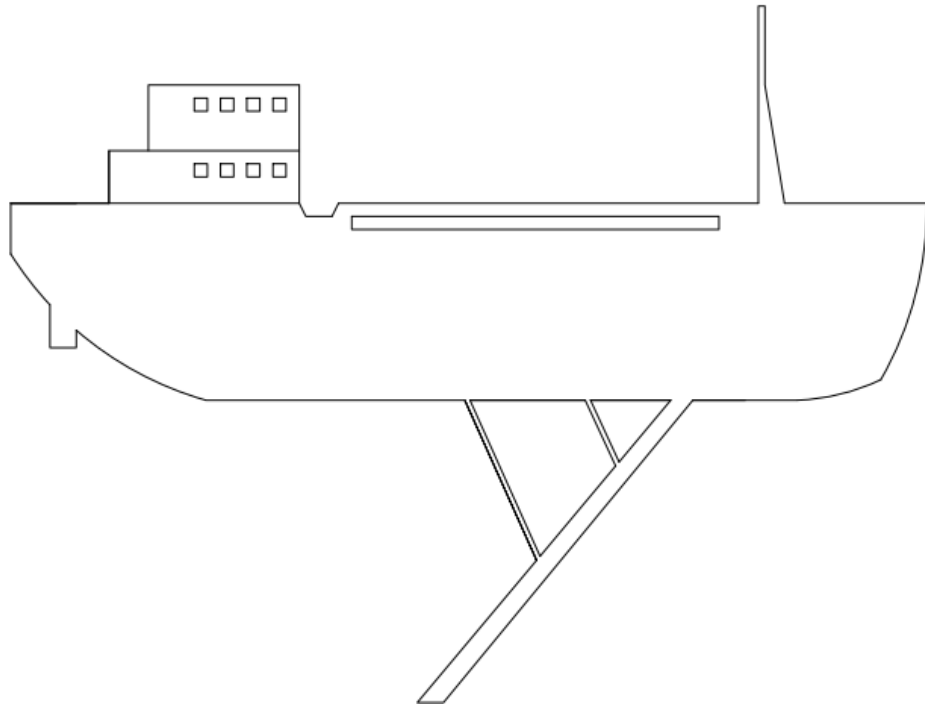
Ketjुकauharuoppaajassa on useita kauhoja peräkkäin kuljettimessa, joka nostaa ruopattua maata proomuun. Ketjुकauharuoppaajassa on mahdollista käyttää erilaisia kauhakuljettimia, riippuen ruopattavan maa-aineksen laadusta. Ketjुकauharuoppaajien käyttö on nykypäivänä hyvin vähäistä ja ne ovatkin korvaantuneet melkein täysin kuokkaruoppaajilla ja imuruoppaajilla. Ketjुकauharuoppaajat ovat vanhaa tekniikkaa ja niiden käyttö onkin vähentynyt johtuen niiden alhaisesta tuotantotahdista. (IADC 2021d)

2.3.2 Imuruoppaajat

Imuruoppaajat imevät ruopattavan väylän pohjasta pohjasedimentin pois pumppujen avulla. Imuruoppauksessa yleensä käytetään putkistoa kuljettamaan ruopattu liete pois urakka-alueelta. Kuitenkin joissain tilanteissa ruopattu maa-aines saatetaan lastata proomuihin ja kuljettaa se pois niiden avulla läjitysalueelle. Imuruoppaajat on pääsääntöisesti tarkoitettu ruoppaamaan pehmeää maa-ainesta. Imuruoppaajia on myös niin kutsuttuja mekaanisia imuruoppaajia, joissa yhdistyy niin mekaaninen kuin hydraulinen ruoppaus. Mekaanisilla imuruoppaajilla on laajemmat käyttömahdollisuudet. (Bray ja Cohen 2010, s. 42; Hartikainen 2000, s. 156)

Mekaaniset imuruoppaajat voidaan varustaa esimerkiksi leikkaavalla päällä ennen imuputkea, jolloin ruopattava maa-aines saadaan hienojakoisemmaksi, jotta se voidaan imeä putkistoon. Mekaanisilla imuruoppaajilla on erittäin hyvä tuotantotehokkuus ja ne voivat kaivaa silttiä, savea, hiekkaa, soraa, mukulakiviä sekä murskaantuneita suurempia kiviä. Mekaaniset imuruoppaajat toimivat paikallaan joko ankkuroituna tai tukijaloilla tuettuna. (Bray ja Cohen 2010, s. 44)

Hopperiruoppaajat (kuva 4) ovat ruoppauskalustoa, jotka voivat ruopata hienojakeista maa-ainesta, lähinnä hiekkaa tai silttiä. Hopperiruoppaajan toiminta perustuu siihen, että ne imevät maa-aineksen omaan ruumaansa, jonka jälkeen hopperi siirtyy ruopatun maa-aineksen läjitysalueelle. Ruopattu maa-aines voidaan joko pumpata ruumasta pois tai laskea se veteen pohjaluukkujen läpi. Hopperiruoppaajat voivat toimia myös liikkuen. Alus liikkuu hiljaista vauhtia ja imuputkien avulla imevät ruopattavan kohteen pohjasta maa-ainesta ruumaan. Kivisen maa-aineksen ruoppaaminen ei liikkuvalla hopperiruoppaajalla onnistu, sillä mahdolliset kivet tukkivat imupään, jolloin hopperiruoppaajan toiminta kärsii valtavasti. (Bray ja Cohen 2010, s. 45–47)

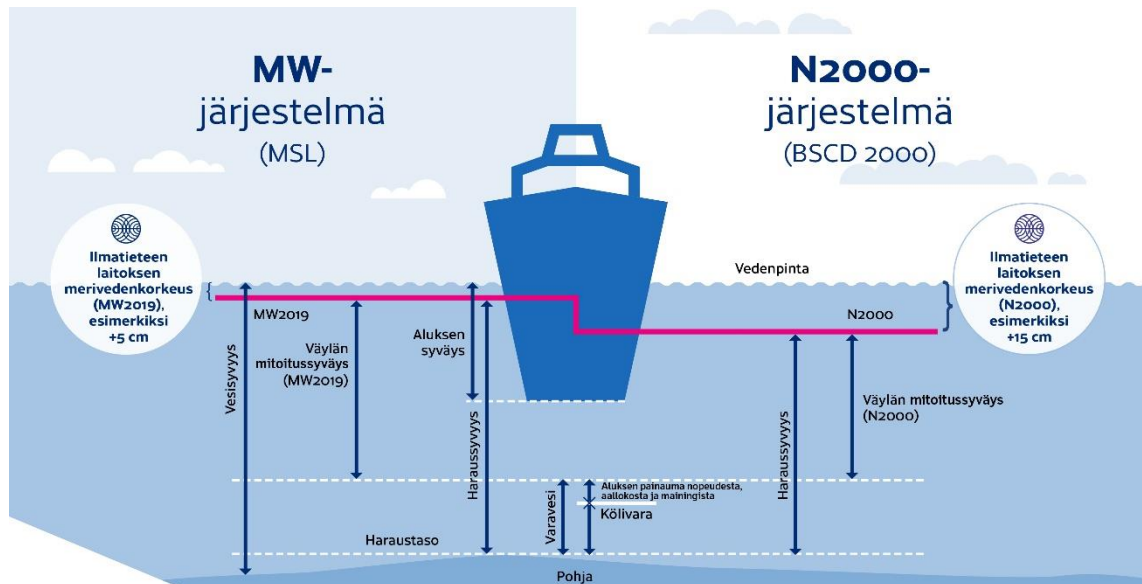


Kuva 4. Hopperiruoppaja (mukaiillen Vlasblom 2003).

3 VESIVÄYLIEN MITTAUKSET

Vesiväylämittausten tärkeimpänä tarkoituksena on turvata alusten turvallinen kulkeminen meriväylillä. Tämän takia on jatkuvasti oltava tarkoin tiedossa veden syvyys, sekä mahdolliset pinnan alla olevat esteet. Vesiväylien tutkimus on tärkeä osa vesiväylärakentamista ja sillä onkin suuri vaikutus merenkulun turvallisuuteen. Vesiväylien tutkimuksella ja merikartoituksella saadaan myös tehostettua meriliikennettä ja sillä onkin suuri kansantaloudellinen merkitys, kun yli 80 % maailman kaupasta kulkee meriteitse. (IHO 2020b, s. 12; IHO 2010, s. 3)

Suomen vesiväylien mittaukset kuuluvat Väyläviraston vastuulle, kun taas Traficomin vastuulla on vesiväylien ulkopuolelle jäävät alueet (Väylävirasto 2020). Väylän mitoitusvälys on meriväylien ilmoitettu syvyys, joka on ilmoitettu merikartoissa. Sillä tarkoitetaan kaikkein suurinta väylälle suunniteltua syväästä. Varavedestä puhuttaessa tarkoitetaan väylän mitoitusväyksen ja haraussyvyyden erotusta. Varaveteen sisältyvät aluksen pystysuuntaiset liikkeet (nopeuspainuma, aallokko) sekä kölivara. Vesiväylien syvyyskäsitteitä on esitetty kuvassa 5. (Liikennevirasto 2018, s. 38–48)



Kuva 5. Meriväylän syvyyskäsitteet (Väylävirasto 2022b).

Vuonna 2021 Suomen meriväylillä on aloitettu vaiheittainen siirtyminen N2000-korkeusjärjestelmään. Korkeusjärjestelmän muutoksen mukana syvyys- ja väylätiedot

sidotaan maankuoren nollapisteeseen. Tällä tavoin saadaan meriväylien tiedot yhtenäistettyä, sekä N2000-järjestelmän avulla saadaan myös Suomen rannikolla tapahtuva maankohoaminen huomioon. Tätä ennen vesiväylien syvyys- ja väylätiedot ovat olleet sidottuina teoreettiseen keskivedenkorkeuteen, joista vastaa Ilmatieteen laitos. Vesisyvyydellä tarkoitetaan syvyyttä vedenpinnan tasosta väylän pohjaan. Aluksen syväyksellä tarkoitetaan vedenpinnan tason alapuolisia rakenteita ja kuinka syvällä ne vedenpinnan tasosta ovat. Staattinen syväys on syväys, kun laiva on paikoillaan. Haraussyvyydellä tarkoitetaan syvyyttä N2000-järjestelmän nollatasosta haraustasoon saakka, joka on väylän pohja. Sitä voidaan kutsua myös varmistetuksi vesisyvyydeksi. (Väylävirasto 2022b)

Ruoppausurakoinnissa tärkeitä mittauksia ovat merikartoitusmittaukset, joiden avulla saadaan määritettyä oikeanlainen ruoppauskalusto hankkeelle, sekä määritettyä ruoppauksen tarkkuusvaatimukset. Niiden avulla voidaan myös arvioida ruoppauksen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Syvyysmittaukset ovat olennainen osa mittauksia koko ruoppausalalla. Syvyysmittausten avulla saadaan selville merenpohjan topografia. (IADC 2022)

Syvyysmittaukset voidaan jakaa omiin luokkiinsa, perustuen niiden käyttämään teknologiaan. Erilaisia käytettyjä mittausmenetelmiä vesistöjen syvyyden mittauksissa ovat akustiset mittaukset, optiset mittaukset sekä mekaaniset mittaukset. Soveltuvinta syvyysmittausmenetelmää valittaessa tulee arvioida mittausmenetelmän vaadittu mittaustarkkuus. (Liikennevirasto 2013, s. 28)

3.1 Suomen kansallinen merenmittaussovellus FIS44/2021

IHO (The International Hydrographic Organization) on maailmanlaajuinen organisaatio, joka on perustettu 1921 ja sen tavoitteena on varmistaa ja kartoittaa kaikki maailman purjehduskelpoiset vedet. Nykyään tehtävät syvyyskartoitukset perustuvat pitkälti IHO:n standardeihin ja vaatimuksiin. (IHO 2021)

Uusin käytössä oleva standardi on kuudes versio vuodelta 2020. Traficom on vuonna 2021 julkaissut ohjeen yleisten kulkuväylien turvallisuuden varmistamiseksi tehtäville merenmittauksille, sekä siihen liittyvän IHO:n standardeihin sisältyvän Suomen

kansallisen sovelluksen FIS44/2021. Suomessa tällä hetkellä meriväylien syvyystutkimukset suoritetaan monikeilauksin ja kriittisillä alueilla vesisyvyyden varmistaminen suoritetaan tankoharaamalla. (Traficom 2021a, s. 1)

FIS44/2021 sisältää IHO:n S-44 merenmittausstandardeihin perustuvat minimivaatimukset Suomessa suoritettaville syvyysmittauksille. Aiemmin Suomella ja Ruotsilla oli käytössä IHO:n yhteinen FSIS-44 kansallinen sovellus, joka on sittemmin Suomessa lakannut olemassa käytössä FIS44/2021 jälkeen. FIS44/2021 jakaantuu neljään eri mittausluokkaan, joita ovat Exclusive Order, Special Order, Order 1a sekä Order 1b. Exclusive Order on luokka, jota käytetään, kun vaaditaan kaikkein tarkimmat tutkimukset, kun taas Order 1b vaatimukset ovat jo huomattavasti lievemmat. Traficomien FIS44/2021 ohjeen mittausvaatimukset ja toleranssit on esitetty liitteessä 1. (Traficom 2021b, s. 6–7)

3.2 Pohjatutkimukset

Pohjatutkimusten avulla saadaan ruoppausurakoita varten selville ruopattavan maa-aineksen tiiveys, paksuus sekä maakerrosten väliset rajat. Niiden avulla saadaan mahdollisesti tietoon myös mahdollinen kallionpinnan taso. Maa-aineksen laadun kivisyyden sekä lohkaraisuuden määrittäminen myös hoidetaan pohjatutkimusten avulla, jolloin saadaan ruoppaustyöhön valittua oikeat työtavat. (Liikennevirasto 2013, s. 37)

Jotta ruoppausurakka saataisiin suoritettua mahdollisimman tehokkaasti, tulee ennen urakkaan ryhtymistä suorittaa laadukkaat pohjatutkimukset. Mikäli pohjatutkimukset ovat suoritettu heikosti tai puutteellisesti, on mahdollista, että urakan kustannukset nousevat sekä urakka-aika ylittyy. Tärkeimpänä on selvittää ruopattavan materiaalin ruopattavuus, jonka avulla saadaan valittua oikeanlaiset välineet ruoppaustöitä varten. Laadukkaiden pohjatutkimusten ansiosta saadaan tarkempaa tietoa alueen maalajeista, jolloin niille voidaan suunnitella jatkokäyttöä. Pohjatutkimusten tärkeys korostuu etenkin, kun rakennetaan esimerkiksi aallonmurtajia ja laitureita. (CEDA 2021, s. 3–7)

Ruoppausurakoita varten suoritettavissa pohjatutkimuksissa pyritään selvittämään maaperän rakenne sekä kalliopinnan profiili. Tavoitetasona kairauksissa pidetään 3–5 metriä haraustason alapuolella, johtuen siitä, että kairausten pistetiheys on harva

kustannussyistä. Kairauksia myös tehdään sitä syvemmälle, mitä harvempi kairausverkosta tulee. Vaikka kairauksissa päästiin tavoitesyvyyteen, eikä kovaa kallioita tullut vastaan, tulee ainakin osissa kairauksista pyrkiä selvittämään kovien kerrosten sijainteja huomattavasti syvemmillä kairauksilla. (Liikennevirasto 2013, s.38)

3.3 Paikantaminen

Paikantaminen suoritetaan nykypäivänä satelliittipaikannuksena, jonka avulla saadaan nopeasti selville sekä sijainti- että aikatieto. Pääsääntöisesti vesiväylätutkimuksissa käytettävät menetelmät perustuvat juuri satelliittipaikantamiseen. (Liikennevirasto 2013, s. 28)

GNSS (Global Navigation Satellite System) toimii satelliittien avulla lähettäen signaaleja GNSS-vastaanottimiin. Lähetetyt signaalit koostuvat paikannus- ja ajoitustiedosta, jonka avulla vastaanotin määrittää sijaintinsa. GNSS-järjestelmään kuuluvat eurooppalainen järjestelmä Galileo, Yhdysvaltain NAVSTAR GPS (Global Positioning System), Venäjän GLONASS (Global'naya Navitgatsionnaya Sputnikovaya Sistema) sekä Kiinan BeiDou Navigation Satellite System. Näiden kaikkien järjestelmien avulla saadaan miltei koko maapallon GNSS peittävyys. GNSS:n suorituskykyä on mahdollista arvioida neljän erilaisen kriteerin avulla, joita ovat tarkkuus, varmuus, jatkuvuus sekä käytettävyys. (EUSPA 2021)

Tarkkuutta vaativissa rakenteissa tai esimerkiksi Exclusive order tai Special order luokkien mittauksissa, voidaan paikannustarkkuudelta vaatia enemmän kuin vähemmän kriittisissä tilanteissa. Tällöin voidaan hyödyntää RTK-mittauksia (*real time kinematic*). RTK-mittauksissa vaaditaan tukiasema, jonka tarkka sijainti tunnetaan. Tukiaseman avulla lähetetään koordinaatit liikkuvalla vastaanottimelle. Yhteen tukiasemaan perustuvalla RTK-mittauksella voidaan saavuttaa noin 10–20 kilometrin suuruinen toimintasäde. RTK-mittauksissa voidaan käyttää myös tukiasemien verkkoa, jolloin voidaan saavuttaa parempi toimintasäde. (Liikennevirasto 2013, s. 14; Väylävirasto 2022c, s. 14)

IHO:n standardin S-44 mukaisesti, mittausten paikantaminen tulee perustua tasokoordinaattijärjestelmän realisaatioon maailmanlaajuisesti tai paikallisesti.

