

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

VESISTÖKAAPELEIDEN KARTOIT- TAMISEN KEHITTÄMINEN

TEKIJÄ Aleksi Pylkkänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Aleksi Pykkänen	
Työn nimi Vesistökaapeleiden kartoittamisen kehittäminen	
Päiväys 30.3.2023	Sivumäärä/Liitteet 32
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Elvera Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia vesistökaapeleiden kartoittamisen kehittämismenetelmiä. Työn tavoitteena oli tuottaa informatiivinen katselmus, jonka avulla toimeksiantajan (Elvera Oy) on mahdollista kehittää vesistökaapeleiden kartoittamismenetelmiä vastaamaan heidän tarpeitaan.</p> <p>Työ toteutettiin tutkimustyönä, joka pohjautui saatavilla oleviin materiaaleihin vesistöjen kartoittamisesta, kaapeleiden kartoittamisesta ja laitteistoista. Materiaaleja olivat muun muassa tuote-esitteet ja aikaisemmat tutkimukset aiheesta. Työn tarkoituksena oli selvittää, millä tavoilla vesistökaapeleiden kartoittaminen on mahdollista sekä millä tarkkuudella kartoittaminen on mahdollista toteuttaa.</p> <p>Opinnäytetyön tutkimustuloksien perusteella vesistökaapeleiden kartoittamiseen sopivin menetelmä on kaikuluotaus. Vaihtoehtoisia menetelmiä ovat miehittämättömällä vedenalaisilla aluksilla sekä sukeltamalla tehtävä paikannus. Tutkimusmenetelmänä voidaan käyttää viistokaikuluotausta tai monikeilaluotausta. Luotaimia on saatavilla ammattikäyttöön sekä kuluttajakäyttöön. Luotaimet voidaan asentaa veneeseen tai miehittämättömään alukseen. Luotaintureiden ja menetelmien soveltuvuutta ja tarkkuutta tulee testata käytännössä ennen vesistökaapeleiden kartoittamistoiminnan aloittamista.</p>	
Avainsanat Vesistökaapeli, paikkatieto, kaikuluotain	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author(s) Aleksi Pylkkänen	
Title of Thesis Development of Underwater Cable Mapping	
Date 30 March 2023	Pages/Appendices 32
Client Organisation /Partners Elvera Oy	
<p>Abstract</p> <p>This thesis focuses on the development methods of underwater cable mapping. The aim of this thesis was to produce an informative review with which the commissioner (Elvera Oy) can develop their mapping methods as they require.</p> <p>The research in this thesis was based on the available information on the mapping of underwater cables as well as mapping of cables and the equipment needed. The sources which included product brochures and previous studies on the subject were studied. The goal of this study was to find out what mapping methods are suitable and what level of accuracy each option offers.</p> <p>The results of this thesis indicate that the most suitable method to map underwater cables is sonar imaging. Other viable options are unmanned underwater vessels and diving. Side-scan sonar and multibeam sonar can both be used to map the bottom of a body of water such as a lake bed or a river bed. There are sonars for professional and commercial use. They can be attached to a boat or an unmanned vessel. The suitability and accuracy of transducers and methods should be tested and practiced before use in the field.</p>	
Keywords Underwater cable, geodata, echo sounder	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaukset.....	6
1.2	Elvera Oy	6
2	SÄHKÖVERKKOJEN KARTOITTAMINEN.....	7
2.1	Kartoittamisen tarkoitus	7
2.2	Maakaapelin kartoittaminen	7
2.3	3D-Win.....	8
2.4	Paikkatieto.....	8
2.4.1	Koodiin perustuva paikannus	9
2.4.2	Kantoaaltoon perustuva paikannus	9
2.4.3	Koordinaatit	10
2.4.4	Georeferointi	11
2.5	Kaikuluotaus.....	11
2.5.1	Viistokaikuluotaus.....	12
2.5.2	Yksi- ja monikeilaluotaus.....	13
3	VESISTÖKAAPELEIDEN KARTOITTAMINEN	15
3.1	Kartoittamismenetelmät	15
3.1.1	Vedenalaiset miehittämättömät alukset	15
3.1.2	Kaikuluotaimet	16
3.1.3	Kartoitustavan valinta	16
3.2	Ammattilaisten laitteistot	16
3.2.1	Luotainanturit.....	16
3.2.2	Miehittämättömät alukset.....	19
3.2.3	Vääristymät.....	20
3.2.4	Tiedostojen käsittely	20
3.3	Kuluttajalaitteistot.....	20
3.3.1	Luotainanturit.....	21
3.3.2	GNSS-tarkkuus	22
3.3.3	Vääristymät.....	23
3.4	Tiedostojen käsittely	23

3.4.1	SonarTRX.....	24
3.4.2	Reefmaster	24
3.4.3	Koordinaattien käsittely.....	25
4	POHDINTA.....	26
5	YHTEENVETO.....	27
6	LÄHDELUETTELO.....	28

KUVALUETTELO

KUVA 1.	RTK-mittauksen toimintaperiaate (SingularXYZ Intelligent Technology Ltd.).....	10
KUVA 2.	Towfish-tyyppisen luotainturin vääristymät (Cobra;Oppenheim;& Jaffe, 1992).....	13
KUVA 3.	Yksikeila- ja monikeilaluotaimen luotauskeila (South Group, 2021).....	14

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia mahdollisia menetelmiä vesistökaapeleiden kartoituksessa. Sähköverkkojen dokumentoinnin viranomaismääräyksien kiristyminen ja Elvera Oy:n kasvanut tilauskanta vesistökaapeleiden asentamisessa ovat lisänneet vesistökaapeleiden kartoittamisen kehittämisen tarvetta. Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa suuntaa antava aineisto mahdollisista tavoista, joilla vesistökaapeleiden kartoittamista voidaan toteuttaa tilaajayrityksen toimesta. Vesistökaapelointi on maakaapelointiin verrattuna hyvin pientä, minkä takia laitteiston investoinnit täytyy huomioida tämän mukaisesti. Vesistökaapeleiden vähäisen kartoittamistarpeen vuoksi prosessi pyritään suorittamaan mahdollisimman vähäisillä ohjelmistoilla. Kartoittamisen kehittämisessä tavoitteena on miehittämättömällä aluksella suoritettava kartoittaminen. Miehittämättömällä aluksella suoritettava kartoittaminen ei ole tavoitteena vielä opinnäytetyön aikana.

Työ toteutetaan tutkimustyönä. Tutkimuksessa pyritään vastaamaan kysymyksiin siitä millä menetelmällä vesistökaapeleiden kartoittamista voidaan toteuttaa sekä millä tarkkuudella kartoittaminen on mahdollista. Työn toimeksiantajana toimii verkstourakointiyhtiö Elvera Oy.

1.2 Elvera Oy

Elvera Oy on kolmen energiayhtiön omistama urakointiyhtiö. Omistajina ovat Suur-Savon Sähkö Oy, Kymenlaakson Sähkö Oy ja Lappeenrannan Energia Oy. Päätoimisto sijaitsee Mikkelissä. Elveralla on kaksi tytäryhtiötä, jotka ovat Oy RAVERA Ab sekä Cabelboys. Tytäryhtiöiden toiminta-alueena on verkkourakointi. (STT Info, 2022; Elvera Oy, 2020)

Elvera Oy on verkosto- ja infrapalvelualan toimija, joka on perustettu vuonna 2016. Yhtiön päätoimialana on sähköverkkojen infrapalvelut, joihin kuuluvat sähköverkkojen, -asemien ja muuntamoiden suunnittelu, rakentaminen, kunnossapito ja vianhoito. Yhtiö toimii myös tietoliikenneverkkojen, lämmön ja veden infrapalveluiden sekä teollisuuspalveluiden parissa. Elvera Oy on tällä hetkellä yksi Suomen suurimpia infrapalveluyhtiöitä. Yrityksessä työskentelee tällä hetkellä yli 300 henkilöä. (Elvera Oy)

2 SÄHKÖVERKKOJEN KARTOITTAMINEN

2.1 Kartoittamisen tarkoitus

Sähköverkon rakenteista ja kaapeleista toimitettavan materiaalin sisältö on määritetty Traficomın määräyksessä M71. Määräyksessä on käsitelty verkkoinfrastruktuureita lain 276/2016 mukaisesti. Määräyksen tarkoituksena on varmistaa keskitettyyn tietopisteeseen toimitettavien tietojen tarkkuus ja yhteensopivuus. Sen tarkoituksena on kehittää verkkojen yhteisrakentamista ja -käyttöä. (Traficom, 2022)

Määräyksen luvussa 4 Aktiiviset verkonosat kohdassa 10 Sähköverkot on määritetty kaapeleista toimitettavan aineiston sisältö. Alakohdassa 10, luetelmakohdissa 5, 6 ja 8 määritetään, kuinka 1.1.2021 ja sen jälkeen rakennettujen sähköverkkojen paikkatietoja käsitellään. Kohdassa 5 on ilmoitettu, että kaapeleista tulee kerätä x- ja y-koordinaatit. Kohdassa 6 puolestaan käsitellään kaapeleiden z-koordinaatin ja asennussyvyyden ilmoittamista. Kaapeleista tulee ilmoittaa z-koordinaatti ja kaapeleiden asennussyvyys ilmoitetaan tilanteessa, jossa kaapelin asennussyvyys poikkeaa suunnitellusta asennussyvyydestä. Kohdassa 8 on määritetty, että sijainninmäärityksestä tulee ilmoittaa sijainnintarkkuus ja tapa, jolla sijainti on määritetty. (Traficom, 2022)

Luvussa 6 kohdassa 14 Koordinaatisto ilmoitetaan, että sijainnin x- ja y-koordinaatit on ilmoitettava ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa siten, että x-koordinaatti on itäkoordinaatti ja y-koordinaatti on pohjoiskoordinaatti. Kaapelin z-koordinaatti ilmoitetaan N2000-korkeusjärjestelmän mukaisena koordinaattina. Kohdassa 15 Sijaintitarkkuus ja sijainnin määrittelytapa määritetään kaapeleiden x- ja y-koordinaattien tarkkuudeksi taajama-alueella vähintään ± 10 cm ja taajama-alueiden ulkopuolella vähintään ± 50 cm. Luvussa 14 z-koordinaatin ja asennussyvyyden tarkkuudeksi määritetään ± 10 cm. (Traficom, 2022)