Merenmittauksissa suomessa käytetään EUREF-FIN -koordinaatistoa, joka on eurooppalaisen ETRS89-koordinaattijärjestelmän suomalainen realisaatio ja sen vertausellipsoidina mittauksissa käytetään GRS 80 (IHO 2020b, s. 14; Traficom 2021a, s. 11).

3.4 Akustiset mittaukset

Akustisilla mittausmenetelmillä tarkoitetaan kaikuluotaimia. Kaikuluotaimien toimintaperiaate perustuu ääniaaltojen lähettämiseen ja niiden vastaanottamiseen. Ääniaaltojen pohjaan ja takaisin kulkeman ajan perusteella saadaan määritettyä veden syvyys. Vesi on väliaine, jossa ääniaallot kulkevat hyvin. Ääniaallot saavat vesimolekyylit värähtelemään edestakaisin ja tällä tavoin ääniaalto pääsee kulkeutumaan eteenpäin. Ääniaaltojen kulkeutumiseen vedessä vaikuttavat lämpötila, suolapitoisuus, paine sekä tiheys. Syvyysmittaukset voivatkin olla melko herkkiä lämpötilan muutoksille. Yhden asteen muutos lämpötilassa vaikuttaa ääniaallon nopeuteen noin 4,5 m/s. Lämpötilan muutokset ovatkin kaikkein hallitsevimpia tekijöitä vesipatsaan äänennopeusprofiilin muutoksissa. (IHO 2020a, s. 16; IHO 2010, s. 126)

Suolapitoisuudella tarkoitetaan veteen liuenneiden suolojen ja mineraalien pitoisuutta. Vesipatsaan suolapitoisuus saadaan määriteltä sen sähkönjohtokyvyn perusteella. Valtamerien vesien keskimääräinen suolapitoisuus on noin 35 promillea. Itämeren keskimääräinen suolapitoisuus on hyvin paljon pienempi maailman keskiarvosta, vain noin 7 promillea. Yhden promillen muutoksella suolapitoisuuteen on vaikutusta äänennopeuteen vedessä noin 1,3 m/s. (IHO 2010, s. 126; SYKE 2020f)

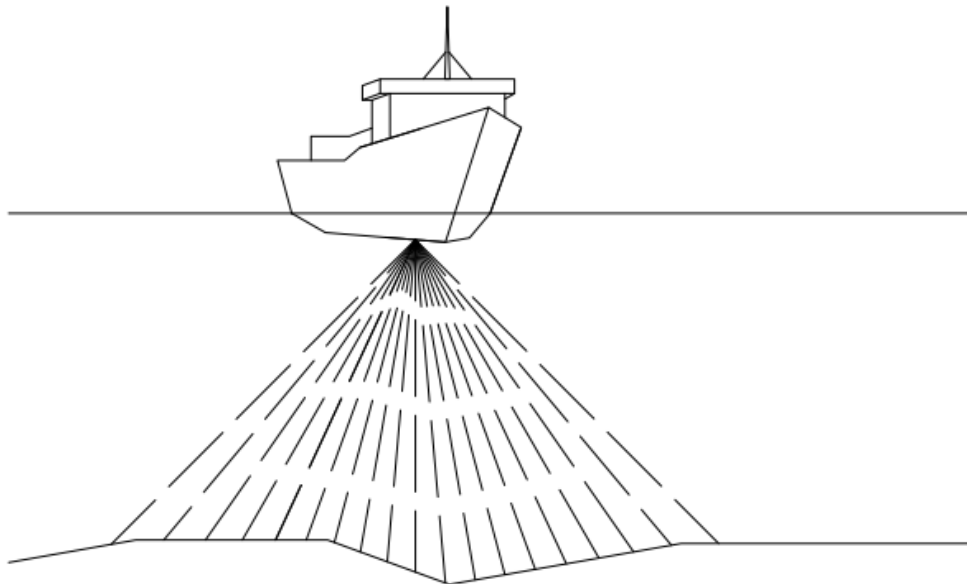
Paineella on myös merkittävä vaikutus ääniaaltojen kulkeutumiseen. Äänen nopeus muuttuu noin 1,6 m/s kun paineen muutos on 10 atm. Tiheyden vaikutus äänen kulkeutumiseen on yleensä edellä esitettyjen tekijöiden yhteisvaikutusta. (IHO 2010, s. 126)

Akustisten mittausten avulla saadaan mittaustulokset digitaaliseen muotoon, joko numeerisesti tai kaikuvastekuvaksi. Niiden avulla saadaan tieto merenpohjan topografiasta, ja niillä on myös mahdollista arvioida pohjan maalajeja. Akustisissa mittausmenetelmissä mittaustaajuudella on merkittävä rooli. Korkeammalla resoluutiolla

merenpohjasta saadaan tuotettua tarkempaa kuvaa. Kuitenkin resoluution kasvaessa, on myös mittausaineistossa esiintyvien virheiden mahdollisuus suurempi, johtuen vedessä esiintyvistä epäpuhtauksista. Matalammilla taajuuksilla taasen yksittäisten esteiden hahmottaminen on työläämpää jaa haasteellisempää, mutta äänipulssi tunkeutuu syvemmälle kohteeseen. Akustisten mittausten avulla saadaan luotua havaintopilvi, jota hyödynnetään veden syvyyden toteamiseen. Erilaisia akustisia mittauksia ovat monikeilaus, kaikuharaus, linjaluotaus sekä matalataajuuksuluotaus. (Liikennevirasto 2013, s. 28-29)

3.4.1 Monikeilaus

Monikeilaus on akustinen mittausmenetelmä, jossa kaikuluotain kaiuttaa viuhkamaisen kuvion mitattavan väylän pohjasta (kuva 6). Monikeilaus on tehokas tapa mitata vesiväylänpohja, sillä sen avulla on mahdollista saavuttaa täysi mittauspeittävyys mitatulta alueelta. Monikeilauksessa keilan avauskulman suurin sallittu suuruus on $\pm 65^\circ$. Kuitenkin kohteissa, jossa kölivara on kriittinen, monikeilausmittauksissa avauskulma saa olla ainoastaan $\pm 45^\circ$. (Liikennevirasto 2013, s. 29; Traficom 2021a, s. 19)



Kuva 6. Monikeilauksen toimintaperiaate (mukaiillen Traficom 2021a).

Monikeilaus mittausalukseen kuuluu sensoreita, joihin lukeutuvat äänennopeussensori, GNSS-paikannuslaite, liikesensori sekä kaikuluotain. Liikesensori koostuu inertiamittausyksiköstä (*Inertial Motion Unit – IMU*), inertiasuunnistusmittausyksiköstä (*Inertial Navigation System – INS*) sekä gyrokompassista. Näiden useiden mittalaitteiden ja sensoreiden takia kuitenkin virheen mahdollisuus kasvaa. Aluksen liiketilän tunteminen on tärkeää, jotta voidaan saada laadukasta ja varmaa mittausdataa. Aluksen liiketilän tuntemiseen liittyy myös vallitsevat sää- sekä mittausolosuhteet. (Naankeu Wati, et al, 2016, s. 23; Liikennevirasto 2013, s. 29)

Mittausaluksen liikkeitä tarkkaillaan edellä mainittujen sensoreiden avulla. Niiden avulla on mahdollista mitata mittausaluksen huojuntaa, keinuntaa pituussuunnassa sekä korkeusaseman muutosta (IHO 2010, s. 133).

Monikeilauksessa syvyyden mittaustarkkuuteen vaikuttavat useat tekijät sekä niiden yhteisvaikutus. Mittaustarkkuuteen vaikuttavat muun muassa vesipatsaan ominaisuudet. Vesipatsaan äänennopeudessa tapahtuvat muutokset, jotka voivat aiheutua muun muassa lämpötilan tai suolapitoisuuden muutoksesta, voivat merkittävästi vaikuttaa mittauksien epävarmuuteen. Matalissa vesissä haasteena on noussut esille äänen johtumisen ja taittumisen virheet. Monikeilauksia suoritettaessa äänennopeutta vedessä seurataan äänennopeusantureilla. Monikeilauksia tehtäessä äänennopeus mitataan kahdella tavalla. Ensimmäinen mittaus mittaa äänennopeutta monikeilaimen lähettimen läheisyydessä, ja toisessa mittauksessa määritetään äänennopeusprofiilit johtavuuden, lämpötilan sekä syvyyden avulla. Äänennopeusprofiilien tunteminen on välttämätöntä määritettäessä ääniaallon kulkeutumista vesipatsaan lävitse, joka on olennaista määritettäessä syvyyttä mitatuista ääniaallon matkaamista ajoista. Vesipatsaan aiheuttaman ääniaallon kulkeutumisen muutokset tulee mitata, jotta ääniaallon kulkema aika saadaan korjattua. Ilman näitä suoritettuja mittauksen korjauksia äänennopeuteen, syvyysmittauksissa syntyisi vaaka- ja pystysuunnassa virheitä, jotka johtuvat ääniaallon taitumisesta. (Grzadziel 2021, s. 2–3)

Monikeilausmittauksissa mittauslaitteiden vastaanottamaan paluusignaaliin vaikuttaa useita tekijöitä. Näitä voivat olla järjestelmän asetukset, muun muassa signaalin vahvuus ja aallonpituus. Myös akustiset leviämisoiminaisuudet vaikuttavat, kuten signaalin sulautuminen ja signaalin leviämisestä aiheutuvat häviöt. Lähetetyn keilan geometrian

vaikutukset, joita ovat kantama, tulokulma sekä keilauksen jalanjäljen koko. Myös merenpohjan ominaisuudet vaikuttavat paluusignaaliin. Monikeilausmittauksista saatu mittausdata tulee korjata oikeaksi, jolloin edellä mainittujen mittaussignaaliin vaikuttavien tekijöiden vaikutusta ei ole saadussa mittausdatassa. Kuitenkin vaikka edellä mainitut asiat otettaisiin huomioon analysoitaessa mittaustuloksia, voi monikeilaimen paluusignaaliin vaikuttaa suuresti pohjan ominaisuudet. Pohjasedimenttien hienommissa rakeissa luotaimen paluusignaali on heikompi, johtuen matalasta irtotiheydestä sekä matalasta akustisesta impedanssierosta veden ja pohjasedimentin rajapinnalla. Karheilla pohjasedimenteillä taas paluusignaali palautuu vastaanottimeen vahvempana, johtuen suuremmasta irtotiheydestä, akustisesta impedanssierosta veden ja pohjan sedimenttikerroksen rajapinnalla. Hiekkaisilla pohjasedimenteillä on osoitettu, että paluusignaali heikkenee keskimääräisen raekoon mukaan. (Innangi & Tollieni 2017, s. 117)

Monikeilauksen jälkeen siitä saatu aineisto tulee analysoida ja käsitellä. Keilatussa aineistossa saadut pisteet ilmoitetaan joko hyväksytyinä tai hylättyinä. Tärkeänä asiana hyvän ja luotettavan keilausaineiston saamiseen tulee matalilla kohdilla kiinnittää huomiota siihen, että kaikkein matalin syvyyshavainto on varmasti hyväksytty. Nykypäivänä monikeilaimilla saatuja syvyysmittausaineistoja voidaan automaattisesti käsitellä, mutta tällaisissa tapauksissa kriittisiä mittauspisteitä saattaa aineistosta pyyhkiytyä pois. Monikeilaimen avauskulmaa pienentämällä, saadaan automaattista käsittelyä tarkemmaksi, jolloin mittausaineistosta ei poistu tahattomasti mittauspisteitä. Mittausaineiston kaikki systemaattiset virheet tulee havaita käsiteltäessä aineistoa. (Traficom 2021a, s. 23)

Monikeilausmittauksissa käytettävään taajuuteen vaikuttavat lähetetyn keilan kulma, koko sekä kantama. Kun halutaan tarkkaa monikeilausaineistoa, on käytössä korkeammalla taajuudella toimiva monikeilain. Yleensä myös matalammilla vesillä on käytössä korkeampi taajuus. Yleisesti ottaen käytetty taajuus on noin 100–700 kHz. Matalat taajuudet ovat yleensä käytössä, kun mittauksia suoritetaan valtamerisyvyyksissä. (Lekkerkerk 2020)

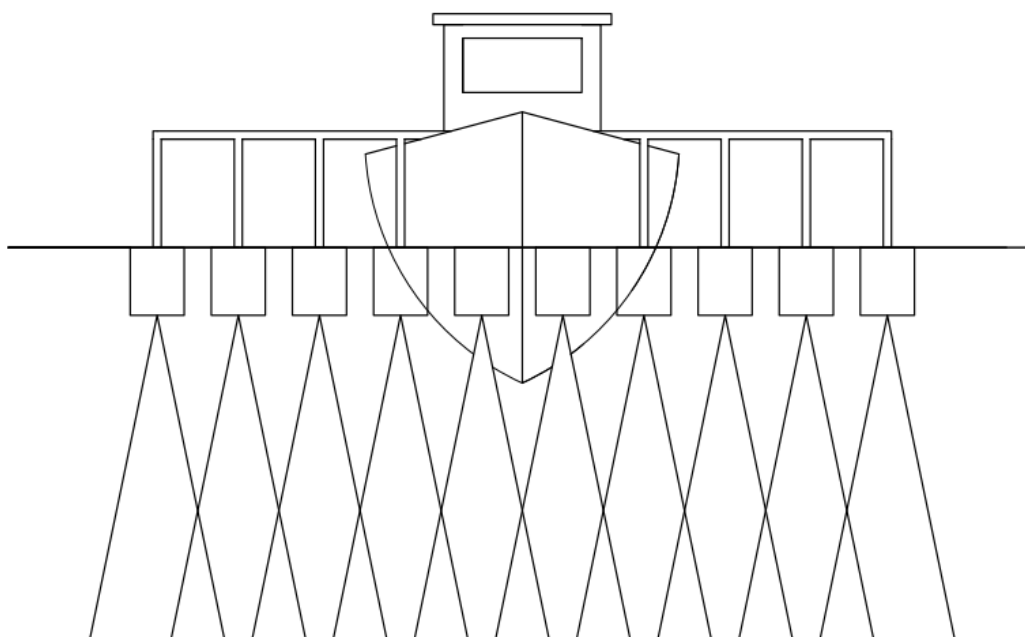
3.4.2 Linjaluotaus

Linjaluotaus perustuu yksikanavaisen kaikuluotaimen (Liikennevirasto 2013, s. 32). Linjaluotauksissa taajuuden kasvaessa, lähetettävän luotaimen keila typistyy. Linjaluotauksia on mahdollista suorittaa matalissa vesissä aina meren syvyyksiin saakka. Linjaluotauksella on mahdollista saavuttaa kustannussäästöjä verrattuna monikeilaukseen, etenkin kun toimitaan vesisyvyyksissä 5–10 metrin alueella. Linjaluotaamalla saatua mittausta on huomattavasti helpompi tulkita, nopeampaa tehdä aineiston jälkikäsitteilyä sekä linjaluotauslaitteiston käsittely ei ole yhtä haasteellista kuin monikeilauksien. (Konsberg 2021; CEE HydroSystems 2021)

Linjaluotaimella saatu luodattu jalanjälki ei kuitenkaan ole yhtä laaja kuin monikeilaimella saatu. Linjaluotauksella saadaan kartoitettua pohjatopografiaa ainoastaan luodattujen linjojen perusteella, jolloin merenpohjan topografia luotauslinjojen välissä jää pimentoon. Linjaluotauksessa voi myös olla, ettei hyvin teräviä esteitä ole mahdollista havaita lainkaan. Linjaluotauksia voidaan hyödyntää ruoppausurakoinnissa suurpiirteisesti havainnoimaan pohjan profiilia, ruoppaustöiden suunnittelua tukevaksi. Linjaluotausten avulla voidaan myös määrittää sekä seurata ruoppausmassojen määriä. (IHO 2010, s.187; C&C Technologies 2013)

3.4.3 Kaikuharaus

Kaikuharauslaitteisto koostuu useista yksikanavaisista luotaimista, joita on asennettu puomiin mittausaluksen molemmin puolin (kuva 7). Kaikuharauksella on mahdollista saavuttaa täysi mittauspeittävyys alueesta, mikäli luotaimia on asennettu tarpeeksi tiheästi puomeihin. Tiheästi jaoteltuna luotainten jalanjälkien väliin ei jää luotaamattomia alueita. Kaikuharauslaitteistot juontavat juurensa 1970-luvulta, jolloin alettiin kehittämään vaihtoehtoista, 100 % peittävyuden omaavaa menetelmää tankoharauksen tilalle urakoiden vastaanottojen vesisyvyyden varmentamisessa. Kaikuharauksessa käytettyjen luotainten määrä voi vaihdella. Johtuen kaikuharauksen puomimaisesta rakenteesta kaikuharaus on toimiva menetelmä tyynellä kelillä, ja etenkin sisävesillä. Puomirakenteen takia, aluksen keinunnasta aiheutuu puomin päiden nouseminen. Luotainten välinen etäisyys riippuu syvyydestä, keilaimen kulman leveydestä sekä luotainten jalanjäljen päällekkäisyydestä. (Liikennevirasto 2013, s. 30; USACE 2013, luku 5)



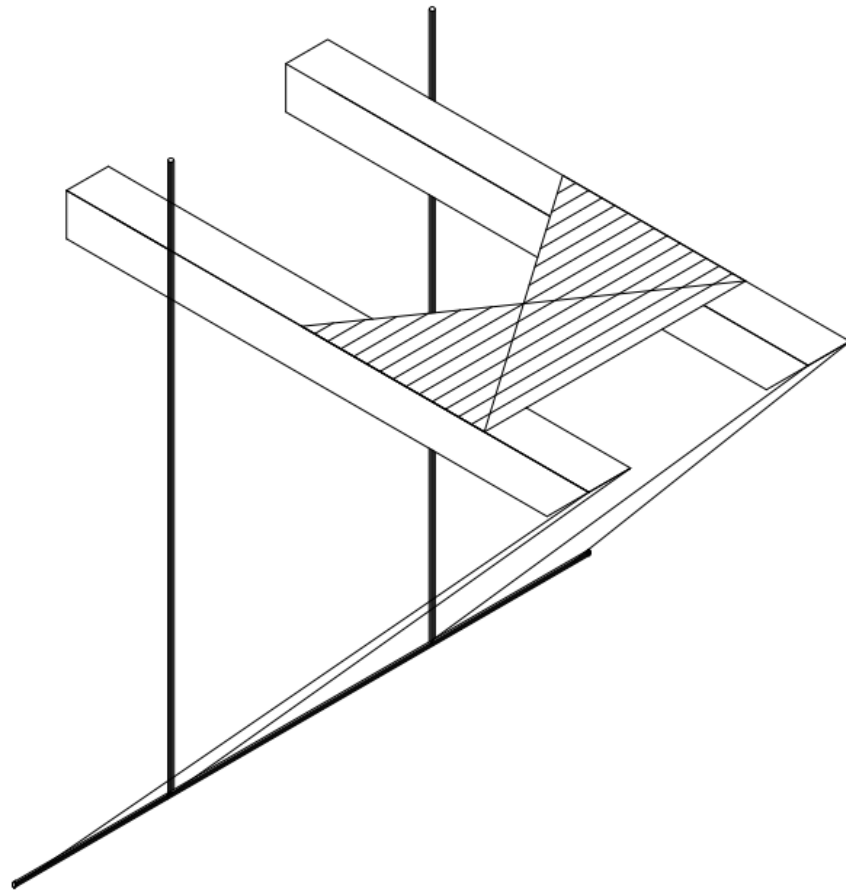
Kuva 7. Kaikuharan toimintaperiaate (mukaihen USACE 2013).

3.5 Mekaaniset mittaukset

Mekaaniset mittaukset olivat ensimmäisiä vedensyvyyden määrittämiseen käytettyjä mittausmenetelmiä, ja ne ovat käytössä yhä tänäkin päivänä. Mekaaniset mittausmenetelmät ovat luotettavia verrattuna muunlaisiin mittauksiin, eikä niihin vaikuta meriveden ominaisuudet, toisin kuin muihin mittauksiin vaikuttavat. Esimerkiksi akustisissa mittausmenetelmissä mittaustarkkuuteen voivat vaikuttaa esimerkiksi kalaparvet sekä levät. (IHO 2010, s. 186)

Tankoharaus (kuva 8) on mekaaninen syvyysmittausmenetelmä, jossa alukseen tai erilliseen lauttaan kiinnitetyllä mittaustangolla harataan väylä, ja mahdollisista tangon kosketuksista väylän pohjassa oleviin kohteisiin pidetään kirjaa. Tankoharauksen yhtenä merkittävänä ongelmana on sen riippuvuus sääolosuhteista. Mittauksen aikana on vedenpinnan korkeus tunnettava jatkuvasti. Tankoharauksen käyttötarkoitukset tyypillisesti ovat alueen täyssyvyyden varmistaminen, ruoppauskohteen tai väylän reunan täyssyvän alueen määrittäminen, urakka-alueen rajojen määrittäminen, töiden edistymisen

seuranta sekä urakan vastaanottoharaus. Tankoharaus on vesiväylämittausmenetelmänä tarkka. Sillä saadaan varmistettua varmuudella koko mitattavan alueen varavesi, ja näin varmistettua turvallinen merenkäynti. Tankoharauksen toleranssit ovat monikeilausmittauksia pienemmät. Tankoharaus on pakollinen menetelmä syvyyden määrittämiseen, kun syvyystoleranssi on monikeilatun syvyyden sekä haraustason välillä alle yhden metrin. (Liikennevirasto 2013, s. 34; Traficom 2021a, s. 36; Traficom 2021b, s.6)



Kuva 8. Tankohara (mukaillen Hartikainen 2000).

Ennen tankoharausta, haralle määritetään syvyystoleranssi, johon huomioidaan kaikki syvyyteen vaikuttavat tekijät. Haratessa tanko ei saa nousta määritellyltä haraustasolta. Tankoharauksia suoritettaessa vaaditaan FIS44/2021 mukaan harattavalta alueelta täysi peittävyys. Tankoharaukskaluston tulee olla vaatimukset täyttävässä kunnossa, joten

niiden täytyy olla katsastettuja virallisia syvyysharauksia varten. Suoritetusta katsastuksesta täytetään virallinen katsastuslomake. (Traficom 2021a, s. 36; Liikennevirasto 2014, s. 10)

Tankoharan rakenteella on vaikutusta sen syvyystoleransseihin ja se tulee huomioida niitä määriteltäessä. Haran rakenteesta ja ominaisuuksista laaditaan mittausraportti, jonka avulla voidaan huomioida mittauksessa ilmenevät mahdolliset satunnaiset sekä systemaattiset syvyyteen vaikuttavat virheet. Tankoharauksen nopeudella on vaikutusta haraustangon syvyyteen, joka ilmenee systemaattisena virheenä. Tämä huomioidaan suunniteltaessa tankoharauksia. Nopeuden vaikutuksia haraustankoon määritetään aluksen ollessa paikoillaan, liikkeessaan puolella harausnopeudella, sekä sen liikkeessä täydellä harausnopeudella. Haran pystytankojen suoruus vaikuttaa myös haraustangon syvyyteen. Pystytangoilla on harauksen aikana maksimikallistuskulma, jonka arvo ei saa ylittyä suoritettavan harauksen aikana. (Traficom 2021a, s. 37–38)

Ennen virallisten vastaanoton tankoharausten suorittamista on urakoitsija suorittanut työharauksia urakka-alueella. Myös tekemällä monikeilauksia urakka-alueelle saadaan tietoon pohjan topografiaa, jolloin vielä voidaan suorittaa tarpeellisia ruoppaustoimenpiteitä mahdollisen haraustason yläpuolella oleville maille. Haraustyön suunnittelu on tärkeä osa onnistunutta ja luotettavaa tankoharausta. Kun harattava alue on kartoitettu esimerkiksi monikeilaamalla, voidaan mahdollisia tulevia pohjakosketuksia vähentää merkittävästi. Pohjakosketusten ollessa vähäisempiä, mahdollisuus haraustangon vikaantumiseen on pienempi. (Traficom 2021a, s. 43)

Mittausolosuhteilla on suuri vaikutus luotettavan tankoharaus mittausaineiston keräämiseen. Aallokolla on vaikutusta niin tangon syvytykseen, kuin sen syvyykseen. Se myös lisää epävarmuutta luettaessa haraustangon syvyysmittoja. Myös muu vesiliikenne väylillä voi aiheuttaa harausmittauksille epävarmuutta. Mainingiksi kutsutaan kauempana olevan myrskyn kuljettamia aallokkojen jäänteitä tai tyyntyneen tuulen muodostaneita loivia aaltoja. Maininkien vaikutuksesta merenpinta aaltoilee, vaikkei paikallisesti edes tuuliisi. (Traficom 2021a, s. 40–42; Australian Government 2022)

Tankoharaus jaetaan Suomessa neljään erilaiseen haraustyyppiin, joita ovat: tutkimusharaus, varmistusharaus, työharaus sekä vastaanottoharaus. Tutkimusharauksia tehdään, kun kartoitetaan suunnittelua varten lähtötietoja vedenpohjasta. Varmistusharauksella varmistetaan vesiväylän syvyys. Työharauksesta puhutaan, kun harauksia tehdään kesken ruoppaustöiden. Näitä kesken ruoppaustöiden tehtyjä harauksia ei voida hyödyntää muuhun, kuin ruoppausurakoiden töiden seurantaan. Ruoppausurakan vastaanottoharaus liittyy urakoitsijan tekemän työn hyväksyntään sekä sen vastaanottamiseen. Vastaanottoharauksessa koko urakka-alue harataan ja varmistetaan. Suoritettaessa virallisia varmistusharauksia tai vastaanottoharauksia, tulee harauksissa aina olla mukana henkilö, jolla on Väyläviraston myöntämä haraustöiden harausvaltuus. Tutkimusharauksissa harausvaltuuden omaavan henkilön läsnäolo ei ole pakollista. (Liikennevirasto 2014, liite 1)

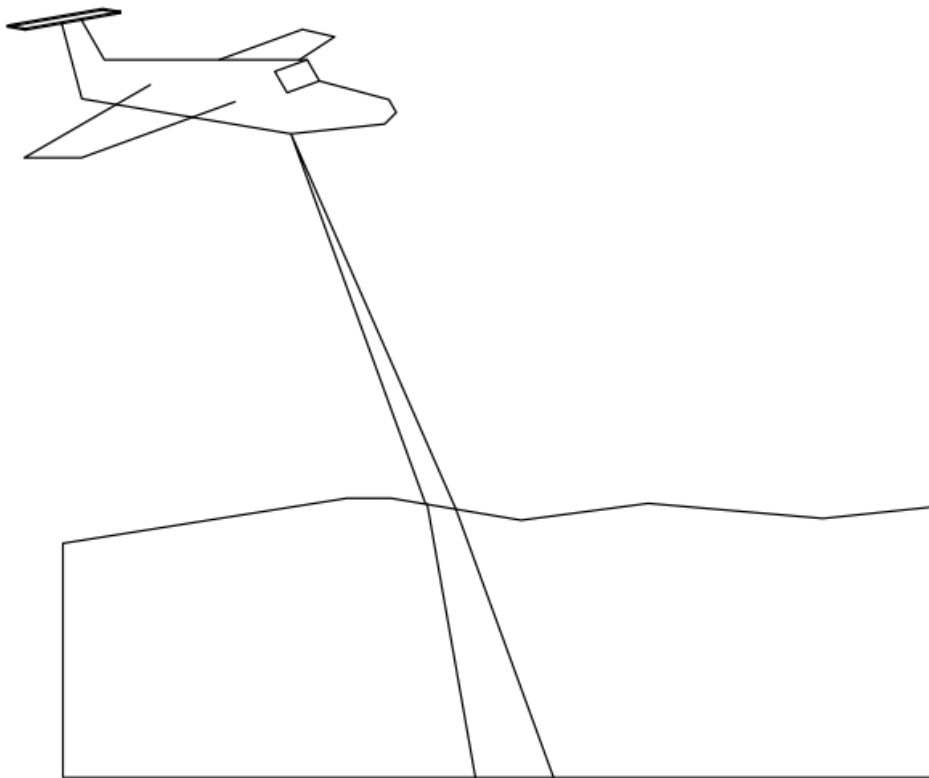
3.6 Optiset mittaukset

Rannikolla vesien laatua seurataan jatkuvasti niillä olevilta mittausasemilla. Näytteenoton avulla saadaan tutkittua veden laadussa tapahtuvia hetkellisiä ja pidempiaikaisia vaihteluita (SYKE 2014). Suomen rannikkovesiin tuleva ravinnekuormitus tulee pelloilta sekä asutuskeskuksista. Myös metsätalous sekä massa- ja paperitalous aiheuttavat kuormitusta meriveteen (SYKE 2020e). Ravinnekuormituksen kasvaessa, vedet rehevöityvät, jolloin tapahtuu veden samentumista ja levien lisääntymistä (SYKE 2014). Tällä on vaikutus optisia mittausmenetelmiä käytettäessä. Sameissa vesissä, joissa veden läpinäkyvyys on heikko, voidaankin tehdä Secchi-levyllä veden läpinäkyvyyden arviointia. Veden läpinäkyvyydellä tarkoitetaan sen kykyä välittää valoa. Secchi-levy on valkoinen levy, joka upotetaan veteen. Kun levyä ei ole enää mahdollista havaita, on silloin saavutettu Secchisyvyys. Tällä tavoin voidaan arvioida, kuinka syvältä laserkeilaamalla saadaan havaintoja (Liikennevirasto 2015, s.13; Fleming-Lehtinen 2016, s. 11)

Laserkeilaus (*Airborne Laser Bathymetry, ALB*) on optinen mittausmenetelmä, jolla saadaan luotua laserkeilatusta vedenalaisesta alueesta havaintopilvi. Veden syvyyden mittauksessa laserkeilaus tehdään ilmasta käsin lentokoneella, johon laserkeilain on kiinnitetty. Laserkeilauksen avulla on mahdollista tehostaa nykyistä merikartoitusta, etenkin matalilla vesialueilla. Matalilla vesialueilla laserkeilauksen käyttö onkin toimiva

ja tehokas ratkaisu silloin, kun veden syvyys ei ole riittävä monikeilausaluksille. (Liikennevirasto 2013, s. 33; Song et al. 2015, s. 1)

Laserkeilauksen (kuva 9) avulla on mahdollista saavuttaa luotettavia mittaustuloksia kirkkaissa vesissä noin 50 metrin syvyyteen saakka. Laserkeilauslaitteisto koostuu lähetin vastaanottimesta, paikannusjärjestelmästä, lentokoneen tietojärjestelmästä sekä tietojen prosessointijärjestelmästä. Lähetin vastaanotin lähettää ja vastaanottaa lasersäteet vedenpinnasta, sekä pohjasta, ja laskee näiden kulkeman ajan. Laserkeilausjärjestelmä lähettää kahta eri lasersädettä kahdella eri aallonpituudella, joita ovat vihreä lasersäde sekä infrapunalasersäde. Vihreä lasersäde on aallonpituudeltaan lyhyempi, joka mahdollistaa sen tunkeutumisen vesipatsaan lävitse vedenpohjaan saakka. Sieltä se heijastuu takaisin lentokoneen vastaanottimeen. Infrapuna lasersäde, jonka aallonpituus on pidempi, heijastuu takaisin vedenpinnasta lentokoneen vastaanottimeen. Näiden kahden eri aallonpituuden omaavan lasersäteen avulla, saadaan selville vesipatjan paksuus, ja täten veden syvyys. (Cunningham et al. 2016, s. 2; Song et al. 2015, s. 1–2)



Kuva 9. Laserkeilauksen toimintaperiaate.