Tarkalla maakaapeleiden sijainnin määrittämisellä ja dokumentoinnilla voidaan ehkäistä maanrakentamisen aikaisia kaapelivaurioita sekä vikatilanteita. Kaapeleiden kartoittamisen ja sijaintitiedon dokumentoinnilla on merkitystä myös yhteisrakentamisen kehittämisessä. (Rejlers, 2021)

2.2 Maakaapelin kartoittaminen

Maakaapeleiden kartoittamisessa on pääsääntöisesti kaksi eri vaihtoehtoa. Kaapeli voidaan kartoittaa maan alta käyttäen kaapelinhakulaitetta tai kaapeli voidaan kartoittaa avonaisesta kaapeliojasta. Kartoitustapa riippuu verkkoyhtiön määräyksistä ja tavoitellusta tarkkuudesta. Avonaisesta kaapeliojasta kartoittamalla kaapelin sijainti on tarkemmin määritettävissä. Avoimen kaapeliojan kartoittamista käytetään esimerkiksi kaupunkiolosuhteissa. Kaapelinhakulaitteella kartoittamisen etuna on tarkkan asennussyvyyden määrittäminen. Edellä mainituissa kartoittamistavoissa kaapelin sijainti tallennetaan GNSS-laitteistolle. Kaapelinhakulaitteella suoritettavassa kartoittamisessa on riskinä väärän kaapelin paikantaminen tai muut virhepaikannukset. (Tikkanen, 2021)

Kaapelinhakulaitteiden avulla pystytään paikantamaan virrattomat sekä virralliset kaapelit maan alta. Kaapelinhakulaitteeseen kuuluu lähetin ja vastaanotin. Tyypillisesti lähetin kytketään kartoitettavaan

kaapeliin suorakytkennällä tai pihtiantennikytkennällä, mutta myös induktiivinen kytkentä on mahdollista. Suorakytkennässä ja pihtiantennikytkennässä lähetin kytketään suoraan paikannettavaan johtimeen. Lähetin syöttää johtimeen signaalia, jonka avulla vastaanottimen on mahdollista havaita kaapeli maan alta. Induktiivisessa kytkennässä lähetintä ei kytketä kaapeliin pihdeillä vaan lähetin sijoitetaan maan pinnalla kaapelin yläpuolelle. (Tikkanen, 2021)

2.3 3D-Win

3D-Win on Novatron Oy:n omistama ohjelmisto, jota käytetään mittaus-, paikkatieto- ja karttasovelluksissa ja erilaisissa suunnittelun tarpeissa. Ohjelmisto sisältää tarkastus-, muokkaus- ja laskent ominaisuuksia sekä formaattimuuntimen, jonka avulla tiedostojen tuonti ja vienti onnistuvat monipuolisesti eri tiedostomuodoissa ja koordinaattijärjestelmissä. Näiden ominaisuuksien ansiosta ohjelmistolla on laajat käyttömahdollisuudet monien ammattiryhmien työssä. Ohjelmistossa pystytään muokkaamaan, lisäämään ja poistamaan pisteitä sekä viivoja. Suunnitelmia on mahdollista tarkastella kaksi- tai kolmiulotteisessa muodossa. Ohjelmistoon on saatavilla lisäosia kairaukseen, rakennesuunnitteluun sekä maastomallien luomiseen. (Novatron Oy)

Ohjelmistolla pystytään muokkaamaan monipuolisesti vektori- ja rasteritiedostoja. Aineiston muokkaaminen on mahdollista kohdistaa yksittäisiin pisteisiin tai viivoihin sekä kokonaisiin ryhmiin ja aktiiviseksi valittuihin kohteisiin. Ohjelmiston avulla pistetietojen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmämuunnokset on mahdollista suorittaa automaattisesti. (Novatron Oy, 2020)

2.4 Paikkatieto

Nykyaikainen paikannus perustuu satelliittien hyödyntämiseen paikkatiedon keräämisessä, jonka tarkoituksena on käyttää nimitystä satelliittipaikannusjärjestelmä. Satelliittipaikannuksesta käytetään yleisesti lyhennettä GNSS. Paikannus perustuu aikatiedon siirtämiseen satelliittien ja paikantavan vastaanottimen välillä. Satelliiteissa on sisäänrakennetut atomikellot, jonka antaman tarkan ajan perusteella satelliitin tarkka sijainti voidaan määrittää. Maailmalla käytettäviä paikannusjärjestelmiä ovat GPS, GLONASS, Galileo sekä BeiDou. Jokaisessa paikannusjärjestelmässä on 20-30 satelliittia, jotka kiertävät maata noin 20 000 kilometrin korkeudessa. (Maanmittauslaitos a)

Satelliittipaikannusmenetelmiä on lukuisia ja ne voidaan jakaa moneen eri ryhmään, mutta yleisesti pääryhmänä käytetään kinemaattisten ja staattisten havaintojen jakoa. Staattisessa mittauksessa vastaanotin pysyy mittauksen ajan paikallaan, kun kinemaattisessa mittauksessa vastaanotin on liikkeessä. Havainnot voidaan jakaa myös absoluuttiseen paikannukseen ja suhteelliseen paikannukseen tai havainnot voidaan jakaa eri paikannustasojen mukaisesti. Absoluuttisella paikannuksella tarkoitetaan paikannusta, joka tehdään yhden vastaanottimen ja satelliittien avulla. Suhteellisessa paikannuksessa paikannus tehdään kahden vastaanottimen ja satelliittien avulla. Vastaanottimista toinen sijaitsee tunnetulla sijainnilla, jonka avulla toisen vastaanottimen sijainti on mahdollista määrittää. Toisin sanoen liikkuvan vastaanottimen sijainti määritetään staattisen vastaanottimen suhteen. (Poutanen, 2016, s. 249, 262)

Satelliittien lähettämät signaalit koostuvat kantoaallostasta sekä sen sisältämästä koodista. Satelliittipaikannuksessa voidaan hyödyntää joko signaalin sisältämää koodia tai kantoaaltoa. Paikannus on mahdollista suorittaa reaaliaikaisesti tai jälkikäsitteilyn avulla. (Poutanen, 2016, s. 14-15,155)

Suurimpia GNSS-signaalin kulkuun vaikuttavia tekijöitä ovat ilmakehän kerrosten (ionosfääri ja troposfääri) aiheuttamat vääristymät. Ilmakehän kerrosten lisäksi signaaliin vaikuttavat monitieheijastumat muun muassa rakennusten ja vesistöjen pinnoilta sekä vastaanottimen antennin ominaisuudet. Muita virhetekijöitä ovat muun muassa satelliittien liikkeestä ja potentiaalista johtuvat kellovirheet Maan päällä sijaitsevaan kelloon nähden. Nämä virheet on otettu osittain huomioon satelliittien atomikellojen taajuudessa. (Poutanen, 2016, s. 181-182, 206)

Satelliittipaikannuksessa jokaista satelliittia kohden on neljä tuntematonta muuttujaa. Niitä ovat xyz-koordinaatit ja kellovirhe. Nämä muuttujat on mahdollista ratkaista neljän satelliitin avulla. (Poutanen, 2016, s. 255)

2.4.1 Koodiin perustuva paikannus

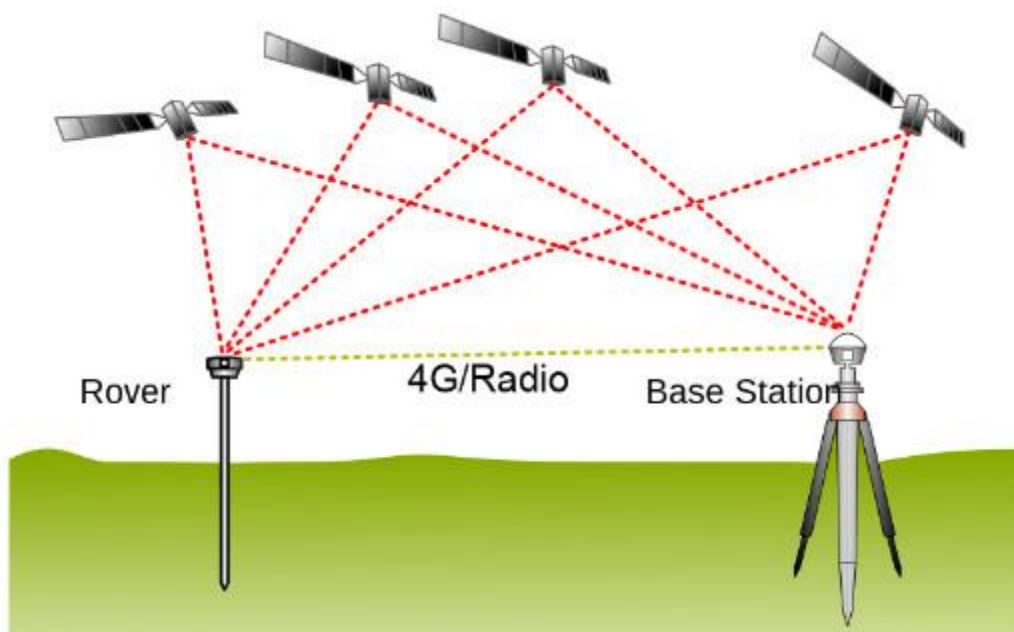
Koodiin perustuvassa paikannuksessa käytetään satelliittien signaalien sisältämää kaikille avointa C/A-koodia tai salattua P-koodia paikkatiedon määrittämisessä. Tavalliset navigointivälineet käyttävät avoimeen C/A-koodiin perustuvaa absoluuttista paikannusta, jolloin paikannuksen tarkkuus on muutaman metrin tasolla. (Poutanen, 2016, s. 255)

DGNSS-paikannuksessa käytetään tukiasemaa tai tukiasemaverkkoa vastaanottimen lisäksi. Paikannuksessa tukiasema laskee havaitsemiensa satelliittien etäisyyden signaalien sisältämien koodien avulla. Näitä havaittuja etäisyyksiä verrataan tukiaseman ja satelliittien todellisen etäisyyden kanssa. Tästä syntyy korjaustieto jokaista havaittua satelliittia kohti. Korjaustiedot lähetetään käyttäjän vastaanottimelle, joka tekee korjaukset ennen oman sijaintinsa määrittämistä. Korjaussignaalia ei voida lähettää jatkuvasti vaan nopeimmillaankin vain muutamien sekuntien välein, mikä aiheuttaa tarkkuuden heikkenemisen. (Poutanen, 2016, s. 255)