Paikannusjärjestelmän avulla tiedetään lentoaluksen tarkka sijainti, joka yhdistetään keilattuun lasersäteeseen, jolloin saadaan syvyysdataa sijaintitiedon kanssa. Tietojärjestelmän avulla seurataan lentoaluksen järjestelmien dataa, koordinaattitietoja sekä kaikkia mittausjärjestelmän tietoja, jota voidaan myöhemmin prosessoida mittaustulosten kanssa. Mittausten jälkeen tietojen prosessointijärjestelmässä käydään raaka mittaustieto läpi, ja tarkistetaan sen tarkkuus ja soveltuvuus. (Cunningham et al. 2016, s. 2)

Laserkeilaamalla on mahdollista saavuttaa IHO:n standardin S-44 mukainen Order 1b - tarkkuusluokka (Song et al. 2015, s. 1). Laserkeilauksen ongelmaksi syvyysmittauksissa muodostuu lasersäteen taittuminen ilman ja veden rajapinnalla. Lasersäde voi myös päästä hajoamaan veden alla, jolloin laserin viuhka laajenee. Yksinkertaistettuna lasersäteen taittumista veden rajapinnalla voidaan kuvata Snellin lain avulla. Snellin lain avulla saadaan määritettyä suunta, jonne lasersäde taittuu ilman ja veden rajapinnalla. (Maas et al. 2018, s. 114)

Laserkeilauksissa tulee huomioida lentokoneen suhde vedenpintaan, ja laadukkaiden mittaustulosten saavuttamiseksi tulisi lentokoneen olla jatkuvasti kohtisuoraan vedenpinnan tasoon nähden. Vaikka lentoalus lentäisikin tasaisesti, tulee huomioon ottaa vedenpinnan liikkeitä. Liiallinen aaltoliike pinnalla voi aiheuttaa lasersäteen taittumisen väärin, jolloin keilauksen jalanjälki voi olla useita metrejä väärässä paikassa. (Westfeld et al. 2017, s. 315)

Laserkeilausta voidaan käyttää syvyydenmittaukseen vaihtoehtona akustiselle mittaukselle, tai täydentämään ja varmistamaan akustisen mittauksen tarkkuutta (IHO 2010, s. 181). Liikenneviraston Merenmittausohjelmassa vuosille 2015–2020 oli määritelty kaksi kappaletta yhdistettyjä lasermittaus ja monikeilaus testiä. Alueilla kuitenkin jouduttiin ennen laserkeilausmittauksia tekemään veden kirkkausmittauksia Secchi-levyillä. (Liikennevirasto 2015, s. 13)

Laserkeilausmittauksissa mittaustulosten tarkkuudessa voidaan päästä desimetriluokkaan, mikäli olosuhteet ovat hyvät. Ongelmana laserkeilausmittauksissa on se, että pääsääntöisesti niitä voidaan parhaiten hyödyntää matalille vesialueille, kuten rannoille. Myös mittauksesta saadaan vain hyvin yleispiirteinen pohjatopografia selville.

Laserkeilausmittaukset vaativat otolliset olosuhteet, jotta niitä voidaan suorittaa, ja laadukkaiden laserkeilausmittausten suorittaminen joissain olosuhteissa voi olla myös jopa täysin mahdotonta. Laserkeilauksella tehtyjen mittaustulosten laatuun voivat vaikuttaa sade, sumu sekä veden sameus. (Liikennevirasto 2013, s. 33)

Veden kirkkaudella on suuri vaikutus etenkin mitä syvempään veteen mittauksia suoritetaan. Veden ollessa sameaa, ei heijastettu lasersäde pääse palaamaan veden pohjasta tarpeeksi vahvana, jolloin signaalin paluuaikaa ei saada tarkasti määritettyä. Tällä on vaikutusta mittaustarkkuuteen. Perinteisellä mittalaitteella on mahdollista päästä määrittämään veden syvyyksiä yli 50 metriin asti, mikäli veden laatu on hyvä ja se on kyllin kirkasta. Veden ollessa sameaa ja sen laadun ollessa heikompi, on optisilla mittauksilla mahdollista suorittaa mittauksia vain noin 10 metrin syvyyteen rannikkoalueilla. Liian sameissa vesissä mittausten suorittaminen voi olla jopa täysin mahdotonta. (Guenther 2004, s. 17)

Laserkeilausmittaukset tarjoavat nopean ja tehokkaan tavan tehdä kartoitusta merenpohjasta. Kuitenkin vielä tänä päivänä niitä ei oikeastaan käytetä ruoppausurakoiden vastaanotoissa, vaan niiden käyttö on yleisintä rannikoiden läheisyydessä ja muissa matalammissa vesissä, sekä ympäristön monitoroinnissa. Laserkeilausmittausten avulla voidaan esimerkiksi tutkia merenpohjan ekologiaa sekä kasvillisuutta. (Leica Geosystems 2018)

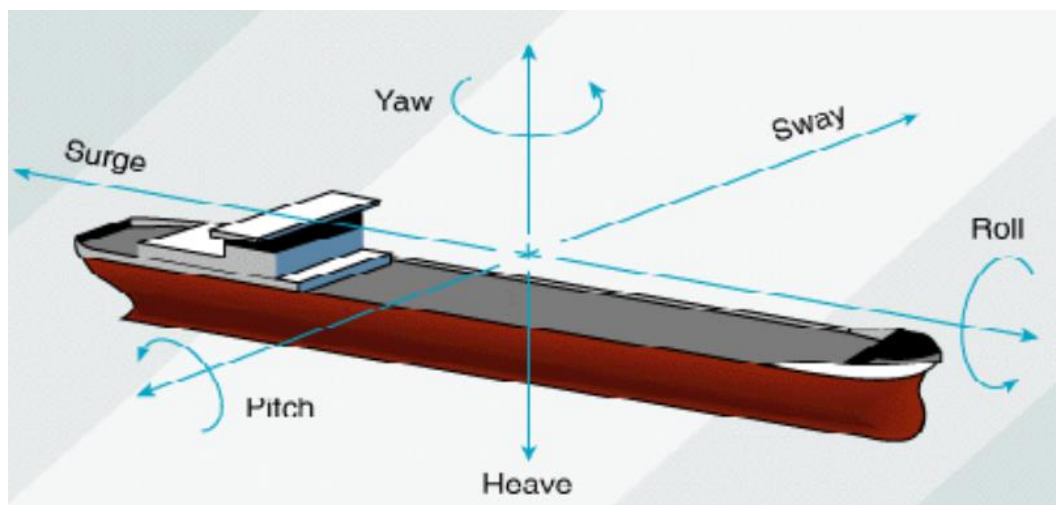
3.7 Vesiväylämittausten mittausepävarmuus

Jokaisella mittausmenetelmällä on oltava tehtynä tarkkuusarviointi eli virhebudjetti (Liikennevirasto 2013, s. 27). Mittauksia suoritettaessa tapahtuu virheitä. Virheellä mittauksessa tarkoitetaan eroa mitatun sekä todellisen arvon välillä. Mittausvirheet voidaan jakaa joko systemaattisiin tai satunaisiin virheisiin. Systemaattiset virheet ovat vakiovirheitä, jotka säilyvät samana tai ovat ennustettavissa. Satunnaisvirheillä tarkoitetaan mittaukseen vaikuttavia tekijöitä, joihin ei voida ennestään vaikuttaa. (IHO 2020b, s. vii)

IHO:n S-44 standardissa käydään läpi merenmittaukseen liittyvät termit *total horizontal uncertainty* (THU) ja *total vertical uncertainty* (TVU). THU:lla tarkoitetaan vaakatasossa

laskettua kokonaisvirhettä, kaksiulotteisella tasolla. Tähän on huomioitu kaikki mahdolliset mittausepävarmuudet. TVU:lla taas tarkoitetaan pystysuunnassa olevaa yksiulotteista kokonaisvirhettä, johon on huomioitu kaikki pystysuunnassa tapahtuvat mahdolliset mittausepävarmuudet. Näiden yhdistelmänä voidaan pitää *total propagated uncertainty* (TPU), jossa on huomioitu kolmiulotteisesti kaikki mahdolliset epävarmuudet. TPU:sta puhuttaessa käytetään myös nimitystä *error budget*, virhebudjetti (IHO 2020b, s. 11; Naankeu Wati et al. 2016, s. 26)

Merenkäynti ja aallokko aiheuttaa alukselle liikettä niin pystysuunnassa, kuin myös sivuttain, kuvan 10 mukaisesti. Pituussuuntaisia aallokon aiheuttamia liikkeitä laivassa ovat jyskintä (pitch), joka tarkoittaa pitkittäistä aluksen keinumista pituussuunnassa. Kohoilu (heave) tarkoittaa aluksen nousua sekä laskua aallokon mukaisesti pystysuunnassa. Keinunnalla (roll) tarkoitetaan aluksen sivuttaissuuntaista keinuntaa. Vaakasuuntaisia aallokon aiheuttamia liikkeitä laivoille ovat huojunta (sway), joka tarkoittaa aluksen liikkumista horisontaalisesti. Mutkailu (yaw) tarkoittaa että alus pyörii keskiakselinsa ympäri. Kiihtyily (surge) tarkoittaa aluksen liikettä edes takaisin aallokon aiheuttamana. Aallokon vaikutus laivan keinuntaan aiheutuu aallokon ja aluksen kulkusuunnan välisestä kulmasta, johon vaikuttavat aallon periodi, aallonkorkeus sekä sen pituus. Laivaan tai alukseen vaikuttaa myös tuuli, joka voi johtaa aluksen kallistumiseen. Tuulen vaikutus laivan kallistumiin riippuu laivan tuulipinta-alasta sekä painopisteestä. (Liikennevirasto 2018, s. 43–44)



Kuva 10. Aallokon aiheuttamat laivan liikkeet (Liikennevirasto 2018).

3.8 Ruotsin merenkululaitos

Ruotsin merenkululaitos tarjoaa merireittejä sekä palveluita liittyen merenkulkuun. Ruotsin merenkululaitoksen palveluihin kuuluvat muun muassa luotsaus, jäänsärkeminen sekä merenmittaukset (Sjöfartsverket 2022a). Ruotsin merenkululaitoksen merenmittauskalustoon kuuluu mittausaluksia, aina matalien vesien kartoitusaluksista syvien merien luotuksiin kykeneviin aluksiin. Ruotsin merenkululaitoksen toteuttamat syvyysmittaukset pääsääntöisesti sijoittuvat alueille, joilla liikkuu suuria aluksia. Myös ruoppaustöihin liittyvät mittaukset ovat Ruotsin merenkululaitoksen alaisuudessa. Ruotsin merenkululaitoksen mittauskalustoon kuuluu myös kauko-ohjattavia miehittämättömiä mittausaluksia. (Sjöfartsverket 2022b)

Ruotsin merialueilla ja niillä tehtävissä ruoppausurakoissa hyödynnetään niin akustisia, optisia kuin mekaanisia syvyysmittauksia. Mekaanisia mittausmenetelmiä käytetään vähimmäisvesisyvyyden varmistamiseen. Ruotsin merialueilla toteutettavat merenmittaukset perustuvat IHO:n standardiin S-44 sekä sen kansalliseen laajennukseen FSIS-44, joka oli aiemmin yhteinen laajennus Suomen sekä Ruotsin kanssa. Suomessa FSIS-44 korvaantui vuonna 2021 Suomen omalla laajennuksella FIS44/2021. (Sjöfartsverket 2011, s. 1–3)

FSIS-44 määrittelee Ruotsin merialueilla turvalliset vesisyvyydet, joiden mukaan alusten on turvallista purjehtia Ruotsin vesialueiden väylillä. FSIS-44 on jaettu neljään luokkaan, joita ovat Exclusive order, Special order, Order 1a sekä Order 2. Nämä hieman poikkeavat Suomessa käytössä olevasta FIS44/2021, jossa Order 2 tilalla on Order 1b. Kaikissa FSIS-44 luokissa vaaditaan pohjan täysi mittauskattavuus. Exclusive orderissa sekä Special orderissa käytetään tankoharausta, joka on välttämätön, jotta voidaan taata, että vesisyvyys on varmasti riittävä. Monilla matalammilla meriväylillä varaveden syvyys voi olla jopa alle metrin luokkaa, jolloin täytyy olla äärimmäisen varma, ettei veden pinnan alapuolelle ole jäänyt tunnistamattomia esineitä. Exclusive orderissa täytyy havaita vähintään 0,2 metrin kokoiset esteet ja Special orderissa niiden koko on 0,3 metriä. (Sjöfartsverket 2010, s.1–2)

4 RUOPPAUSURAKAN VASTAANOTTO

Uusien meriväylien rakentamisurakoissa tai jo olemassa olevien väylien syventämisessä on yleensä käytössä urakkamuotona kokonaisurakka, mutta mikäli hankkeessa on selkeitä osakokonaisuuksia, liittyen käytettyyn ruoppaustapaan tai sijaintiin, on myös jaettu urakkamuoto mahdollinen. Ruoppaustöiden yleisenä maksuperusteena on kokonaishintaurakka, jolloin kattavien ja tarkkojen maaperätutkimusten osuus korostuu. Yksikköhintaisessa urakassa maaperätutkimukset eivät ole niin laajassa roolissa, tai niiden tekeminen ei ole mahdollista. Yksikköhintaisissa urakoissa urakka jaetaan osakokonaisuuksiin, joiden määrittelemine ja työmäärien arviointi on kohteittain mahdollista. Kokonaishinnan ja yksikköhinnan yhdistelmää ruoppausurakoinnissa voidaan hyödyntää, kun mahdollisten kallioiden sekä lohkareiden sijainnista tai määristä ei olla varmoja. Tällöin ruopattavaan maa-ainekseen liittyvät työt suoritetaan kokonaishintana ja yksittäisten lohkareiden tai kallioiden poistoon hyödynnetään yksikköhintoja. (Merenkulkulaitos 2009, s.18–19)