2.4.2 Kantoaaltoon perustuva paikannus

Kantoaaltoon perustuvassa mittauksessa signaalien sisältämän koodin hyödyntämisen sijaan käytetään signaalin kantoaallon vaihetta. Kantoaaltomittauksessa lasketaan satelliitin ja vastaanottimen väliin jäävien kantoaaltojen määrä, kun aallonpituus tiedetään. Satelliitin ja vastaanottimen väliin jäävä kantoaaltojen määrä lisää kokonaistuntemattomien määrää. Kasvanut kokonaistuntemattomien määrä vaatii monimutkaisia algoritmeja ja suurta laskentatehoa, jotta paikannus on mahdollista senttimetritasolla. Kokonaisten kantoaaltojen määrän perusteella pystytään määrittämään satelliitin etäisyys. Kantoaaltomittaus voidaan jakaa kahteen perustyyppiin eli kinemaattiseen ja staattiseen mittaukseen. Staattisella mittauksella mittaus tarkkuus on jopa millimetrejä, mutta vastaanottimet ovat staattisesti paikoillaan. Kinemaattisessa mittauksessa vastaanotin on liikkeessä. (Poutanen, 2016, s. 15-16, 262)

Yleisesti käytetyin menetelmää kantaaltoon perustuvassa suhteellisessa mittauksessa on reaaliaikainen kinemaattinen paikannukseksi (RTK). RTK-mittauksessa mittaustulos tehdään kahden vastaanottimen avulla OTF-menetelmällä (on-the-fly), joka mahdollistaa tarkkojen mittaustulosten määrittämistä ilman staattista mittaussjaksoa. Vastaanottimista toinen on staattinen tukiasema ja toinen liikkuva vastaanotin. Pääsääntöisesti vastaanottimien välimatkan tulee olla vähemmän kuin 15 kilometriä. Staattinen tukiasema lähettää havaintotiedon liikkuvalla vastaanottimelle internetin, matkapuhelinverkon tai radiolähtetimen välityksellä. Vastaanottimien välinen etäisyys pystytään määrittämään laskennallisesti. (Poutanen, 2016, s. 15-16, 262)



KUVA 1. RTK-mittauksen toimintaperiaate (SingularXYZ Intelligent Technology Ltd.)

Kuvassa 1 on esitetty havainnollistava kuva RTK-mittauksesta. Kuvassa staattinen vastaanotin (Base Station) mittaa etäisyyttä samoihin satelliitteihin kuin liikkuva vastaanotin (Rover). Vastaanottimet keskustelevat 4G- tai radioverkon välityksellä.

Reaaliaikaisen korjauksen sijasta voidaan käyttää paikkatiedon jälkikäsittelyä. Paikkatiedon jälkikäsittelyssä on mahdollista saavuttaa RTK-mittausta vastaava tarkkuus jälkikäsittelyyn kinemaattisen mittauksen avulla (PPK). PPK-mittauksessa vastaanottimen ja tukiaseman välillä ei tarvitse olla reaaliaikaista yhteyttä, vaan laitteet tallentavat keräämänsä tiedot itsenäisesti. Jälkikäsittelyssä tiedostot yhdistetään ja vaadittu tarkkuus saavutetaan. PPK-mittausta käytetään yleisesti varasuunnitelmana RTK-mittauksen yhteyden katketessa. (Wingtra, 2020)

2.4.3 Koordinaatit

Koordinaattijärjestelmiä on sekä paikallisia että maailmanlaajuisia. Koordinaattijärjestelmät koostuvat vertauspisteistä, joiden tarkka sijainti tiedetään. Koordinaatit voidaan ilmoittaa suorakulmaisina (xyz-koordinaatteina) sekä maantieteellisinä (leveysasteina φ , ja pituusasteina λ). Lisäksi on mahdollista antaa korkeus (h) ellipsoidista, jolloin koordinaatistoa kutsutaan geodeettiseksi. Ellipsoidiksi kutsutaan mallia, joka kuvaa Maan muotoa. (Poutanen, 2016, s. 33-35)

Maailman geodeettinen järjestelmä 1984 (WGS84) on kaikkien GPS-laitteiden käyttämä koordinaattijärjestelmä. Maailman geodeettista järjestelmää ei pystytä käyttämään senttimetritasolla kaikkialla maailmassa, koska vertauspisteet liikkuvat toisiinsa nähden mannerlaattojen liikkeiden seurauksena. Mannerlaattojen liikkeiden kompensointiin on kehitetty alueellisesti mannerlaattoihin sidottuja alueellisia vertauskehyksiä. Euroopan alueella vertauskehystenä toimii ETRS89, jonka suomalainen reaalisatio on EUREF-FIN. (Poutanen, 2016, s. 44-46,50)

Suomen tämänhetkisenä korkeusjärjestelmänä käytetään N2000-korkeusjärjestelmää, mutta edeltäviä korkeusjärjestelmiä on myös käytössä. Korkeusjärjestelmä perustuu Euroopan yhtenäiseen korkeusjärjestelmään, josta käytetään Itämeren alueella nimitystä Baltic Sea Chart Datum 2000 (BSCD2000). Korkeusjärjestelmän pohjana käytetään Amsterdamin nollapistettä (NAP). Suomen edeltävän N60-korkeusjärjestelmän korvaaminen N2000-korkeusjärjestelmällä aloitettiin vuonna 2021. Korvaamisen syynä olivat muun muassa Euroopan korkeusjärjestelmän yhtenäistäminen sekä maannoususta johtuvat virheelliset korkeustiedot. (Maanmittauslaitos b; Ilmatieteenlaitos, 2021)

2.4.4 Georeferointi

Georeferoinnilla tarkoitetaan paikkatiedon määrittämistä rasterimuotoiselle aineistolle, jolla ei ole sijaintia. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi vanhan kartan sijainninmäärittämistä, jonka jälkeen karttaa voidaan hyödyntää erilaisissa sovelluksissa. (Kinnunen, 2020)

Georeferointiin tarvitaan vähintään kolme lähtöpistettä sekä näiden pisteiden vastinpisteet georeferoitavasta aineistosta. Lähtöpisteiden ja vastinpisteiden lisääminen lisäävät georeferoinnin tarkkuutta. Tarkkuuteen vaikuttavana tekijänä on myös lähtöpisteiden ja vastinpisteiden hajauttaminen laajalle alueelle georeferoitavaa materiaalia. Georeferoinnin haasteena on sopivien lähtöpisteiden määrittäminen sellaisiksi, jotka ovat tarkasti havaittavissa georeferoitavassa aineistossa. (Kinnunen, 2020)

2.5 Kaikuluotaus

Vesistöjen pohjan kartoittamisessa kaikuluotauslaitteistot ovat ainoa tapa saada tarkkaa tutkimusaineistoa laajalta alueelta. Kaikuluotaamalla vesistöpohjasta saadaan nopeasti laaja ja tarkka kuva, jota voidaan myöhemmin käyttää hyödyksi monissa sovelluksissa. Tutkimuksissa käytettäviä kaikuluotausmenetelmiä ovat muun muassa viistokaikuluotaus, monikeilakaikuluotaus ja sedimenttikaikuluotaus. (Itämeri.fi)

Kaikuluotauksen toiminta perustuu ääniaaltojen lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Luotainanturi lähettää ääniaallon vesistön pohjaa kohti, josta se heijastuu takaisin luotainanturiin. Kaikuluotaimen lähettämä ääniaalto ei etene vedessä pistemäisesti vaan keilamaisesti, jonka vuoksi siitä käytetään nimitystä keila tai luotauskeila. Ääniaallon lähettämisen ja vastaanottamisen välillä kuluvan ajan perusteella on mahdollista määrittää vesistön syvyys. Syvyyden määrittäminen perustuu äänen nopeuteen vedessä. (Deeper) Äänen nopeus vedessä on noin 1 480 m/s (Baird, 2013). Äänen nopeus vedessä ei kuitenkaan ole vakio vaan, äänen nopeuteen vaikuttavat veden lämpötila, paine ja suolapitoisuus (Deeper). Luodattavan vesistön äänenjohtavuuden määrittäminen on tärkeää, jotta luotaimella saatava tieto on luotettavaa (Ocean explorer b).

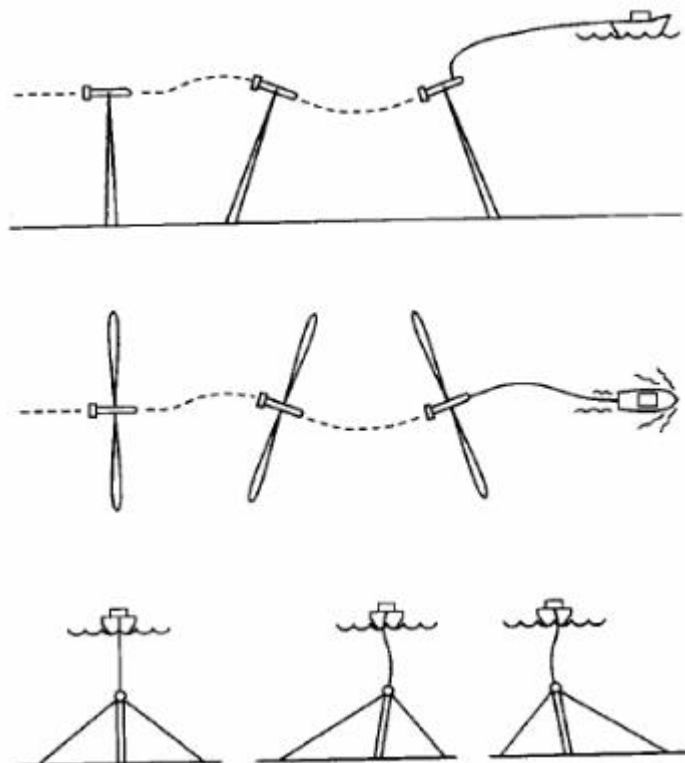
2.5.1 Viistokaikuluotaus

Viistokaikuluotauksen käyttökohteita ovat sovellukset, joissa vesistön pohjasta vaaditaan valokuvan kaltainen kuva. Viistokaikuluotauksessa voidaan käyttää anturia, joka on kiinnitettyä veneeseen tai jota hinataan veneen perässä. Veneen perässä hinattavaa anturia kutsutaan nimellä kala tai Towfish. Viistokaikuluotaimen on oltava liikkeessä toimiakseen. Seisahtuneessa veneessä luotainanturilla ei pystytä luomaan viistokaikuluotaimen kuvaa. (Itämeri.fi) Viistokaikuluotaimen kuvaan vaikuttavia tekijöitä ovat virtaukset ja turbulenssi anturin keilan vaikutusalueella. Aallokon vaikutukset aluksen liikehdittää heijastuvat luotainanturin kuvaan, jos anturi on asennettu kiinteästi alukseen. Onnistunut viistokaikuluotaus vaatii myös suoraviivaista liikkumista, koska käännökset vaikuttavat luotaimen kuvaan. (Flowers & Hightower, 2013; Dhabban, 2020)