Rakennustyön ollessa valmis, pidetään urakan vastaanottotarkastus, jossa todetaan, että urakoitsijan suorittama työ täyttää urakka-asiakirjojen vaatimukset, sekä mahdolliset virheet että puutteet. Vastaanottotarkastus on rakennusurakan Yleisten sopimusehtojen YSE 1998 mukainen tarkastus. Rakennusurakka voidaan vastaanottaa osittain ennen koko urakan vastaanottoa, mikäli siitä on joko sopimusaisakirjoissa tai urakan aikana sovittu tilaajan ja urakoitsijan kesken. Mikäli urakan tietty osa vastaanotetaan aiemmin kuin koko urakka, alkaa vastaanotetun osan takuu aika vastaanottohetkestä, jolloin kyseisen vastaanotetun osan takuu aikakin on pidempi. Vastaanottotarkastus pidetään sopijaosapuolten yhdessä sopimana aikana. Kuitenkin yleensä urakoitsija pyytää tilaajalta vastaanottotarkastusta, kun rakennussuoritus on vastaanottotarkastuksen pitämisen mukaisessa valmiudessa. Ennen vastaanottotarkastusta on urakoitsijan varmistettava, että tehdyt työt täyttävät sovittujen sopimusten vaatimukset ja sen että töitä ei ole enää kesken, kun urakan vastaanotto suoritetaan. Urakoitsija myös tekee ennen vastaanottotarkastusta urakan itselle luovutuksen YSE:n ehtojen mukaisesti. Tämä ei koske aivan viimeisimpiä viimeistelytyöitä urakassa, mikäli jäljellä olevat viimeistelytyöt eivät vaikuta vastaanotetun rakennussuorituksen käyttöön. (Merenkulkulaitos 2009, s. 54–55)

InfraRYL 2021 mukaan vedenalaisten maaleikkausten sekä -kaivantojen suunnitelmien mukaisuus tulee asianmukaisesti todentaa ruoppaustöiden jälkeen. Tehdyistä ruoppauksista tulee todentaa leikkauspohjan syvyydet sekä tehtyjen luiskien kaltevuudet. Työn aikana myös tarkkaillaan ruopattuja massoja, jotta ne vastaavat suunnitelmissa esitettyjä. Mikäli havaitaan että ruopattaessa maamassat vaikuttavat poikkeavan runsaasti suunnitelma-asiakirjoista esitetyistä massoista, voidaan ruopatusta maa-aineksesta toimittaa maanäytteet laboratorioon, jossa ne voidaan analysoida ja todentaa niiden rakeisuus ja ruopattavuus. Mikäli ruopatun materiaalin laatu poikkeaa hyvin huomattavasti suunnitelma-asiakirjoissa esitetystä, voidaan tehtyjä suunnitelmia muuttaa sen mukaisesti, millaiseksi todelliset ruopattavat massat osoittautuvat. (Rakennustieto 2021)

Ruoppausurakoiden aikana urakoitsijalla on yleensä velvollisuus seurata ja suorittaa mittauksia pitkin urakkaa. Mittaukset voivat joko sisältyä urakkaan tai ne voivat olla urakkaan kuulumattomia mittauksia. Mittauksiin sisältyy syvyysmittauksia, joilla saadaan seurattu ruoppaustyön etenemistä. Vastaanottoon kuuluvat tarkastusmittaukset voidaan hyväksytysti Suomessa suorittaa tankoharaamalla. Tankoharauksia tehdään alueilla, joilla kölivara on kriittinen. (Bray ja Cohen 2010, s. 37; Traficom 2021a, s. 1)

4.1 Ruoppausurakoiden mittaukset maailmalla

Maailmanlaajuisesti ruoppausurakoiden mittauksissa käytäviä menetelmiä voivat olla muun muassa akustiset sekä mekaaniset mittausmenetelmät. Esimerkiksi Yhdysvalloissa Red Wingin kaupungissa Minnesotassa Missisippijoen ruoppausta varten suoritettiin ennen ruoppausta edeltäviä mittauksia kaikuharauksen avulla, joiden avulla voitiin määrittää mistä ja miten paljon tulisi ruopata. Kun mittausryhmä oli suorittanut kaikuharauksen, pystyi ruoppausurakoitsija mittausten avulla suorittamaan tarvittavan ruoppauksen. Ruoppauksessa oli tarkoituksena ruopata 9 jalan, eli noin 2,74 metrin syvyinen väylä. Kuitenkin paikoitellen ylisyyvää ruopattiin noin 12 jalan, eli noin 3,65 metrin syvyyteen saakka. Ruoppausten jälkeen suoritettiin vielä mittaukset, jotta voitiin varmistaa ruoppaustyön laatu sekä se että alueen ruoppaus on toteutettu kuin on pitänyt. (Gardiner 2019)

Kalifornian osavaltion tarjouspyynnössä Fields Landing Boat Yardin kunnossapitoruoppaukseen, oli tarjouspyynnön mukaan urakoitsija vastuullinen suorittamaan mittaukset ennen ja jälkeen ruoppauksen urakan maksua sekä virallista hyväksyntää varten. Myös maksueriin liittyvät mittaukset sekä laadunvarmistusmittaukset olivat urakoitsijan vastuulla. Urakoitsijan tuli kuitenkin käyttää ulkopuolista mittaajaa, kun kyseessä olivat ennen ja jälkeen ruoppausta suoritettavat sekä viimeistä maksuerää varten suoritettava mittaus. Käytettävä kalusto tai työvoima ei saanut olla urakoitsijan omaa. Näihin mittauksiin sisältyivät ruoppausmassamäärien laskenta sekä tarvittavat loppupiirustukset. Hyväksyttäviä menetelmiä mittauksiin olivat linjaluotaus, kaikuharaus tai monikeilaus. Fields Landing Boat Yardin ollessa Tyynenmeren rannikolla, tuli urakoitsijan huomioida alueella tapahtuva vedenkorkeuden vaihtelu, jonka aiheutti vuorovesi-ilmiö. Vuorovesi huomioidaan automaattisella lukemalla vedenkorkeuden sensorilla, joka tuottaa lukeman viiden minuutin välein. (Humboldt Bay Harbor 2018)

Ontariossa Kanadassa Wheatleyn sataman väylän ruoppauksessa urakoitsija oli velvollinen seuraamaan työnsä edistymistä ja tuottavuutta jatkuvasti. Tilaaja myös seurasi työn etenemistä, jotta tilaaja voi todeta, että työ toteutetaan urakka-asiakirjojen mukaisesti. Varmistusmittaus ruopatulle alueelle suoritettiin tankoharauksella. Ruopattua aluetta ei saanut vastaanottaa osissa vaan ruoppausurakan vastaanotto tuli tehdä yhdellä kertaa. Ennen suoritettavaa vastaanottoharausta tuli urakoitsijan ilmoittaa urakan valvojalle vähintään 48 tuntia ennen vastaanottoharauksen alkamista. Hyväksyty vastaanottoharaus edellytti, ettei harauksessa havaittu pohjakosketuksia, jonka jälkeen valvoja hyväksyi työn. Mikäli harauksessa havaittiin pohjakosketuksia, tuli urakoitsijan ruopata uudelleen alueet, joilla niitä havaittiin. Uudelleen ruoppauksen jälkeen alueiden syvyydet voitiin tarkistaa joko akustisin menetelmin tai käyttämällä tankoharaa. (Department of Fisheries & Oceans 2018, s. 24)

USACE (United States Army Corps of Engineers) ohjeistuksesta Hydrographic Surveying (EM 1110-2-1003), monikeilausmittauksia suositellaan käytettäväksi useimmissa ruoppausurakoiden mittauksissa, sillä sen avulla on mahdollista saada täysi peittävyys pohjasta, verrattuna yksinkertaisempiin linjaluotauksiin. Kuitenkin käytettäessä monikeilausmittauksia ruoppaustuloksen seurantaan, sekä maksuerien vapauttamiseen, vaatii se tiukkaa laaduntarkkailua, kalibrointeja sekä pohjasedimentin

tarkkaa tuntemista, jotta osataan käyttää oikeanlaista mittaustaaajuutta. Monikeilausmittauksia ei yleensä käytetä kölivanvarmistusmittauksiin tai maksueriin sisältyviin mittauksiin matalissa vesissä, joissa on hiekka tai silttipohja. (USACE 2013, luku 6)

Ruoppauksen jälkeiset mittaukset tulisi suorittaa mahdollisimman pian, yleensä vähintään noin 5 päivän sisässä ruoppauksen saavutettua tavoitetasonsa. Näillä mittauksilla tarkoitetaan urakan vastaanottomittauksia. Mikäli ruoppauksen jälkeisissä mittauksissa ilmenee, ettei ruopatun alueen vesisyvyys täydellisesti täyty, alueet on uudestaan ruopattava ennen, kun ne voidaan uudestaan mitata ja vastaanottaa. Joissain tapauksissa alueella voidaan joutua tekemään useampia mittauksia, joilla saadaan pohjan täysi peitto, jotta kaikki materiaali ja mahdolliset esteet saadaan poistettua sallitun mittaustason yläpuolelta. Näitä mittauksia voidaan toteuttaa joko kaikuharauksena, monikeilauksena tai tankoharauksena. (USACE 2013, luku 10)

USACE mukaan tankoharauksia käytetään etenkin tilanteissa, jossa pohjaa on jouduttu joko räjäyttämään tai louhimaan. Monissa tapauksissa USACE:n mukaan tankoharausta pidetäänkin paljon varmempana menetelmänä toteamaan vesisyvyys, verrattuna akustisiin mittauksiin. Tankoharaukset olivatkin ennen paljon yleisempiä kuin nykyään, ja ovatkin enää harvoin käytössä näinä päivinä, muuta kuin erikoistapauksissa, joissa vähimmäisvesisyvyys on kriittinen. (USACE 2013, luku 10)

5 HAASTATTELU

Diplomityön aineistonkeruuvaihe toteutettiin teemahaastatteluna, ja aineiston analysointi toteutettiin laadullisesti. Tässä luvussa käsitellään kvalitatiivisen tutkimuksen ja teemahaastattelun toteuttamista. Diplomityössä toteutettiin haastattelututkimus, jossa haastateltiin henkilöitä, joilla on omakohtaisia kokemuksia juuri ruoppausurakoinnista sekä tankoharaustöistä.

5.1 Kvalitatiivinen tutkimus ja teemahaastattelu

Kvalitatiivisesta tutkimuksesta puhuttaessa voidaan käyttää myös termiä laadullinen tutkimus. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tutkimusta lähestytään ihmisten henkilökohtaisten kokemusten kautta, joka on tulkintaan perustuva tapa tehdä tutkimusta. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa saatu aineisto perustuu haastateltavien omakohtaisiin kokemuksiin ja kuvauksiin tutkimuksen aiheesta. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa onkin tärkeää, että valittu tutkimuksen aihe on tarpeeksi selkeästi ja kapeasi rajattu, jotta siitä voidaan kertoa mahdollisimman tarkasti ja perustellusti. Tieteellisessä tutkimuksessa on olennaista, ettei tutkimuksessa saatuja havaintoja käytetä suoraan sellaisenaan, vaan ne tulee purkaa osiin, jonka jälkeen niitä tulee vertailla jo saatavilla olevaan tietoon. Tutkimuksessa tärkeää on yhdistellä useita havaintoja yhdeksi kokonaisuudeksi, jonka jälkeen on mahdollista hahmottaa laajempaa kokonaisuutta. (Vilkka 2021, s. 17; Puusa ja Juuti, 2020, luku 9)

Tieteellisessä tutkimuksessa saadut tulokset tulee asettaa aina niin että niitä verrataan aiempaan saatavilla olevaan teoreettiseen tietoon. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa valitaan tutkimukseen osallistuvaksi pieni määrä tapauksia. Haastateltavien valinnassa on tärkeää pyrkiä valitsemaan mukaan henkilöitä, joilla olisi mahdollisimman hyvät tiedot tutkittavasta asiasta. Tärkeää on myös saada tarkoituksenmukaisesti perusteltua, miksi juuri kyseinen haastateltava on valittu mukaan haastatteluun. (Puusa ja Juuti, 2020, luku 4)

Teemahaastattelu koostuu ennakkoon valituista kysymyksistä ja teemoista, joiden mukaan haastattelussa edetään. Teemahaastattelussa esitetään kaikille haastateltaville

amat asiat ja kysymykset, mutta teemahaastattelua suoritettaessa voidaan haastatteluissa esiin tulleiden vastausten perusteella vielä syventää kysymyksiä. Teemahaastattelussa on tarkoituksena löytää tutkittavaan ilmiöön merkityksellisiä vastauksia. Yleensäkin teemahaastattelu rakentuu tutkimuksen teoreettisen viitekehyksen ympärille, joka tässä tutkimuksessa on kirjallisuuskatsaus. (Tuomi ja Sarajärvi 2018, s. 87–88)

5.2 Aineiston keruu

Diplomityön haastattelututkimus alkoi kartoittamalla Suomessa toimivia ruoppausurakointiyrityksiä sekä vesiväylien mittauksia tekeviä yrityksiä. Yrityksiä tavoiteltiin puhelimen ja sähköpostin välityksellä. Tarkoituksena oli saada haastateltavaksi yrityksistä henkilöitä, joilla oli kokemusta tankoharaustöistä tai urakoitsijana toimimisesta ruoppausurakassa. Diplomityön haastatteluun osallistui seitsemän alalta kokemusta omaavaa henkilöä. Kaikkiin yhteydenottoihin ei tullut vastauksia ja muutamassa tapauksessa haastattelu ei järjestynyt useammasta yhteydenotosta huolimatta. Diplomityössä haastateltiin myös Ruotsin merenkululaitoksesta mittausalan henkilöä. Haastattelussa Ruotsin merenkululaitokselle oli tarkoitus selvittää, miten Ruotsissa tällä hetkellä toimitaan ja millaisia tulevaisuuden näkymiä siellä on ruoppausurakoiden mittauksiin liittyen.

Puusan ja Juutin (2020) mukaan tutkimuksessa tutkittavien määrä tulee suhteuttaa tutkimuksen tarkoitukseen sekä tutkimuksen tavoitteisiin. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tutkittavien määrä, jotka tässä tapauksessa olivat haastateltavia, ei ole merkittävä asia onnistuneen tutkimuksen toteuttamiseksi. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tieteellisyyden kriteerinä ei myöskään pidetä määrää, vaan laatua. Tällöin olennaiseksi osaksi muodostuu tapauksien tulkitseminen (Puusa ja Juuti 2020, luku 4). Haastateltavien löydyttyä heille lähetettiin etukäteen haastattelun kysymysrunko, jotta haastateltavien oli mahdollisuus tutustua ja valmistautua haastatteluun etukäteen. Haastattelussa käytetty kysymysrunko oli liitteen 2 mukainen. Ruotsin merenkululaitoksen haastattelun runko on liitteen 3 mukainen.

Haastatteluissa selvitettiin, millaisia näkemyksiä alalla toimivilla henkilöillä on liittyen tankoharauksiin ruoppausurakoiden vastaanotossa. Haastatteluissa pyrittiin selvittämään tankoharauksen ongelmia vastaanotoissa sekä myös sitä, miksi se on haastateltavien

mielestä yhä käytössä Suomessa ruoppausurakoiden vastaanottomenetelmänä. Myös mahdollisia korvaavia vastaanottomenetelmiä tankoharaukselle urakoiden vastaanottomenetelmänä käytiin lävitse, sekä haastateltavien ajatuksia, miten heidän mielestään tulevaisuudessa ruoppausurakoiden vastaanottomittaukset voitaisiin toteuttaa. Myös heidän mahdollisia kokemuksiaan ruoppausurakoinnista tai mittauksista ulkomailla haluttiin selvittää mahdollisten erilaisten käytänteiden ja toimintatapojen takia. Itse haastattelut toteutettiin puhelinhaastatteluina, jonka aikana käytiin lävitse etukäteen toimitettu haastattelun kysymysrunko. Haastattelun edetessä kirjattiin haastateltavien vastaukset kysymyksiin ylös.

5.3 Aineiston esittely

Diplomityön haastattelututkimuksessa haastateltiin seitsemää ruoppausalan kokemusta omaavaa asiantuntijaa. Neljä haastateltavista toimi tai oli toiminut vesiväylien mittausten parissa ja kolmella haastatelluista oli kokemusta ruoppausurakoinnista. Haastatellut mittausalalan osaajat olivat kaikki tehneet useita vuosia tankoharaustöitä, yli 10 vuotta, jolloin heillä oli vankka kokemuspohja haraustöiden suorittamisesta ja tankoharauksen käyttämisestä Suomen vesialueilla. Ruoppausurakoinnin saralta kokemusta omaavilla haastatelluilla työkokemusta ruoppausurakoinnissa mukana olemisessa oli hieman vähemmän, kahdella haastatelluista 5–10 vuotta ja yhdellä alle 2 v. Miltei kaikilla haastatelluista henkilöistä oli myös kokemusta ulkomailta joko ruoppausurakoinnin tai mittausten osalta.

Useilla haastatelluilla oli kokemusta myös Suomen ulkopuolella ruoppausurakoinnista tai mittaustöistä. Työssä olikin tarkoituksena nostaa esiin käytänteitä myös ulkomailta, mikäli haastateltavat kokemusta omasivat. Yli puolilla haastatelluista oli kokemusta Ruotsin alueella ruoppausurakoinnista tai mittaustöistä. Ruotsissa ja Suomessa on kuitenkin ollut käytössä yhteinen kansallinen sovellus perustuen IHO:n standardiin, joten käytössä olleet menetelmät ovat olleet samoja Suomessa ja Ruotsissa. Eräällä haastatelluista oli kokemusta ruoppausurakoinnista Norjasta, jossa hänen mukaansa ruoppausurakan vastaanotto suoritettiin monikeilaamalla. Eräillä haastatelluista oli kokemusta ruoppausurakoinnista Intiassa sekä Saudi-Arabiassa, mutta kyseisistä urakoista oli jo kulunut aikaa, etteivät he täysin muistaneet millä tavoin vastaanottoja olisi suoritettu.

6 TUTKIMUKSEN TULOKSET

6.1 Haastattelut suomalaisiin yrityksiin

Haastattelujen perusteella miltei kaikilla haastatelluista oli yksimielinen kanta siihen, minkä takia Suomessa on yhä käytössä tankoharaus ruoppausurakoiden vastaanottomenetelmänä. Tankoharasta pidettiin selvästi kaikkein luotettavimpana vastaanottomenetelmänä, joka on tällä hetkellä tarjolla ruoppausurakoiden vastaanottomittauksia varten riittävän vesisyvyyden varmentamiseksi.

Tankoharauksen ongelmat

Suuri haastatteluissa esiin noussut teema liittyi tankoharauksen ongelmiin ja sen aiheuttamiin haasteisiin ruoppausurakoiden vastaanotossa. Haastattelujen perusteella kaikkein suurimmaksi ongelmaksi tankoharauksen käyttämisessä ruoppausurakoiden vastaanotossa nousi tankoharauksen sääherkkyys. Tankoharauksen ollessa sääherkkä toimenpide, voivat mahdolliset haraussäät olla vähissä. Sääherkkyyden takia tulisi harauksia suoritettaessa olla miltei tyyntä sekä aallotonta. Mitä kauempana harattavat kohteet sijaitsevat rannikolta, sopivien säiden määrä ruoppauskauden aikana voi olla huomattavastikin vähäisempi kuin rannikon tuntumassa.

Toinen merkittävä ongelma tankoharauksessa haastattelujen perusteella oli sen hitaus sekä ongelmat tankoharan mobilisoinnissa. Tällä tarkoitettiin sitä, että tankoharan saaminen projektialueelle voi olla hidasta, mikäli se ei ole siellä heti käytettävissä. Mikäli myös ruopatut alueet ovat suuria, voi koko alueen haraaminen kestää kauan.

Kahdessa seitsemässä haastatteluista haastateltavat nostivat esiin myös tankoharauksen hintakustannukset. Ruoppausurakoissa on maksueriä kiinnitettyinä vastaanottoharauksiin, jolloin urakoitsijalle suoritetaan maksuerien maksaminen vasta, kun ruopatuilla alueilla on suoritettu hyväksytysti vastaanottoharaukset. Tankoharausten ollessa sidottuna urakan maksueriin, urakoitsijalla riskit kasvavat tankoharauksen ollessa sääherkkä menetelmä. Urakoitsijalla tulee jatkuvasti olla vastaanottoharauksien suorittamista varten mittausryhmä valmiudessa, jotta sopivan haraussään osuessa kohdille, vastaanottoharaus voitaisiin suorittaa. Kauden aikana voi olla ruoppausurakan

valmistuttua sopivien vastaanottoharauskeliemien määrä hyvin vähäinen. Mittausryhmän ollessa jatkuvasti valmiudessa, koituu siitä urakoitsijalle jatkuvasti juoksevaa kuluja.

Eräissä haastattelussa nousi esiin kokeneen ja ammattitaitoisen miehistön tarve tankoharaustöissä. Tankoharauksessa haraustöiden suorittajan tulee tietää ja tuntea tankoharautslautan käyttäytyminen ja etenkin millä tavalla juuri kyseenomainen lautta käyttäytyy pohjakosketuksessa. Joissain tapauksissa tankoharauksia oli haraustöiden suorittaja joutunut toteuttamaan urakoitsijan kalustolla, joka ei ollut hänelle tuttua ja sen käyttäytymisestä ei ole tuntemusta. Myös siitä mainittiin, ettei tankoharautamalla saada tietoon, mitä on haraustason alapuolella, mikäli alueella ei suoriteta muita mittauksia.

Tankoharauksen edut

Tankoharautta suoritettaessa voidaan olla varmoja esteistä veden pinnan alla, kun havaitaan haran pohjakosketus. Yhdessä haastatteluista haastateltava nosti esiin, että kun pohjakosketuksien tapahtuessa havainnon tekee itse ihminen, eikä käytössä ole antureita, mittauksessa tapahtuvat häiriöt voivat olla ainoastaan mekaanisia. Mekaanisia virheitä pyritään välttämään tankoharautuskaluston pakollisilla katsastuksilla. Kuitenkin, kun kyseessä on tankoharautajan omiin havaintoihin perustuva menetelmä, korostuu työssä harautajan ammattitaito sekä asiantuntijuus, jotta mahdolliset pohjakosketukset havaitaan ja saadaan rekisteröityä mahdollisimman tarkasti.

Haastatteluissa haastateltavilta kysyttiin mielipidettä myös ruoppauksen työvaran kasvattamiseen, ja voisiko sen avulla luopua tankoharautuksesta vastaanottomittauksena. Työvaran kasvattamisesta haastateltavat olivat laajalti yhtä mieltä, ettei se ole kannattavaa. Etenkin suuremmissa ruoppausurakoissa ruoppauksen työvaran kasvattaminen voi merkitä kustannusten kasvua. Esiin myös nousi ruoppausmassojen vaatimat sijoituspaikat sekä se, onko järkevää ruopata ihan vain varmuuden vuoksi ylisyytä, mikäli ylisyyden ruoppaamisesta ei ole hyötyä vesiväylän käytön kannalta.

Ruoppausurakoiden mittaukset tulevaisuudessa

Tankoharautuksen korvaavaksi menetelmäksi haastattelujen perusteella selkeästi nousi esillä olevista vaihtoehdoista monikeilaus. Monikeilauksen vahvuudeksi nostettiin muun

muassa sen mahdollisuus tuottaa tiheästi ja kattavasti keilattu aineisto, jolla pohjan topografia saadaan selville. Myös akustisten mittausten ja tankoharauksen yhdistelmää eräs haastateltavista nosti esiin. Tällaisessa tilanteessa tulisi kuitenkin olla haastavaa määritellä tarkasti, millaisissa tilanteissa olisi käytössä akustiset mittaukset ja millaisissa tilanteissa turvauduttaisiin tankoharauksiin. Myös tällaisissa tilanteissa eräs haastateltavista oli sitä mieltä, että kyseinen yhdistelmä voisi vaatia työvaran kasvattamista.

Yhdessä haastatteluista nousi esiin myös ruoppausurakan vastaanottokäytänteiden muuttaminen ja vastuun jakaminen. Haastattelussa nostettiin esiin, että urakoitsija itse voisi suorittaa valmiilla ruopatulla alueella mittauksen, jonka jälkeen urakoitsija ilmoittaisi tilaajalle ruopatun kohteen olevan vastaanottokelpoinen. Urakoitsijan tekemän mittauksen jälkeen tilaaja voisi suorittaa alueella tankoharaukset urakasta irrallisena työnä, jonka avulla saataisiin urakoitsijan vastuuta sen osalta pienemmäksi. Urakoitsija olisi kuitenkin tilaajan tekemissä vastaanottomittauksissa mukana, ja mikäli niiden perusteella vielä ilmenisi kohteita, joiden vesisyvyys ei olisi riittävä, olisi urakoitsija ne yhä velvollinen ruoppaamaan.

Haastattelujen perusteella yli puolet haastatelluista oli sitä mieltä, että tulevaisuudessa tankoharaus tulee mahdollisesti korvaantumaan nimenomaan monikeilauksella. Kuitenkin haastatelluilla oli näkemys, että tankoharauksia nykyisessä muodossaan tullaan mahdollisesti kuitenkin jatkamaan vielä jatkossa joidenkin vuosien ajan. Tässä nostettiin esiin se, että mittausteknologian uskotaan kehittyvän jatkuvasti, jolloin saadaan, monikeilaimen avulla luotua helpommin ja tarkemmin mittauskuvaa pohjatopografiasta. Eräessä haastattelussa nousi myös esiin se, että urakoitsijan suorittamien mittausten jälkeen, ulkopuolinen taho vielä suorittaisi ruopatun alueen mittaamisen. Tällaisessa tapauksessa ruopattu alue keilattaisiin kahteen kertaan, näitä mittauksia voisi verrata keskenään, ja näin varmistua varmemmin, että vaadittu syvyys täyttyy koko ruopatulla alueella. Yksi haastateltavista myös nosti esille, että tulevaisuudessa työnaikaisissa mittauksissa käytettäisiin juuri monikeilausta. Tällä tavoin monikeilausmittausmenetelmää voitaisiin alkaa kehittää, enemmän ruoppaustyön seurannassa ja valjastaa sitä siinä yhä enemmän käyttöön Suomessa.

6.2 Ruotsin merenkululaitoksen haastattelu

Diplomityön aikana toteutettiin myös haastattelu Ruotsin merenkululaitokselle, jossa haastateltavana toimi Ruotsin merenkululaitokselta vesiväylämittausten asiantuntija. Ruotsin merenkululaitokselle toteutetun haastattelun tavoitteena oli selvittää käytäntöjä ja näkemyksiä Ruotsin viranomaisilta liittyen ruoppausurakoiden vastaanottoihin. Haastattelun kysymysrunko on liitteenä 3. Suomen ja Ruotsin molempien ollessa Itämeren rannikolla, on merenpohjan maalajit hyvin samanlaisia, joten käytetyt menetelmät ovat hyvin samanlaisia. Suomessa ja Ruotsissa onkin ollut käytössä IHO:n standardiin S-44 liittyvä yhteinen kansallinen sovellus, jossa on määritelty vaatimukset tehtäville mittauksille.

Diplomityön teon aikana Ruotsin merenkululaitoksella oli yhä käytössä vuonna 2010 julkaistu FSIS-44 sovellus, joka perustuu IHO:n standardiin S-44 viidenteen versioon. Kuitenkin Ruotsin merenkululaitoksella oli käynnissä merenmittaussovelluksen päivitys haastattelun tekohetkellä. Ruotsissa tehtävillä merenmittauksilla on vaikutusta mille alueelle tehdään mittauksia. Ruotsin merenkululaitoksen vastuulle kuuluvat laivaväylät, jolloin niillä tehtävät mittaukset ovat Ruotsin merenkululaitoksen vastuulla. Ruotsin merenkululaitos käyttää pääsääntöisesti monikeilausta sekä tankoharausta merenmittauksiin. Monikeilauksen avulla saadaan selville pohjan topografia, sekä sillä voidaan laskea ruopattujen massojen määriä. Tankoharauksen avulla saadaan varmistettua, että haratun alueen vesisyvyys on varmasti riittävä ja että koko haratun alueen vesisyvyys ei laske alle haraussyvyuden. Tankoharaus on yhä tavanomainen menettely Ruotsissa. Ruotsissa käytetään monikeilausta ja tankoharausta täydentämään toinen toisiaan.

Ongelmia, joita tankoharauksen kanssa Ruotsin merenkululaitokselta nostettiin esiin, liittyivät sen hitauteen. Tankoharauksen suorittaminen vie enemmän aikaa kuin monikeilaus. Tankoharausaluksen suorittaessa harausta, on sen maksiminopeus yhden solmun. Nopeuteen vaikuttaa myös haraustangon leveys. Ruotsin merenkululaitoksen haastattelussa nousi esiin myös tankoharaustöiden sääherkkyys. Tankoharaustöitä suoritettaessa tulee merenpinnan olla tyyni. Pienikin aallokko voi aiheuttaa sen, että luotettavan mittaustuloksen saaminen voi olla mahdotonta. Joillain alueilla sopivien

haraussäiden löytyminen voi olla hyvinkin haasteellista, etenkin silloin kun haraustöitä jouduttaisiin suorittamaan hyvinkin avoimella paikalla.

Haastattelussa myös ilmeni urakoitsija näkökulmasta hintavaikutukset. Mikäli sopivia harauskelejä ei ole, ja urakoitsija joutuu niitä odottamaan, huonoimmassa tapauksessa ruoppauskalustoa ei voida siirtää toiselle urakka-alueelle, mikäli harauksessa ilmeneekin vielä kohteita, joita joudutaan ruoppaamaan uudelleen. Esiin nousi myös tankoharauksen ongelmana se, ettei sen avulla saada tietoon alueen pohjatopografiaa, vaan sillä saadaan ainoastaan todennettua riittävä vedensyvyys. Tämä voi osoittautua ongelmalliseksi etenkin, jos alueella ei ole suoritettu monikeilauksia, jolloin mahdollisia lähitulevaisuudessa mahdollisesti ilmeneviä ongelmia ei saada tietoon.

Suurimmat syyt, joiden takia tankoharausta yhä käytetään laajalti syvyyden mittauksiin sekä ruoppausurakoiden vesisyvyyden varmistamiseen on se, että tankoharauksen virhebudjetti on pienempi kuin monikeilauksessa. Pääasiallisesti satama-alueilla ja vesiväylillä kölivara voi olla kriittinen, jolloin halutaan olla äärimmäisen varmoja, että vettä on kölin alla tarpeeksi. Esiin nousi myös monikeilauksella saadut syvyysaineistot ja niiden epävarmuudet. Mikäli olisi mahdollista varmemmin vähentää epävarmuuksia monikeilausaineistossa, voisi silloin mahdollisesti hieman pienentää mittauksessa vaadittuja marginaaleja. Tämän takia tankoharausta pidetään yhä kaikkein varmimpana menetelmänä mitata vesisyvyyttä tarkasti. Tankoharauksella luottamustasona pidetään 99 % ja monikeilauksella se on 95 %. Tankoharauksen jälkeen syvyysmittaustuloksiin voidaan luottaa suuremmalla varmuudella kuin monikeilauksen jälkeiseen. Mikäli tankoharuksesta siirryttäisiin monikeilaukseen, voisi se tarkoittaa enemmän ruoppaamista, joka taas heijastuisi projektin kustannuksiin.