Viistokaikuluotainanturi luo kaksi viuhkamaista keilaa veneen molemmille puolille, mikä luo viistokaikuluotaimelle ominaisen kuvan. Viistokaikuluotaimelle ominaisessa kuvassa reunoilla näkyy vesistön pohja ja keskelle jää vettä. Luotainanturin alapuolelle, keilojen väliin jää sokea alue. Alue syntyy, kun viistokaikuluotaimen keilat eivät pysty kuvantamaan suoraan anturin alapuolelle jäävää vesistön pohjaa. Anturin kykenemättömyys luodata suoraan anturin alapuolelle johtuu, siitä että keilan palaavien signaalien tulokulma on lähellä 90° kulmaa. Palaavan signaalin tulokulman ollessa lähellä suorakulmaa on palaavien signaalien välinen aikaero niin pieni, että siitä ei pystytä määrittämään kohteita halutulla tavalla. Tämän takia suoraan anturin alapuolella sijaitsevasta alueesta ei ole mahdollista saada tarkkaa kuvaa. (R2sonic b)

Viistokaikuluotauksessa luotaimen lähettämän ääniaallon taajuudella on suuri merkitys halutun luotastuloksen saavuttamisessa. Korkealla luotaustaajuudella keilan kantama on lyhyempi, mutta yksityiskohdat piirtyvät tarkemmin. Matalalla luotaustaajuudella keilan kantama on suurempi, mutta yksityiskohdat eivät erotu yhtä tehokkaasti. (Ocean explorer a)

Viistokaikuluotaimen kuva sisältää usein kahdenlaisia vääristymiä. Kuvan intensiteetti vääristymät syntyvät pohjan materiaalien heijastumisesta, jotka vääristävät kuvaa. Toinen vääristymien muoto on geometriset vääristymät, joka tarkoittaa kuvan kohteiden virheellistä sijaintia verrattuna niiden todelliseen sijaintiin vesistön pohjassa. Geometristä vääristymää syntyy muun muassa luotainanturin ja aluksen liikkeistä kuten aallokon ja virtauksen aiheuttamat suunnan muutokset, tarkan suuntiman puuttuminen ja aluksen nopeuden muutokset. (Cobra;Oppenheim;& Jaffe, 1992)



KUVA 2. Towfish-tyyppisen luotainturin vääristymät (Cobra;Oppenheim;& Jaffe, 1992)

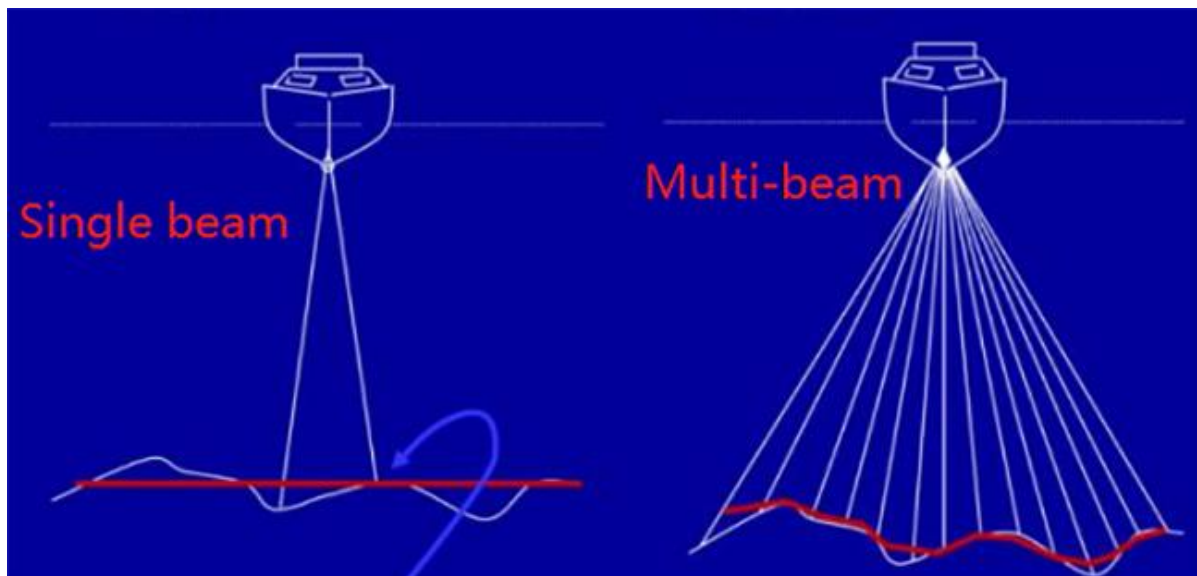
Towfish-tyyppisen luotainturin vääristymiin vaikuttavat useat tekijät. Luotainturin luoma kuva vääristyy, jos anturin liike ei ole tasaista ja suoraviivaista. Kuvassa 2 ylhäällä kuvataan luotainturin keinumista pystysuuntaisesti. Pystysuuntainen keinuminen aiheuttaa piirtyvän kuvan piirtymistä liian edestä tai liian myöhässä verrattuna todelliseen sijaintiin. Keinumisen mukaan sama sijainti on mahdollista kuvantaa useaan kertaan eri sijainnista. Kuvassa 2 keskellä kuvataan tilannetta, jossa luotainturin liikkuu sivuttaissuuntaisesti mutkittelemalla. Mutkittelu aiheuttaa kuvan vääristymistä saman tapaisesti kuin pystysuuntainen keinuminen. Kuvassa 2 alhaalla on esitetty tilanne, jossa luotainturi keino sivuttaissuuntaisesti. (Cobra;Oppenheim;& Jaffe, 1992)

Luotainturiin palaavien ääniaaltojen vaimenemisen avulla pystytään määrittämään pohjan tai pohjassa olevan esineen koostumus. Ääniaalto vaimenee osuessaan pehmeään rakenteeseen, kun taas kovaan rakenteeseen osuessaan ääniaalto palaa terävänä. Korkeat esineet, jotka jäävät luotaimen keilaan muodostavat taakseen varjon. Varjon perusteella on mahdollista selvittää esineen etäisyys veden pinnasta. Viistokaikuluotaimella ei ole kuitenkaan mahdollista määrittää vesistön pohjan syvyyttä. (Ocean explorer a)

2.5.2 Yksi- ja monikeilaluotaus

Ysikeilaluotain on kaikuluotaintyyppi, jolla vesistön syvyyden määrittäminen on mahdollista. Luotain tuottaa yksittäisiä lyhytkestoisia ääniaaltoja vesistön pohjaa kohti. Luotaimen heikkoutena on sen tuottama yksittäinen luotauskeila. Keila peittää vesistön pohjasta suuren alueen, jonka takia pohjan muotoja on mahdoton tarkastella. Keilan alle jäävät korkeusvaihtelut eivät erotu yksittäisen keilan avulla, jonka vuoksi määritetty korkeus on suuntaa antava. (L-3 Communications SeaBeam Instruments)

Monikeilaluotain on kehitetty, koska vesistöjen pohjasta tarvitaan tarkempaa syvyystieto kuin mitä yksikeilaluotaimella on mahdollista saavuttaa. Luotaimet toimivat saman toimintaperiaatteen mukaisesti, mutta monikeilaluotaimen luotauskeila on viuhkamainen ja luotainturiin palaava signaali sisältää useita keiloja tai säteitä. Säteet sijoittuvat vesistön pohjaan vieri viereen, minkä ansiosta pohjan muodot erottuvat kerätystä materiaalista paremmin. Monikeilaluotaimen keila voi sisältää jopa 256 yksittäistä sädettä. Säteiden luoman tarkemman pohjan muotojen havainnoinnin ansiosta vesistön pohjan syvyydestä saadaan tarkka tieto. (L-3 Communications SeaBeam Instruments)



KUVA 3. Yksikeila- ja monikeilaluotaimen luotauskeila (South Group, 2021)

Kuvassa 3 on havainnollistettu yksikeilaluotaimen (Single beam) luotauskeilan keilamainen muoto. Kuvasta voidaan huomata myös, että vesistön pohjan korkeus määritetään keilan alle jäävän alueen korkeimmasta kohdasta. Monikeilaluotaimen (Multi-beam) yksittäiset säteet on havainnollistettu kuvassa. Yksittäisiä säteitä kuvaavat viivat luotauskeilassa. Kuvasta voidaan huomata, että monikeilaluotaimen määrittämä vesistöpohjan muoto on huomattavasti tarkempi kuin yksikeilaluotaimella.

Monikeilaluotaimen keila peittää luotaimen alapuolisen alueen, joten viistokaikuluotaimen tapaista sokeaa aluetta ei synny. Monikeilaluotaimia on mahdollista kytkeä rinnakkain, jolloin luotauskeilan leveys kasvaa. Luotauskeilan leveys mahdollistaa laajempien alueiden luotaamisen. (R2sonic b)

3 VESISTÖKAAPELEIDEN KARTOITTAMINEN

3.1 Kartoittamismenetelmät

Maakaapeleiden kartoittamismenetelmiä ei pystytä käyttämään vesistökaapeleiden kartoittamisessa. Menetelmät johtaisivat liian suureen epätarkkuuteen ja epäkäytännöllisyyteen. Tämän vuoksi vesistökaapeleiden kartoittamiseen on käytettävä muita menetelmiä. Vesistökaapeleiden kartoittamisessa on pääsääntöisesti kolme vartenotettavaa menetelmää. Menetelmät ovat sukeltajan tekemä paikannus, vedenalaisella miehittämättömällä aluksella tehtävä paikannus sekä kaikuluotaus.

Sukeltamalla tehtävä paikannus on tällä hetkellä käytössä oleva paikannusmenetelmä. Tämän takia sukeltamalla tehtävä paikannus ei ole käsiteltävien menetelmien piirissä. Sukeltajan tekemän paikannuksen etuna on tarkka näköyhteys kaapeliin. Näköyhteyden ansiosta pystytään varmistamaan, että kaapeli lepää järven pohjassa eikä kaapelin alla ole kiviä, uppotukkeja tai muita esteitä, jotka voisivat aiheuttaa kaapelin vaurioitumisen tulevaisuudessa. Kaapelin upotessa tai hautautuessa pehmeään järven pohjaan sukeltajan tekemä paikannus on edellä mainituista tavoista ainoa, jolla kaapeli pystytään edes teoreettisesti paikantamaan tarkasti.

3.1.1 Vedenalaiset miehittämättömät alukset

Vedenalaisella miehittämättömällä aluksella, eli vedenalaisella dronella, tehtävän paikannuksen etuna on sukelluksen tapaan tarkka näköyhteys paikannettavaan kaapeliin. Vedenalaisten dronejen suurimpia heikkouksia ovat niiden hitaus laajempaa aluetta kartoittaessa sekä syvyyden tarkka määrittäminen. Laitteita on saatavilla ammattikäyttöön sekä kaupalliseen käyttöön. Kaupalliseen käyttöön tarkoitettujen laitteiden osalta ongelmaksi nousevat muun muassa kantama sekä paikannuksen tarkkuus. Ammattikäyttöön tarkoitettujen laitteistojen osalta ongelmaksi nousee muun muassa korkea hinta. Yleisesti vedenalaisten dronejen osalta mahdollinen ongelma on samean veden aiheuttamat ongelmat näkyvyydessä.

Skydatan tekemän Chasing M2 testauksen perusteella vedenalaisten dronejen käyttö vesistökaapeleiden kartoituksessa ei ole paras mahdollinen vaihtoehto. Ominaisuuksien arvioinnissa tulee huomioida, että laitteisto ei ole suunniteltu ammattikäyttöön vaan kuluttajakäyttöön vesistöjen tutkimista varten. Testin perusteella voidaan kuitenkin todeta laitteiston hitaus kartoittaessa suuria alueita sekä käytön hankaluus. Paikannustiedon puuttuminen hankaloittaa laitteiston käyttöä vesistökaapeleiden kartoittamisessa huomattavasti. Testin perusteella paikannustietoa ei ole käytettävissä edes laitteen navigointiin, jonka takia laitteen sijainnin arvioiminen normaalia käyttöä vartenkin on hankalaa. Testauksessa kameran kuvanlaatua sameassa vedessä ei voida arvioida. Laitteen toimintamatka on lyhyt ja laitteiston vedestä ylös nostaminen kuljetusta varten on hidasta. (Skydata Oy, 2020) Vedenalaisten dronejen ominaisuudet vastaavat paremmin suurempien kokonaisuuksien tutkimista pieneltä alueelta.

3.1.2 Kaikuluotaimet

Kaikuluotauksella tehtävän paikannuksen etuja ovat nopeus, kun kartoitetaan laajoja alueita, luotaimen tuottama tarkka kuva sekä syvyystieto. Yleisesti kaikuluotauksen heikkoutena ovat eriaisteiset vääristymät. Vedenalaisten dronejen tapaan kaikuluotaimia on saatavilla ammattikäyttöön sekä kuluttajakäyttöön. Ammattikäyttöön tarkoitettuja luotaimia ja luotainlaitteistoja on saatavissa moneen käyttötarkoitukseen sekä monessa eri hintaluokassa. Suurin ongelma ammattikäyttöön tarkoitetuissa luotaimissa ja laitteistossa on hinta. Kaupalliseen käyttöön tarkoitettujen luotaimien heikkouksia ovat vääristymien korjaaminen sekä paikannuksen tarkkuus. Kaikuluotaimien paikannuksen tarkkuutta on teoriassa helpompi kehittää vedenalaisiin droneihin verrattuna, koska GNSS-laitteiston ei tarvitse olla yhtä korkeasti IP-luokiteltuja.

3.1.3 Kartoitustavan valinta

Vesistökaapeleiden paikantamiseen parhaiten soveltuva menetelmä on kaikuluotaus. Kaikuluotauksen etuja ovat sen nopeus, hinta sekä paikantamisen tarkkuus. Kaikuluotausta voidaan hyödyntää kaapelin paikantamisen lisäksi myös maastosuunnittelussa, joka lasketaan eduksi. Kartoitustavan valinnassa vaikuttavina tekijöinä olivat myös kaikuluotauksen yleinen käyttäminen vesistöjen kartoituksessa.

Skydatan tekemä testaus vedenalaisista droneista vaikutti tutkimustavan valintaan huomattavasti. Vedenalaisten dronejen oletetut heikkoudet tulivat testauksessa ilmi. Vedenalaisilla droneilla tehtävässä paikannuksessa ei saavuteta etua kaikuluotaukseen nähden.

3.2 Ammattilaisten laitteistot

Ammattikäyttöön tarkoitettuja luotaustapoja on monia, joten luotaustapa tulee valita tarpeen mukaisesti. Vesistökaapeleiden kartoittamisessa sovellettavat vaihtoehdot ovat viistokaikuluotaus sekä monikeilaluotaus. Yksikeilaluotainta voidaan hyödyntää viistokaikuluotauksen apuna syvyyden määrittämisessä.

Laitteistoja on saatavilla monessa eri kokoluokassa sekä moneen eri syvyyteen. Laitteistojen kokoluokat ovat pienimmillään miehittämättömiä aluksia, joita on mahdollista siirtää kantamalla. Suurimmat alukset ovat kartoitusta ja luotausta varten rakennettuja aluksia, joita voidaan käyttää merellä. Sisävesien vesistökaapeleiden kartoittamisessa tulee ottaa huomioon laitteiston koko ja käytännöllisyys. (Kankare, 2013)

3.2.1 Luotainanturit

Yksikeilaluotaimen rajoittuminen yhteen keilaan rajoittaa pohjan muotojen piirtymistä, jonka seurauksena myös kaapelin paikantaminen on lähes mahdotonta. Luotainta voidaan hyödyntää kaapelin asennussyvyyden määrittämisessä viistokaikuluotaimen tukena.

TAULUKKO 1. Viistokaikuluotaimet (Hydro-tech Marine; Geo-matching e)

Merkki	Malli	Resoluutio pitkittäin	Resoluutio poikittain	Tyyppi	Taajuus	Toimintaetäisyys
Hydro-Tech	ES900	17 cm	1 cm	Integroitava	900 kHz	75 m
Hydro-Tech	ES900M	17 cm	1 cm	Integroitava	900 kHz	75 m
Hydro-Tech	SS900	7 cm	1 cm	Towfish	900 kHz	75 m
Hydro-Tech	SS3060	24/23 cm	2,5/1,25 cm	Towfish	300/600 kHz	230/120 m
Ping DSP	3DSS-DX	1,67 cm	1,67 cm	Towfish	450 kHz	200 m

Viistokaikuluotaimen etuna on korkean resoluution valokuvan kaltaiset kuvat, joista kaapeli on mahdollista havaita. Taulukossa 1 Viistokaikuluotaimet on esitetty eri viistokaikuluotaimien ominaisuuksia. Tyyppi-sarakkeessa on ilmoitettu luotaimen tyyppi joko integroitava tai towfish. Towfish-luotaimet ovat veneen perässä hinattavia luotaimia, kun integroitavat luotaimet on mahdollista asentaa kiinteästi veneisiin ja miehittämättömiin aluksiin. Resoluutio pitkittäin tarkoittaa luotaimen kuvan resoluutiota kulkusuunnan mukaisesti ja resoluutio poikittain tarkoittaa luotaimen kuvan resoluutiota kulkusuunnasta sivuille. Resoluutiolla tarkoitetaan luotaimen piirtämän kuvan tarkkuutta eli kuinka pieniä objekteja kuvasta on mahdollista erottaa. Taulukossa 1 esitetyt resoluutiot ovat tarkimmat mahdolliset resoluutiot, jotka luotainanturilla on mahdollista saavuttaa.

Toimintaetäisyys-sarakkeessa on ilmoitettu luotainanturin suurin mahdollinen toimintaetäisyys. Suurin toimintaetäisyys on etäisyys, jolle viistokaikuluotaimen yksi keila yltää. Toimintaetäisyys 75 metriä tarkoittaa, että luotauskeila yltää vesistön pohjassa luotainanturin sivulle 75 metrin päähän. Viistokaikuluotaimessa on molemmilla puolilla yksi luotauskeila, joten luotauskeilan kokonaisleveys on 150 metriä.

Towfish-tyyppisille luotaimille luotauskorkeudeksi vesistön pohjasta suositellaan 10 % määritetystä toimintaetäisyydestä. Tällä tavalla saavutetaan mahdollisimman tarkka kuva vesistön pohjasta. (EdgeTech, 2007) Tämän perusteella 75 metrin toimintaetäisyydellä toimivan luotainanturin tulisi olla 7,5 metrin korkeudella vesistön pohjasta, jotta luotauksesta on mahdollista saada optimaalinen tarkkuus. Luotauskorkeutta on mahdollista nostaa, mutta kuvan resoluutio heikkenee. Kiinteästi asennettavien viistokaikuluotainantureiden suhteen ei ole mahdollista käyttää edellä mainittua tapaa luotaussyvyyden määrittämiseen.

Ping DSP:n viistokaikuluotaimen suurimmaksi luotaussyvyydeksi on ilmoitettu 40 metriä, kun luotainanturi on kiinnitetty tankoon. Luodattaessa yli 40 metriä syvässä vesistöissä täytyy luotainanturi kiinnittää towfish-tyyppisesti. (Geo-matching e) Luotainanturin kiinnittäminen tankoon tarkoittaa käytännössä kiinteästi asennettavaa luotainanturia. Tankoon kiinnitettävä luotainanturi mahdollistaa tangon upottamisen syvemmälle, joka kasvattaa hieman luotainanturin suurinta luotaussyvyyttä.