Haastattelussa selvitettiin myös, voisiko monikeilauksella korvata tankoharausta ja mitä edellytyksiä tai ongelmia se toisi mukanaan. Ruotsin merenkulkulaitokselta haastateltava nosti esiin, että monikeilaamalla saadaan kylläkin tarkkaa mittausaineistoa, mutta mittauslaite voi automaattikan takia olla havaitsematta kaikkia esteitä mittauksen aikana. Esimerkiksi pitkään jatkunut tasainen alusta, jonka jälkeen tulee kivi tai muu este, voi jäädä huomioitta mittauksessa, monikeilaimen automaatiikan takia. Tällöin keilain jatkaa ainoastaan tasaisen pohjan seuraamista. Monikeilaimissa voi olla myös asetuksia, jotka saattavat jättää huomioitta pienet esteet tasaisella kohdalla.

Monikeilauksesta saatu aineisto tulee aina jälki-käsitellä. Monikeilausmittauksesta saadaan kerralla paljon dataa, jolloin sen käsittely mittausten jälkeen voi viedä paljon aikaa. Nykyään kuitenkin mittausdatan prosessoinnissa käytetään hyvin paljon automatiikka, jonka avulla manuaalinen työ mittausdatan käsittelyssä on vähentynyt. Automatiikka ei kuitenkaan toimi täysin aukottomasti. Mittausaineiston automaattisen käsittelyn seurauksena pieniä kohteita voi tulla merkatuksi mittausepävarmuuksiksi vaikkakin ne ovat oikeita esteitä pinnan alla. Myös pienet ja kapeat esineet saattavat ilmetä heikosti keilatussa aineistossa, jollaiset olisi tankoharaamalla voitu havaita. Tällaiset erehdykset voivat olla hyvin vaarallisia laivaliikenteelle, mikäli niitä ei ole datan käsittelyssä tulkittu täysin oikein. Myös pehmeillä pohjasedimenteillä ilmeni haastattelun perusteella olevan vaikutusta monikeilausaineistoon. Pehmeät pohjasedimentit saattavat aiheuttaa virhekaikuja monikeilatessa, jolloin mittaukseen tulee epävarmuutta eikä voida olla varmoja todellisesta pohjasta.

Tulevaisuuden näkymät merenmittauksille Ruotsin merenkululaitoksen mukaan tulevat vielä heillä perustumaan varmasti pitkään tankoharaukselle. Haastattelun perusteella tankoharausta pidettiin päteväenä ja tehokkaana keinona vesisyvyyden varmentamiseen vielä tulevaisuudessakin. Kuitenkin on tärkeää ottaa huomioon myös monikeilauksen hyödyt ja täydentää tankoharauksella monikeilausta ja myös toisinpäin. Haastateltava korosti tankoharauksen yksinkertaisuutta. Vaikkakin tankoharaus voi työnä viedä kauemmin kuin monikeilaus, on saatujen mittaustulosten käsittely nopeampaa ja tuloksen saa käytännössä heti. Saatua tulos myös yksiselitteisesti kertoo, onko vesisyvyys riittävä, jolloin mitään ei tarvitse jättää tulkintojen varaan.

Tankoharauksen korvaamisesta oli käyty hieman keskusteluja Ruotsin merenkululaitoksella ohjeiden päivittämisen yhteydessä, mutta keskustelujen perusteella oli ollut yksimielinen kanta, että tankoharausta tulee käyttää alueilla, jossa kölivara on kriittinen. Etenkin esimerkiksi satamissa ei yleensä välttämättä varaveden määrä kölin alla ole kovinkaan suuri, jolloin asian suhteen ei voida ottaa riskejä.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Diplomityön haastattelujen perusteella nousi esiin selkeitä ongelmia tankoharauksessa ruoppausurakan vastaanottomittauksena. Kaikkein merkittävämmäksi ongelmaksi ilmeni tankoharauksen sääherkkyys. Sääherkkyyden takia voidaan ruoppausurakan vastaanottoharauksen suorittamista joutua odottelemaan. Tällaisissa tilanteissa nousee esiin etenkin se, että urakoitsija ei saa laskutettua urakan viimeisiä maksueriä, jotka ovat sidottuina urakan vastaanottoharauksiin. Tankoharauksen sääherkkyyttä myös tukee Liikenneviraston ohje 18/2013 – Vesiväylätutkimuksen yleisohjeet, jossa painotetaan tankoharauksen olevan erittäin riippuvainen vallitsevista olosuhteista (Liikennevirasto 2013, s. 34). Ruoppausurakoissa kaikki vaaditut mittaukset perustuvat viranomaisten ohjeisiin, ja täten urakoitsija on velvollinen niitä noudattamaan. Vaikkakin nykyään teknologia on jatkuvasti kehittynyt mittausteknologian osalta, eivät uudenlaiset mittausten menetelmät ole olleet vielä Suomen olosuhteissa kykeneviä korvamaan tankoharauksista urakoiden vastaanottomittauksissa. Haastateltavat kuitenkin sanoivat uskovansa mittausteknologian kehittyvän, mikä mahdollisesti voisi johtaa monikeilauksen toleranssien pienentymiseen ja täten vähitellen tankoharauksien korvaantumiseen monikeilaamalla.

Haastattelujen perusteella tuli hyvin ympäröivä kuva siitä, milloin siirtymä voisi tapahtua tai millä tavoin tankoharauksista alettaisiin monikeilauksella korvaamaan ruoppausurakoiden vastaanottoissa. Tankoharauksena on varmempi menetelmä ruoppausvyöhykkeiden toteuttamiseen verrattuna muihin ja tämä ilmeni selkeästi myös haastatteluista. Myös Ruotsin merenkulkulaitokselle toteutettu haastattelu tuki tankoharauksen tarkkuutta ja heidän näkemyksensä tankoharauksena olisi hyvinkin toimiva menetelmä vielä tulevaisuudessakin. Ruotsin merenkulkulaitoksella ei suljettu kuitenkaan täysin pois tankoharauksen korvaamista, mutta vielä tarvittaviin mittaustarkkuuksiin monikeilauksella ei ole mahdollista päästä, jotta voitaisiin varmasti varmistua, että vesisyvyys on ruopatulla alueella riittävä.

Tankoharauksen korvaamista monikeilaamalla ei kuitenkaan kannata sulkea pois, sillä menetelmää käytetään jo maailmalla. USACE-ohjeessa Hydrographic Surveying suositellaankin käytettäväksi monikeilausta ruoppausurakoiden vastaanottomittauksissa. Kuitenkin pohjaolosuhteilla on vaikutusta vastaanottomittauksissa käytettävään

menetelmään. (USACE 2013, luku 6) Kuitenkin mikäli menetelmä haluttaisiin käyttöön Suomessa, tulisi monikeilainten toleranssit olla nykyistä pienemmät. Vaadittujen toleranssien suuruus tuli myös ilmi Ruotsin merenkulkulaitoksen haastattelussa. Vaihtoehtoisesti tulisi kasvattaa ruoppausyvyyttä, jolloin ruopattavan materiaalin määrä kasvaisi, ja jolla olisi välitön vaikutus urakan kustannuksiin. Haastatteluissa painotettiin monikeilauksen ja tankoharauksen käyttöä yhdessä, jolloin mittaukset täydentäisivät toinen toisiaan. Mahdollisesti koko urakka-alue voitaisiin monikeilata ja monikeilausaineiston perusteella voitaisiin kriittisiä kohtia vielä käydä tankoharaamassa. Kuitenkin tällainen kahteen kertaan mittaaminen voisi myös aiheuttaa turhaa työtä ja nostaa täten ruoppausurakan kustannuksia. Jotta kustannusvaikutukset voitaisiin tarkemmin arvioida, tulisi menetelmää testata Suomen olosuhteissa.

Tankoharaus on pitkään käytössä ollut toimenpide. Monikeilaus on uudempaa teknologiaa, joka jatkuvasti kehittyy. Monikeilainteknologiaa ja -ohjelmistoja kehittämällä voidaan päästä tarkempiin mittaustarkkuuksiin. Näitä kehittämällä ja tarkemmalla kohteiden tunnistamisella voitaisiin tulevaisuudessa päästä ruoppaustuloksen todentamisessa vaadittuihin mittaustarkkuuksiin. Etenkin pienten kohteiden havaitseminen ja kokonaismittausepävarmuuden pienentäminen ovat tärkeimpiä kehityskohteita, jotta tankoharaus voitaisiin korvata monikeilauksilla ruoppausurakoiden vastaanotoissa.

8 YHTEENVETO

Ruoppauksella tarkoitetaan vedenalaisia maansiirtotöitä, ja ne ovat olennainen osa vesiväylärakentamista. Ruoppaukseen on tarjolla erilaisia ruoppausaluksia, jotka eroavat toisistaan muun muassa ruoppaustavassa ja tarkkuudessa. Ruoppaustulos tulee aina todentaa ruoppauksen jälkeen, jotta voidaan olla varmoja riittävästä vesisyvyydestä. Veden syvyyden mittausmenetelmät voidaan jakaa akustisiin, optisiin sekä mekaanisiin mittausmenetelmiin. Diplomityön tekohetkellä käytettävä menetelmä ruoppausurakoiden vastaanottomittauksena on tankoharaus. Veden syvyyden mittauksissa käytettävät menetelmät ovat riippuvaisia paikallisista olosuhteista, eivätkä kaikki menetelmät sovellu kaikkialle. Itämeren ollessa samea on sillä vaikutusta optisiin mittauksiin. Akustisia mittauksia käytettäessä on esimerkiksi pohjasedimentin laadulla vaikutusta. Ruoppausurakoiden vastaanoton tankoharaukset ovat hitaita ja sääherkkiä toimenpiteitä.

Diplomityössä toteutettiin haastattelu, jossa haastateltiin Suomessa toimivia ruoppausurakoitsijoita sekä mittauksia tekeviä yrityksiä. Myös Ruotsin merenkululaitokselta haastateltiin vesiväylämittausten asiantuntijaa. Haastattelujen tarkoituksena oli selvittää mahdollista korvaavaa mittausmenetelmää tankoharaukselle ruoppausurakoiden vastaanotossa. Työn perusteella potentiaalisimmaksi vaihtoehdoksi tankoharauksen korvaajaksi nousi monikeilaus. Monikeilauksen vahvuuksiksi haastattelujen perusteella nousi sen kyky tuottaa kattava mittauskuva pohjatopografiasta. Monikeilauksella on myös mahdollista saavuttaa melko tarkkojakin mittaustuloksia. Monikeilaus ei vielä täysin sovellu Suomessa ruoppausurakoiden vastaanottomittaukseksi koska sillä ei ole mahdollista päästä vielä tarpeeksi tarkkoihin mittaustuloksiin.

LÄHDELUETTELO

Australian Government - Bureau of Meteorology, 2022. Waves [verkkodokumentti]. Commonwealth of Australia: Bureau of Meteorology. Saatavissa: <http://www.bom.gov.au/marine/knowledge-centre/reference/waves.shtml> [viitattu 7.2.2022].

Bray, N., & Cohen, M., 2010. Dredging for development, 6th edition. Netherlands: IADC & Japan: IAPH, 71 s. ISBN 978-90-75254-16-7

CEE HydroSystems, 2021. Single Beam Echo Sounders. Sydney: CEE HydroSystems. Saatavissa: <https://ceehydro.com/products/single-beam-echo-sounders/> [viitattu 28.1.2022].

CEDA (Central Dredging Association), 2021. A CEDA Information Paper – Soil Investigation [verkkodokumentti]. Rottersdamseweg: CEDA. Saatavissa: <https://dredging.org/media/ceda/org/documents/resources/cedaonline/2021-04-si.pdf> [viitattu 24.1.2022].

Cunningham, A. G., Guenther, G. C., Lillycorp, W. J., & Brooks, M. W., 2016. Shallow Water Laser Bathymetry: Accomplishments and Applications. USA: Defence Technical Information Center, 10 s.

C&C Technologies South Africa, 2013. Choosing the appropriate system for a bathymetric survey [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.ee.co.za/wp-content/uploads/legacy/positionit_2013/surveying-tech_bathymetric_june13.pdf [viitattu 28.1.2022].

Department of Fisheries & Oceans, 2018. Specifications for Dredging, Wheatley, Ontario. Saatavissa: https://buyandsell.gc.ca/cds/public/2018/08/01/df97c8c1980cd55953a3e58fa25d620a/20180626_-_wheatley_-_approach_dredging_specification_-_for_tender.pdf

European Space Agency (ESA), 2021. New satellite data techniques reveal coastal sea-level rise [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/New_satellite_data_techniques_reveal_coastal_sea-level_rise [viitattu 8.3.2021].

EUSPA (European Union Agency for the Space Programme), 2021. What is GNSS? [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-gnss> [viitattu 17.12.2021].

Fleming-Lehtinen, V. 2016. Secchi depth in the Baltic sea – an indicator of eutrophication. University of Helsinki, Faculty of Biological and Environmental Sciences, 42 s. ISBN 978-951-51-2705-1

Gardiner, S., 2019. Survey crew helps define dredging operations. Post Bulletin 22.8.2019 [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.postbulletin.com/newsmd/survey-crew-helps-define-dredging-operations> [viitattu 13.1.2022].

Guenther, G., 2004. Airborne Lidar Bathymetry – Chapter 8.

Grzadziel, A. 2021. The Importance of Under-Keel Sound Velocity Sensor in measuring Water Depth with Multibeam Echosounder. Department of Navigation and Hydrography, Faculty of Navigation and Naval Weapons, Polish Naval Academy

Guarnieri, A., Saremi, S., Pedroncini, A., Jensen, J. H., Torretta, S., Vaccari, M. & Vincenzi, C., 2021. Effects of marine traffic on sediment erosion and accumulation in ports: a new model-based methodology. *Ocean Science*, 17, 411–430. Saatavissa: <https://os.copernicus.org/articles/17/411/2021/>

Hartikainen, O. 2000. Maarakennustekniikka. Helsinki: Otatieto Oy, 196 s. ISBN 951-672-304-7

Humboldt Bay Harbor, 2018. Request for Proposals – Maintenance Dredging – Fields Landing Boat Yard, Eureka California, October 2018 [verkkodokumentti]. Saatavissa:

<https://humboldtbay.org/sites/humboldtbay2.org/files/Final%20RFP%20for%20Publication.pdf> [viitattu 3.3.2022].

IADC (International association of dredging companies), 2021a. Types of dredging projects [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.iadc-dredging.com/subject/concept-contract-completion/types-dredging-projects/> [viitattu 30.11.2021].

IADC (International association of dredging companies), 2021b. Dipper dredgers [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.iadc-dredging.com/subject/equipment/dipper-dredgers/> [viitattu 1.12.2021].

IADC (International association of dredging companies), 2021c. Backhoe dredgers [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.iadc-dredging.com/subject/equipment/backhoe-dredgers/> [viitattu 1.12.2021].

IADC (International association of dredging companies), 2021d. Grab or clamshell dredgers [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.iadc-dredging.com/subject/equipment/grab-clamshell-dredgers/> [viitattu 16.12.2021].

IADC (International association of dredging companies), 2022. Surveying [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.iadc-dredging.com/subject/surveying-monitoring/surveying/> [viitattu 3.2.2022].