TAULUKKO 2. Monikeilaluotaimet (Geo-matching c; Geo-matching d;& Hydro-tech Marine)

Merkki	Malli	Taajuus	Toimintasyvyys	Syvyyden resoluutio
R2 Sonic	Sonic 2020	200–400 kHz	0,5–100 m	12,5 mm
R2 Sonic	Sonic 2022	170–700 kHz	0,5–500 m	12,5 mm
Hydro-Tech	MS400P	400 kHz	0,2–150 m	7,5 mm
Hydro-Tech	MS400U	400 kHz	0,2–150 m	7,5 mm

Oktavia ym. toteavat tutkimuksessaan R2 Sonic 2020 monikeila-anturille (taulukko 2) laskennalliseksi tarkkuudeksi 12,9 mm keilan korkeussuunnassa ja 33,7 mm keilan leveysuunnassa. Mittauksen aikana keskimääräinen veden äänennopeus on 1 548,4 m/s ja käytettävä luotaustaajuus on 400 kHz. Monikeilaluotaimen tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat veden äänenjohtavuus, luotainanturin koko, yksittäisen keilan taajuus sekä luotaustaajuus. (Oktavia;Pratomo;& Khomsin, 2021) Tutkimuksessa laskennallisesti saatu mittaustulos vastaa taulukossa 2 määritettyä syvyyden resoluutiota. Taulukossa ja tutkimuksessa määritetty ero syvyyden resoluutiossa on selitettävissä veden äänenjohtavuuden vaihtelulla. Anturille ilmoitettu syvyyden resoluutio 12,5 mm on ilmoitettu tarkimpana mahdollisena tarkkuutena, joka on määritetty optimimaalisissa olosuhteissa.

Tutkimuksen perusteella kaapelin havaitseminen kerättävästä materiaalista on riippuvainen luotainanturin ominaisuuksista. Monikeila-anturit (taulukko 2) on mahdollista asentaa kiinteästi miehittämättömiin aluksiin. Monikeilaluotaimen etuja ovat kaapelin tarkan asennussyvyyden määrittäminen sekä sen tuottaman materiaalin hyödyntäminen myös maastosuunnittelussa.

Hinattavien viistokaikuantureiden etuna on pienempi riski aallokon aiheuttamien heilahteluiden vaikutukselle kuvan laadussa. Heikkoutena hinattavien antureiden käytössä on suuri luotaussyvyys sekä pienempi resoluutio. Suuren luotaussyvyyden takia luotaimia ei ole mahdollista käyttää rantojen lähellä.

Kiinteiden viistokaikuantureiden etuna on pääsääntöisesti suurempi resoluutio sekä matalampi luotaussyvyys, kuin hinattavissa luotainantureissa. Kiinteät luotainanturit ovat herkempiä aallokon aiheuttamille aluksen heilahteluille, koska anturi on asennettu kiinteästi alukseen. Kiinteiden luotainantureiden heikkoutena hinattaviin luotainantureihin nähden on luotauksen tarkkuus luodattaessa syvää vesistöä. Syvän vesistön luotauksessa kiinteästi asennettavan luotainanturin suurinta mahdollista luotaussyvyyttä voidaan kompensoida kiinnittämällä luotainanturi tankoon, joka mahdollistaa anturin upottamisen syvemmälle.

Kiinteästi asennettavien luotainantureiden pienimmän mahdollisen käyttösyvyyden ansiosta kyseiset anturit sopivat paremmin vesistökaapeleiden kartoittamiseen. Kiinteästi asennettavalla anturilla kaapelin rannalle nousu on mahdollista kartoittaa tarkemmin. Antureita on mahdollista kiinnittää miehittämättömiin aluksiin, mikä lisää käytännöllisyyttä.

3.2.2 Miehitämättömät alukset

Miehitämättömät alukset on jaettu kokoluokittain pieniin, keskisuuriin ja suuriin. Pienien ja keskisuurien alusten siirtäminen on pääsääntöisesti mahdollista yhden ihmisen voimin. Integroitavat anturit mahdollistavat pienten ja keskisuurien miehitämättömien alusten käyttämisen vesistökaapeleiden kartoittamisessa. Miehitämättömien alusten etuna miehitettyihin veneisiin on niiden koko sekä miehitämättömyyden mahdollistama työturvallisuuden kasvaminen.

TAULUKKO 3. Miehitämättömät luotausalukset (CHCNAV b; Stonex; Cadden; Geo-matching b; SimpleUnmanned b;& Hi-Target)

Merkki	Malli	GNSS	Autopilot	Viistokaiku	Monikeila
CHCNAV	Apache 4	GNSS+IMU	Kyllä	Liitettävissä	Ei
Stonex	Nemo110	RTK	Kyllä	Liitettävissä	Ei
CADDEN	USV100	RTK	Kyllä	Liitettävissä	Liitettävissä
EvoLogics	Sonobot 5	RTK	Kyllä	Liitettävissä	Liitettävissä
SimpleUnmanned	HaborScout 55i	PPK/RTK	Kyllä	Liitettävissä	Liitettävissä
Hi-Target	iBoat BS3	GNSS (10 cm)	Kyllä	Liitettävissä	Liitettävissä

Apache 4 -aluksessa (taulukko 3) ilmoitettu IMU-anturi on alukseen integroitu inertianmittausanturi, jonka avulla aallokon aiheuttamat aluksen rungon heilahtelut on mahdollista kompensoida mittaus- tuloksista. Inertianmittausanturin avulla on mahdollista kompensoida myös aluksen sijaintitietoa tilanteissa, joissa GNSS-signaali on heikko tai katkennut. (Posimo Oy; CHCNAV b) IMU-anturin keräämä tieto mittaus- tuloksien kompensointia varten on kuitenkin rajallinen. Apache 4-aluksen IMU-anturin keräämälle kompensaatiotiedolle ei ole luvattu mahdollisuutta viistokaikuluotain kuvan vääristymien korjaukselle, jotka aiheutuvat aluksen heilahtelusta (CHCNAV b).

Muissa aluksissa sisäänrakennettua IMU-anturia ei ole saatavilla. IMU-anturi on mahdollista saada sisäänrakennettuna RTK-antenniin. Antenniin sisäänrakennettu anturi mahdollistaa tarkan paikkatiedon mittaamisen tiettyyn kallistuskulmaan asti (Global GPS Systems). Antenniin sisäänrakennettu anturi on mahdollista saada muun muassa Stonex Nemo110 -alukseseen (Geo-matching a).

Alukset sisältävät pääsääntöisesti integroidun yksikeilaluotaimen, jolloin syvyyden määrittäminen on mahdollista ilman erillisiä antureita. Aluksiin on liitettävissä monikeilaluotain sekä viistokaikuluotain, mutta anturit on pääsääntöisesti hankittava erikseen. Stonex Nemo 110- ja CHCNAV Apache 4 -aluksiin ei ole mahdollista liittää monikeilaluotainta.

Aluksien GNSS-järjestelmiksi on ilmoitettu RTK-mittaus, mutta Hi-Targetin alukselle on ilmoitettu vain GNSS, jonka avulla on mahdollista paikallistaa jokainen kohde 10 senttimetrin tarkkuudella. Määritetty tarkkuus on käyttötarkoitukseen riittävä, mutta lopullinen tarkkuus riippuu luotainturin, GNSS-paikannuksen, korjauksien ja jälkikäsitteilyn kokonaisuudesta. RTK-mittauksen lisäksi Simpleunmanned aluksessa on tuki myös PPK-mittaukselle.

Aluksissa on mahdollisuus itsenäiselle kartoittamiselle autopilot-ominaisuuden avulla. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää vesistökaapeleiden kartoittamisessa monella tavalla. Alukselle voidaan määrittää kartoitettava alue, jossa kaapelin oletetaan sijaitsevan. Kaapelin oletetulle alueelle on mahdollista luoda kartoituskuvio, jota alus toteuttaa. Oletettua sijaintia on mahdollista tarkentaa keräämällä kaapelin laskun aikana reittitietoa, jota kaapelin laskussa käytettävä lautta on kulkenut. Lautan reittitiedon hyödyntämisellä on mahdollista nopeuttaa kartoittamista ja vähentää tarpeettoman tiedon keräämistä.

3.2.3 Vääristymät

Vääristymiä syntyy sekä laitteistosta, kartoitusolosuhteista, jälkikäsitteystä että käyttäjävirheistä. Vääristymiin pystytään vaikuttamaan aluksiin asennettujen antureiden, paikkatiedonkeräämisen ja jälkikäsitteilyn määrittämisellä. Aluksissa (taulukko 3) on sisäänrakennettu RTK GNSS -järjestelmä. Osassa aluksista on myös IMU-anturi. RTK GNSS-järjestelmällä paikkatiedon kerääminen on mahdollista senttimetrin tarkkuudella.

Sisäänrakennettujen GNSS- ja IMU-järjestelmien avulla aluksen liikkeet on mahdollista kompensoida mittaustuloksissa. Inertian mittauksella pysytään kompensoimaan GNSS-signaalien katkeamista esimerkiksi sillan alituksen aikana. Mittaustuloksien kompensoinnin jälkeen syntyneet poikkeamat on poistettu kerätystä materiaalista. (Posimo Oy) Mittaustuloksien kompensoinnissa tulee huomioida mitä mittaustuloksia on mahdollista kompensoida. Viistokaiku- sekä monikeila-antureita on saatavilla integroiduilla IMU-järjestelmällä (R2sonic a; Hydro-tech Marine). Luotainturiin integroitu IMU-järjestelmä vähentää aluksen sisäänrakennettujen ominaisuuksien vaatimuksia.

Materiaalin tarkkuudessa tulee huomioida luotausanturin ja GNSS-järjestelmän antennin asennussijainnin ero toisiinsa. Asennussijaintien ero tulee määrittää, jotta pystytään määrittämään oikea kompensatio paikkatiedolle luotaimen keräämässä materiaalissa. (Qinsy)

3.2.4 Tiedostojen käsittely

Alusten keräämien tiedostojen käsittelyyn on saatavilla monia ohjelmistoja. Ohjelmiston valinnassa tulee huomioida, että ohjelmisto tukee käytettävän aluksen keräämää tiedostotyyppiä. CHCNAV aluksille on oma Hydrosurvey-ohjelmisto (CHCNAV a).

Simpleunmanned HarborScout 55i keräämää tiedostotyyppiä tukevat muun muassa Hyrdromagic, Hypack, Qinsy ja Beamworx ohjelmistot (SimpleUnmanned b).

3.3 Kuluttajalaitteistot

Kuluttajalaitteistot ovat yksi vartenotettava vaihtoehto vesistökaapeleiden kartoittamiseen. Kuluttajalaitteistoilla tarkoitetaan tässä yhteydessä kalastukseen tarkoitettuja kaikuluotaimia. Markkinoiden suosituimpia laitevalmistajia ovat tällä hetkellä Garmin, Lowrance ja Humminbird. Laitteistoihin kuuluu luotainturin lisäksi yhdistelmälaite, jota kutsutaan myös karttaplotteriksi.

Kalastukseen käytettävät laitteistot tallentavat luotainten keräämän tiedon laitteiston valmistajan määrittämällä tiedostomuodolla (SonarTRX a). Laittevalmistajista Garmin käyttää tiedostomuotoa, joka on avattavissa vain rajoitetuilla sovelluksilla (Garmin a).

Humminbird-laitteistot luovat monta tiedostoa jokaisella luotaustallennuksella. Viistokaikuluotaimen tallennustiedosto on muodoltaan DAT-tiedosto. Tämä tiedosto sisältää kaiken viistokaikuluotauksessa tallennetun tiedon, jonka avulla materiaali on jälkikäsiteltävissä. (eye4software)

Lowrance-laitteistot käyttävät tallennuksessa tiedostomuotoja SLG, XTF, SL2 ja SL3. Tallennustiedostoista SL2- ja SL3-tiedostomuodot ovat monipuolisimmat vaihtoehdot. SL2-tiedostoihin on mahdollista tallentaa kaikuluotain ja StructureScan tiedostoja. SL3-tiedostoihin on mahdollista tallentaa myös StructureScan 3D tiedostoja. (Lowrance a) StructureScan 3D on Lowrancen nimitys monikeila- luotaimen tyyppiselle luotaustavalle, jolla vesistön pohjaa on mahdollista tutkia kolmiulotteisesti. Toimintaan laitteistoon on asennettava erillinen StructureScan 3D ominaisuutta tukeva lisälaitteisto ja luotainanturi. Kolmiulotteisia tallennuksia on mahdollista kerätä vain SL3-tiedostomuotoon. (Marinea a)

Simpleunmanned tarjoaa valmistamiinsa miehittämättömiin aluksiin asennettavaksi Lowrance Elite Ti2-järjestelmän, mutta laitteisto ei sovellu integroitavaksi RTK-mittauksen kanssa. Laitteiston mukana tulee Reefmaster-ohjelmisto tietojen käsittelyä varten. (SimpleUnmanned a)

3.3.1 Luotainanturit

Kuluttajaluokan laitteistoja ei ole tarkoitettu kartoittamiseen, mikä sanotaan muun muassa valmistajien vastuuvapauslausekkeissa. Vastuuvapauslausekkeisiin on määritetty, että "laitetta ei saa käyttää syvyyden mittaamiseen tai muihin uinti- tai sukellusolosuhteiden arviointiin" (Lowrance & Simrad). Tämän takia anturien valmistajat eivät ilmoita anturien tarkkuutta. Lowrance HDS Live + Active Imaging 3-in-1-laitteiston myynti-ilmoituksessa on kuitenkin sanottu seuraavasti "Genesis Live -kartoitus, jolla voit luoda karttoja pohjan muodoista jopa 15 cm tarkkuudella reaaliajassa" (Ruoto Oy b). Genesis Live on ominaisuus, jonka avulla on mahdollista muodostaa syvyyskarttoja vesistöstä reaaliaikaisesti luotauksen aikana (Lowrance b).

Kalastuksessa käytettävät luotainanturit ovat ominaisuuksiltaan monikäyttöisiä. Luotainanturilla pystytään tuottamaan viistokaikuluotainkuvaa sekä kartoittamaan syvyyttä. Syvyystietoa on mahdollista kerätä vain kapealta alueelta veneen kulkureitillä. Luotainantureiden käyttämät suurimmat taajuudet viistokaikuluotaukselle ovat pääsääntöisesti 455 ja 800 kHz. (Ruoto Oy c; Ruoto Oy a) Garmin ja Lowrance tarjoavat tyyppisten luotaustaajuuksien lisäksi mahdollisuutta 1 000 kHz luotaustaajuuteen. Korkeaa luotaustaajuutta tukevat anturit ovat rajallisesti yhteensopivia suosituimpien laitteistojen kanssa. (Ruoto Oy d; Marinea b) Kalastuksessa käytettävien luotainantureiden viistokaikuominaisuuden suurin toimintaetäisyys on pääsääntöisesti 75 metriä ja luotauskeilan kokonaisleveys 150 metriä. Suurin toimintasyvyys on noin 45 metriä 455 kHz luotaustaajuudella. (C.H. Smith Marine)

Kalastuksessa käytettävät luotainanturit käyttävät pääsääntöisesti hieman matalampaa luotaustaajuutta, kuin tarkimmat ammattikäyttöön tarkoitetut luotainanturit (taulukko 1). Luotainantureilla suurin mahdollinen taajuus on kuitenkin korkeampi kuin Hydro-Tech SS3060 -anturilla, jolla suurin

luotaustaaajuus on 600 kHz. Ainoastaan luotaustaaajuutta vertaamalla viistokaikuluotaimien resoluution tulisi vastata ammattikäyttöön tarkoitettujen antureiden resoluutiota. Luotaimen resoluutioon ja tarkkuuteen vaikuttaa luotaustaaajuuden lisäksi myös muun muassa luotainanturin ominaisuudet, joten pelkkää luotaustaaajuutta vertaamalla ei ole mahdollista arvioida luotainantureiden resoluutiota ja tarkkuutta.

Tavallisten luotainantureiden lisäksi markkinoilla on Lowrance StructureScan 3D, joka mahdollistaa vesistön pohjan tarkastelun viistokaikuluotain näkymän lisäksi myös kolmiulotteisessa muodossa. Luotainanturille on ilmoitettu luotaustaaajuudeksi 455 ja 800 kHz. Suurimmaksi luotaussyvyydeksi on ilmoitettu 92 metriä Downscan Imaging-ominaisuudella ja kokonaiskeilanleveydeksi 183 metriä Sidescan Imaging-ominaisuudella. StructureScan 3D-luotainanturia ei ole mahdollista kytkeä suoraan karttaplotteriin, jonka takia laitteisto vaatii erillisen moduulin johon, luotainanturi on mahdollista kytkeä. (Marinea a)

Helminen ym. toteavat tutkimuksessaan, että kalastuksessa käytettävät kaikuluotaimet määrittävät syvyyden matalammaksi kuin se todellisuudessa on. Pääsääntöisesti tutkimuksessa luotainanturilla saadut syvyysarvot olivat 9–15 cm matalammat kuin muilla tekniikoilla määritetty vesistön syvyys. Tutkimustuloksen arvioinnissa tulee ottaa huomioon muun muassa olosuhteiden ja GPS-paikannuksen aiheuttamat virheet mittaustuloksissa. Tutkimuksessa on käytetty Lowrance HDS karttaplotteria ja siihen yhdistettyä luotainanturia. Mittaustulokset on käsitelty BioBase EcoSound-ohjelmistolla. (Helminen;Linnansaari;Bruce;Dolson-Edge;& Curry, 2017)

Käyttäjäkokemusten perusteella StructureScan 3D -luotainanturilla saatava viistokaikuluotauskuva on yksi markkinoiden parhaista. Kolmiulotteisesta luotauskuvasta on hyötyä pohjan muotojen ja syvyyden tarkasteluun, mutta pohjan muodoista saatava tarkkuus on vain suuntaa antava. (Colibri, 2023) Käyttäjäkokemusten perusteella Lowrance StructureScan 2 -luotainantureiden viistoluotauksen resoluutiossa menetetään yksityiskohtia, kun veden syvyys on yli 15 metriä ja luotauskeilan toimintaetäisyys ylittää 30 metriä (hakan, 2016).

3.3.2 GNSS-tarkkuus

Laitteistojen satelliittipaikannuksen tarkkuus sisäänrakennettujen paikantimien avulla on useiden metrien luokkaa. Ulkoisen GNSS-järjestelmän liittäminen onnistuu langattomasti tai langallisesti NMEA2000- tai NMEA0183-verkkojen avulla. NMEA-verkko on veneilyssä käytettävä tiedonsiirtoväylä. Liitännän langattomuus ja langallisuus vaihtelee laitteiston merkkien ja mallien välillä sekä käytetyistä adaptereista johtuen. (Biobasemaps, 2019)

Veneilyyn tarkoitettuja GNSS-antenneja on saatavilla luotain valmistajilta. Luotainvalmistajien ulkoiset antennit ovat pääasiallisesti DGNS-antenneja (Mackay). Karttaplottereiden suuntima määritetään magneettisella suunta-anturilla, jonka määrittämä suuntima ei ole tarkka. Erillisellä GNSS-antennilla suuntiman tarkkuus on parannettavissa. (Garmin b) Luotainvalmistajien ulkoisten GNSS-antennien tilalle on mahdollista kytkeä kolmannen osapuolen RTK-anturi, jolloin paikannuksen tarkkuus nousee senttimetritasolle. (Biobasemaps, 2019)

Karttaplotterit käyttävät WGS84-koordinaattijärjestelmän mukaisia koordinaatteja. Tallennustiedostoissa paikkatiedon tarkkuus ilmoitetaan desimaaliasteina viiden desimaalin tarkkuudella, joka tarkoittaa WGS84 koordinaattijärjestelmässä 1,11 ($\pm 0,555$) metrin tarkkuutta. Tallennettujen tiedostojen osalta paikkatiedon heikennys perustuu tallennustiedoston tiedostomuotoon. Paikkatiedon heikennys tallennustiedostoissa tarkoittaa sitä, että RTK-mittauksella saavutettu tarkkuus rajoittuu vain reaaliaikaiseen käyttöön. (Biobasemaps, 2019)

Laitteistojen paikkatiedon tallennus on määritettävissä ajan ja kuljetun matkan perusteella. Pienin aikaväli kerättäville paikkatietopisteille on yksi sekunti. Laitteisto ei kuitenkaan tallenna uutta paikkatietopistettä, jos kuljettu matka ei ylitä pienintä määritettyä matkaa edellisestä paikkatietopisteestä. (Reefmaster b)

Karttaplottereiden paikkatiedon tallennustarkkuutta rajoittava ominaisuus on mahdollista kiertää reaaliaikaisella tiedonkeräämisellä. Reaaliaikaisessa tiedonkeräämisessä RTK-antennin ja luotainturin tuottama tieto kerätään suoraan tietokoneen muistiin. Tämä lisäksi vaadittujen laitteiden ja tiedonsiirtokaapeleiden määrää, joka hankaloittaa laitteiston käyttämistä ja käytännöllisyyttä. Laitteistoja ei ole mahdollista asentaa ja säilyttää kiinteästi veneissä.