IHO (International Hydrographic Organization), 2010. Manual on Hydrography [verkkodokumentti]. Monaco Cedex: IHO. Saatavissa: https://iho.int/uploads/user/pubs/cb/c-13/english/C-13_Chapter_1_and_contents.pdf [viitattu 8.3.2021].

IHO (International Hydrographic Organization), 2020a. Guidance on Crowdsourced Bathymetry [verkkodokumentti]. Monaco: IHO. Saatavissa: https://iho.int/uploads/user/pubs/bathy/B_12_Ed2.0.3_2020.pdf [viitattu 28.12.2021].

IHO (International Hydrographic Organization), 2020b. Standards for Hydrographic Surveys [verkkodokumentti]. Monaco: IHO. Saatavissa:

https://iho.int/uploads/user/pubs/Drafts/S-44_Edition_6.0.0-Final.pdf [viitattu 28.12.2021].

IHO (International Hydrographic Organization), 2021. About the IHO [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://iho.int/en/about-the-iho> [viitattu 30.11.2021].

Ilmasto-opas.fi, 2021. Valtamerien pinta nousee satoja vuosia [verkkodokumentti]. Helsinki: Ilmatieteen laitos. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/5c686ae4-6cad-41ef-84e3-a1f85d530f0f/valtamerien-pinta-nousee-satoja-vuosia.html> [viitattu 28.12.2021].

Ilmatieteen laitos, 2021. Vedenkorkeusvaihtelut Suomen rannikoilla [verkkodokumentti]. Helsinki: Ilmatieteen laitos. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/teematietoaa-vedenkorkeus> [viitattu 17.12.2021].

Innangi, S., Tonielli, R., 2017. Precision, accuracy and sources of errors in multibeam data acquisition and processing for a correct interpretation of the backscatter data (both from seafloor and water column). IMEKO International Conference on Meteorology for The Sea. Saatavissa: <https://www.imeko.org/publications/tc19-Metrosea-2017/IMEKO-TC19-METROSEA-2017-23.pdf> [viitattu 25.1.2022].

Kongsberg, 2021. Ea Single beam Echo Sounders [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.kongsberg.com/maritime/products/ocean-science/mapping-systems/es_bottommapping/ [viitattu 28.1.2022].

Leica Geosystems AG, 2018. Airborne Bathymetric LiDAR Solutions – Proven Productivity [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/airborne-systems/bathymetric-lidar-sensors/leica-hawkeye> [viitattu 28.1.2022].

Lekkerkerk, H.J., 2020. State of the Art in Multibeam Echosounders – The Evolution of a Bathymetric Workhorse [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.hydro-international.com/content/article/state-of-the-art-in-multibeam-echosounders> [viitattu 3.2.2022].

Liikennevirasto, 2013. Liikenneviraston ohjeita 18/2013 – Vesiväylätutkimuksen yleisohjeet [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2013-18_vesivaylatutkimusten_yleisohjeet_web.pdf [viitattu 30.11.2021].

Liikennevirasto, 2014. Liikenneviraston ohjeita 22/2014 – Tankoharauksen harausvaltuuksien myöntäminen ja harauskaluston hyväksyminen [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-22_tankoharauksen_harausvaltuuksien_web.pdf [viitattu 10.12.2014].

Liikennevirasto, 2015. Merenmittausohjelma 2015–2020 [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://vayla.fi/documents/25230764/0/Liikennevirasto_merenmittausohjelma_2015_2020_julkinen.pdf/000a9f87-cf9e-422f-80ab-b5c79995b264 [viitattu 31.12.2021].

Liikennevirasto, 2018. Liikenneviraston ohjeita 29/2018 – Laivaväylien suunnitteluohjeet [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-29_laivavaylien_suunnitteluohjeet_web.pdf [viitattu 13.12.2021].

Maanmittauslaitos, 2021. Maannousu [verkkodokumentti]. Helsinki: Maanmittauslaitos. Saatavissa: <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/maannousu> [viitattu 10.12.2021].

Maas, H.G., Mader, D., Richter, K., and Westfeld, P., 2019. IMPROVEMENTS IN LIDAR BATHYMETRY DATA ANALYSIS, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W10, 113–117, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W10-113-2019>, 2019.

Marine Information System for Europe, 2022. Physical loss and disturbance of the seabed [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://water.europa.eu/marine/state-of-europe-seas/pressures-impacts/physical_loss_and_disturbance [viitattu 1.3.2022].

Merenkulkulaitos, 2009. Merenkulkulaitoksen julkaisuja 7/2009 - Urakointiohje – Ohje rakennustöiden teettäjille [verkkodokumentti]. Helsinki: Merenkulkulaitos. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf5/mkl_2009-7_urakointiohje.pdf [viitattu 14.12.2021].

Naankeu Wati, G., Geldof, J.B., Seube, N., 2016. Error budget analysis for surface and underwater survey system. International Hydrographic review

Rakennustieto 2021. InfraRYL 16400 Vedenalaiset maaleikkaukset ja -kaivannot

Sjöfartsverket, 2010. FSIS-44 – Finnish and Swedish joint implementation of the IHO Standards for Hydrographic Surveys Special Publication No 44 5th Edition (S-44) [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.sjofartsverket.se/globalassets/tjanster/sjomatning/fsis44.pdf> [viitattu 7.3.2022].

Sjöfartsverket, 2011. Anvisning för sjömätning [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.sjofartsverket.se/globalassets/tjanster/sjomatning/anvisningsjomatning.pdf> [viitattu 7.3.2022].

Sjöfartsverket, 2022a. Om Sjöfartsverket [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.sjofartsverket.se/sv/om-oss/> [viitattu 7.3.2022].

Sjöfartsverket, 2022b. Sjömätning [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.sjofartsverket.se/sv/tjanster/sjomatning/> [viitattu 7.3.2022].

Song, Y., Niemeyer, J., Soergel, U., Heipke, C., 2015. Comparison of three airborne laser bathymetry data sets for monitoring the German Baltic Sea Coast. Institute of Photogrammetry and GeoInformation, Leibniz Universität Hannover, Germany.

SYKE, 2014. Veden laatu Suomen rannikolla [verkkodokumentti]. Helsinki: SYKE. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika_on_Itameren_tila/Veden_laatu_Suomen_rannikolla\(31494\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika_on_Itameren_tila/Veden_laatu_Suomen_rannikolla(31494)) [viitattu 31.12.2021].

SYKE, 2020a. Itämeri numeroina [verkkodokumentti]. Helsinki: SYKE. Saatavissa: <https://itameri.fi/fi->

FI/Luonto_ja_sen_muutos/Ainutlaatuinen_Itameri/Itameri_numeroina [viitattu 28.12.2021].

SYKE, 2020b. Kallioperä on meren perustus [verkkodokumentti]. Helsinki: SYKE. Saatavissa: <https://www.ostersjon.fi/fi->

FI/Luonto_ja_sen_muutos/Ainutlaatuinen_Itameri/Merenpohjan_kalliopera [viitattu 28.12.2021].

SYKE, 2020c. Merenpohjalle kerrostuu sedimenttejä [verkkodokumentti]. Helsinki: SYKE. Saatavissa: <https://www.ostersjon.fi/fi->

FI/Luonto_ja_sen_muutos/Ainutlaatuinen_Itameri/Merenpohjan_nuoremmat_kerrostumat [viitattu 28.12.2021].

SYKE, 2020d. Veden liikkeet [verkkodokumentti]. Helsinki: SYKE. Saatavissa: <https://www.ostersjon.fi/fi->

FI/Luonto_ja_sen_muutos/Ainutlaatuinen_Itameri/Veden_liikkeet [viitattu 28.12.2021].

SYKE, 2020e. Ravinnekuormituksen lähteet [verkkodokumentti]. Helsinki: SYKE. Saatavissa: <https://www.ostersjon.fi/fi->

FI/Luonto_ja_sen_muutos/Itameren_tila/Rehevoityminen/Ravinnekuormituksen_lahteet [viitattu 31.12.2021].

SYKE, 2020f. Vedenlaatu: Suolaisuus [verkkodokumentti]. Helsinki: SYKE. Saatavissa: https://www.ostersjon.fi/fi-FI/Itameri_nyt/Vedenlaatu/Suolaisuus [viitattu 25.1.2022].

The European Space Agency 2021. New satellite data techniques reveal coastal sea-level rise [verkkodokumentti]. Saatavissa:

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/New_satellite_data_techniques_reveal_coastal_sea-level_rise [viitattu 24.1.2022].

Traficom, 2021a. Ohje yleisten kulkuväylien turvallisuuden varmistamiseksi tehtäville merenmittauksille [verkkodokumentti]. Saatavissa:

https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/Ohje_yleisten_kulkuv%C3

%A4ylien_turvallisuuden_varmistamiseksi_teht%C3%A4ville_merenmittauksille.pdf
[viitattu 29.12.2021].

Traficom 2021b. Suomen kansallinen merenmittaussovellus FIS44/2021 ohje
[verkkodokumentti]. Saatavissa:
https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/LITE2_FI_Suomen_kansallinen_merenmittaussovellus_FIS44_2021.pdf [viitattu 30.12.2021].

Trimble 2021. Understanding Overdredging – The provisions that enable successful
dredge operations [verkkodokumentti]. Saatavissa:
<https://heavyindustry.trimble.com/resources/whitepaper-infographic-english/understanding-overdredging> [viitattu 24.1.2022].

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2018. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. EU: Tammi,
204 s. ISBN 978-951-3199-53-1

United States Army Corps of Engineers, 2013. Engineering and Desing – Hydrographic
Surveying [verkkodokumentti]. Saatavissa:
https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1003.pdf?ver=gDGVUj_0XR2sXHiIpQZv2Q%3d%3d [viitattu 1.3.2022].

Vilkka, H. 2021. Näin onnistut opinnäytetyössä – ratkaisut tutkimuksen umpikujiin.
Keuruu: PS-kustannus, 224 s. ISBN 978-952-370-081-9

Vlasblom, W.J. 2003. Introduction to Dredging equipment [verkkodokumentti]. Delft
University of Technology. Saatavissa: <https://www.dredging.org/dredging-equipment-and-technology/53> [viitattu 9.3.2022].

Väylävirasto, 2020. Tankoharaus kerryttää arvokasta tietoa meriväylistä
[verkkodokumentti]. Helsinki: Väylävirasto. Saatavissa: <https://vayla.fi/-/tankoharaus-kerryttaa-arvokasta-tietoa-merivaylista> [viitattu 30.12.2021].

Väylävirasto, 2022a. Vesiväylät [verkkodokumentti]. Helsinki: Väylävirasto. Saatavissa:
<https://vayla.fi/vaylista/vesivaylat> [viitattu 8.3.2022].

Väylävirasto, 2022b. N2000 uudistaa syvyys- ja väylätiedot [verkkodokumentti].
Helsinki: Väylävirasto. Saatavissa:
<https://vayla.fi/palveluntuottajat/ammattimerenkulku/n2000-korkeusjarjestelma> [viitattu
8.3.2022].

Väylävirasto, 2022c. Väyläviraston julkaisuja 6/2022 - Tutkimus RTK-paikannuksen
soveltuvuudesta ratatyön paikantamisessa [verkkodokumentti]. Saatavissa:
[https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/183663/vj_2022-6_tutkimus_RTK-
paikannuksen_soveltuvuudesta_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/183663/vj_2022-6_tutkimus_RTK-paikannuksen_soveltuvuudesta_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu
10.3.2022].

Westfeld, P., Maas, H.G., Richter, K. & Weiß, 2017. Analysis and correction of ocean
wave pattern induced systematic coordinate errors in airbourne LiDAR bathymetry.
SPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 128, 2017, 314-325,
ISSN 0924-2716

Liite 1. Kansallisen merenmittaussovelluksen FIS44/2021 mittausluokat

		Order 1b	Order 1a	Special order	Exclusive order
Turvalaitteet ja merkittävät topografia	Epävarmuus vaakatasossa (THU)	2.0 m	2.0 m	1.0 m	0.5 m
	Rantaviiva ja navigointiin vähemmän vaikuttava topografia	10 m	10 m	10 m	5.0 m
Syvyys	Epävarmuus vaakatasossa (THU)	5.0 m + 5% syvyydestä	5.0 m + 5% syvyydestä	2 m	1 m
	Epävarmuus pystysuorassa (TVU)	a = 0.5	a = 0.5	a = 0.25	a = 0.15
	$\sqrt{\pm a^2 + (6 \times d)^2}$	b = 0.013	b = 0.013	b = 0.0075	b = 0.04
		d = syvyys	d = syvyys	d = syvyys	d = syvyys
Kohteiden havaitseminen	(m) tai (% of syvyys)	Vähintään 2m tai 10% syvyydestä	Vähintään 2m tai 10% syvyydestä	> 0.7, >0.3 tankoharaus	> 0.5, >0.2 (tankoharaus)
Kohteiden havaitsemisen kattavuus	(%)	Suositus 100%, ei vaadita	100 %	Vähintään 100%	200%, tankoharaus vähintään 100%
Syvyysmittauksien peittävyys	(%)	99 %	100 %	100 %	200%, tankoharaus vähintään 100%
Sovellettava merialueilla	Väyläalueet	Ei sovelleta	20-100m	0-20m	Harkinnan mukaan
	Muut alueet	Mahdollista 0-10m	0-100m	-	Harkinnan mukaan
Sovellettava sisävesillä	Väyläalueet	Ei sovelleta	12-100m	0-12m	Harkinnan mukaan
	Muut alueet	Mahdollista 0-10m	0-100m	-	Harkinnan mukaan

Liite 2. Suomessa toimiville yrityksille toteutetun haastattelun kysymysrunko

1. *Haastateltavan toimenkuva?*
 - a. *urakoitsija*
 - b. *mittauskonsultti*
2. *Haastateltavan kokemus ruoppausurakoinnista tai niiden parissa toimimisesta?*
 - a. *Alle 2 v.*
 - b. *2–5 v.*
 - c. *5–10 v.*
 - d. *yli 10 v.*
3. *Tankohareraus ruoppausurakoiden vastaanotossa*
 - a. *Mitkä ovat mielestäsi suurimmat ongelmat tankoharauksen käyttämisessä ruoppausurakoiden vastaanottomenetelmänä?*
 - b. *Miksi mielestäsi tankohareraus on Suomessa yhä laajalti käytössä ruoppausurakoiden vastaanotossa?*
 - c. *Voisiko ruoppauksen työvaran kasvattamisella luopua tankoharauksesta?*
 - d. *Millä muulla mittausmenetelmällä mielestäsi tankoharauksen voisi korvata ruoppausurakan vastaanottomenetelmänä ja miksi?*
 - i. *Monikeilaus*
 - ii. *Kaikuhareraus*
 - iii. *Laserkeilaus*
 - iv. *Joku muu, mikä?*
 - e. *Millaiseksi näet tulevaisuudessa ruoppausurakoihin liittyvät mittaukset?*
4. *Ruoppausurakoiden vastaanottomenetelmät ulkomailla (mikäli kokemusta)*
 - a. *Missä maassa olet ollut ruoppausurakoinnissa mukana?*
 - b. *Millaisia mittausmenetelmiä ulkomailla on käytetty ruoppausurakoiden vastaanotossa?*

Liite 3. Ruotsin merenkulkulaitokselle toteutetun haastattelun kysymysrunko

- *How the hydrographic surveys in dredging industry are done in Sweden? Is the FSIS-44 still in use in Sweden?*
- *What are the most significant problems using the bar sweep in hydrographic surveying?*
- *What are the main reasons why the bar sweep is still used in hydrographic surveys, especially in dredging industry?*
- *Could the multibeam surveys be accurate enough for the after dredging surveys in Finnish and Swedish territorial waters?*
- *How will you see the surveys in the dredging industry in the near future, especially in the contract acceptance surveys?*
- *Are there any thoughts for replacing the bar sweep survey method with different kind of survey method in Sweden?*