3.3.3 Vääristymät

Kalastukseen tarkoitettujen luotainten vääristymiin vaikuttavat samat tekijät kuin ammattikäyttöön tarkoitetuissa luotainlaitteistoissa. Näiden lisäksi vääristymiä syntyy luotainturin asennussijainnista. Asennettaessa luotainturi lähelle veneen potkuria syntyy vedessä turbulenssia sekä virtauksia, jotka vaikuttavat anturin tarkkuuteen. Luotainturin asennuksessa tulee varmistua myös luotainturin esteettömästä näkymästä ympäröivään veteen. (Humminbird)

Laitteistoissa ei ole sisäänrakennettua IMU- tai INS-anturia, minkä takia vääristymien kompensointi on epätarkempaa kuin miehittämättömillä aluksilla. Paikkatiedon epätarkka tallennusmuoto lisää paikkatiedon epätarkkuutta. IMU-anturin puuttumista on mahdollista kompensoida RTK-antennin sisäänrakennetun anturin avulla, kuten miehittämättömissä aluksissa.

Kartoittamisessa yksi tärkeimpiä tekijöitä on GNSS-antennin ja luotainturin asentaminen samaan sijaintiin, jotta x- ja y koordinaatit vastaavat viistokaikuluotaimen kuvaa. Asennussijainnilla on merkitystä myös viistokaikuluotaimen jälkikäsitelystä määritettävän suuntiman tarkkuuteen. Tarkan suuntimatiedon avulla viistokaikuluotaimen kuva on mahdollista kohdistaa tarkemmin. (support@sonartrx.com, 2023; biobasemaps, 2023)

IMU-anturin puuttumista pystytään kompensoimaan suoraviivaisella ja tasaisella liikkumisella sekä luotaamalla silloin kun vesistön pinta on mahdollisimman tyyni. Anturin epätarkkuutta pystytään kompensoimaan luotaamalla lähellä kaapelia sekä luotaamalla reitti useammin kuin yhden kerran.

3.4 Tiedostojen käsittely

Kuluttajakäyttöön tarkoitettujen laitteistojen tiedostojen käsittelyyn on rajallinen määrä vartenotettavia ohjelmistoja. Ohjelmistoja, joilla luotaimien tallennustiedostot pystytään avaamaan sekä niiden sisältämää tietoa muokkaamaan ovat SonarTRX ja Reefmaster.

Edellä mainittujen ohjelmistojen lisäksi on mahdollista käyttää luotainvalmistajien omia ohjelmistoja, mutta käyttö rajoittuu vain yhden valmistajan laitteisiin. Luotainvalmistajien ohjelmistoissa ei ole kaikkia tarvittavia ominaisuuksia, joita vesistökaapeleiden kartoittamisessa vaaditaan. Ohjelmistojen lisäksi on käytettävissä erilaisia tapoja, joilla tallennustiedostoja pystytään avaamaan ja viemään eri tiedostoformaatteihin, jotta niiden käsittely muissa ohjelmistoissa on mahdollista. Tämä kuitenkin lisää käytettävien ohjelmistojen määrää sekä tiedostoformaatin muuttaminen voi kadottaa osan kerätyistä tiedoista.

3.4.1 SonarTRX

SonarTRX-ohjelmisto on kehitetty luomaan viistokaikuluotain tallennuksista georeferoituja rasterikuva ja ohjelman käyttötarkoituksiksi on ilmoitettu kaapeleiden ja putkistojen paikkatiedon tutkimukset. Ohjelmiston avulla kaikuluotaintallenteista pystytään määrittämään myös syvyydet. (SonarTRX b) Ohjelmisto tukee Humminbirdin DAT- tiedostoja, Lowrancen SLG, SL2 ja SL3 tiedostomuotoja sekä Garminin RSD tiedostoja. Ohjelma tukee myös useita muita tiedostomuotoja. (SonarTRX, 2022)

Ohjelmistoon pystytään viemään viistokaikuluotaintallenteita ja luomaan mosaiikkikuva. Mosaiikkikuvan luomisen jälkeen ulkoisesti kerätyt paikkatiedot voidaan viedä ohjelmistoon ja suorittaa georeferointi. (SonarTRX c) Georeferoituun aineistoon on mahdollista luoda pisteitä vesistökaapelin sijaintiin. Merkinnät sisältävät pisteiden koordinaatit, jotka on määritetty hyödyntämällä etäisyyttä kuljettusta reitistä. Georeferoitu kuva sekä alkuperäiset reittipisteet sekä luodut pisteet on mahdollista viedä ohjelman ulkopuolelle monissa tiedostomuodoissa. Reittipisteet ja pisteet on mahdollista viedä koordinaatteineen muun muassa erilliseen CSV-tiedostoon. (support@sonartrx.com, 2023)

Ohjelman ominaisuuksiin kuuluu luotainanturin ja GNSS-laitteiston asennussijaintien korkeuseron määrittäminen. Ohjelmassa on mahdollisuus viedä koordinaatit alkuperäisestä WGS84-koordinaattijärjestelmästä muihin koordinaattijärjestelmiin. (support@sonartrx.com, 2023)

3.4.2 Reefmaster

Reefmaster-ohjelmisto on suunniteltu kalastajien tarpeita huomioiden. Ohjelmistolla pystytään suunnittelemaan reittejä, luomaan syvyyskarttoja ja avaamaan viistokaikuluotaimen tallenteita sekä luomaan mosaiikkikuvia. Listattuihin käyttötarkoituksiin ei kuulu kartoittaminen. Ohjelmistolla avattaviin tiedostomuotoihin kuuluvat Lowrancen ja Humminbirdin laitteistojen tallennusformaatit. (Reefmaster a) Tiedostojen tuonnin yhteydessä käyttäjä pystyy määrittämään luotausmateriaalin korjaukseen vaikuttavat tekijät kuten veden lämpötilan sekä makean tai suolaisen veden. Muita määritettäviä ominaisuuksia ovat käytettävät yksiköt, aikavyöhyke sekä koordinaattien ilmaisumuoto. (Reefmaster a)

Ohjelmistossa on ominaisuus, jolla pystytään tuomaan ulkoisen GNSS-laitteiston keräämää paikkatietoa. Ulkoisesti kerätyn paikkatiedon avulla mosaiikkikuvan georeferointi ei kuitenkaan ole mahdollista Reefmaster-ohjelmiston avulla. (Reefmaster a) Mosaiikkikuvaan pystytään määrittämään reittipisteitä, jotka sisältävät WGS84-koordinaattijärjestelmän mukaisen koordinaatin desimaaliasteina kuuden desimaalin tarkkuudella. Reittipisteitä voidaan lisätä kaapelin kulkemalle reitille.

Mosaiikkikuva pystytään viemään useaan tiedostomuotoon, jonka jälkeen georeferointi pystytään tekemään toisessa ohjelmistossa. Ohjelmasta ulos viety mosaiikkikuva sisältää lisätyt reittipisteet koordinaatteineen. Ohjelmasta on mahdollista viedä myös vain lisätyt sekä luotauksen aikana muodostuneet reittipisteet CSV-tiedostoon koordinaatteineen ilman mosaiikkikuvaa.

Reefmaster tukee reaaliaikaista tiedonkeräämistä, mutta reaaliaikainen tiedonkerääminen rajoittuu ainoastaan paikkatiedon ja syvyystiedon keräämiseen. Viistokaikuluotaintallenteita ei ole mahdollista kerätä reaaliaikaisesti ohjelmiston avulla. (Reefmaster a) Tämän takia reaaliaikainen tiedonkerääminen Reefmaster-ohjelmistolla ei sovellu vesistökaapeleiden kartoittamiseen.

Reefmaster-ohjelmistoon on tulossa päivitys, jonka avulla georeferoinnin tulisi olla mahdollista ohjelman sisällä. Päivityksen tarkkaa julkaisuajankohtaa ei kuitenkaan ole ilmoitettu. (Matt, 2021)

3.4.3 Koordinaattien käsittely

Maakaapeleiden kartoittamisessa kerättävät paikkatietopisteet käsitellään 3D-Win-ohjelmistolla. Ohjelmistoon voidaan tuoda kaikuluotaintallenteista muodostettu CSV-tiedosto, jolloin maakaapeleiden ja vesistökaapeleiden paikkatietopisteet on mahdollista yhdistää. Yhdistämisen jälkeen paikkatiedot voidaan viedä verkkotietojärjestelmään.

Ennen pisteiden yhdistämistä vesistökaapeleiden paikkatietopisteitä tulee muokata. CSV-tiedostosta tuodut pisteet ovat WGS84-koordinaattijärjestelmän mukaisia koordinaatteja, joten koordinaattijärjestelmä tulee muuttaa. Koordinaattijärjestelmää voidaan muuttaa automaattisesti formaattimuuntimen avulla, jolloin koordinaatit saadaan EUREF-TM35FIN-järjestelmän mukaisiksi.

SonarTRX-ohjelmistosta tuotu CSV-tiedosto sisältää GNSS-antennin asennuskorkeuden suhteen kompensoidut z-koordinaatit, jotka voidaan viedä N2000-korkeusjärjestelmän mukaisiksi koordinaateiksi. Kaapelin z-koordinaatti on mahdollista ilmoittaa vähentämällä luodattu vesistönsyvyys kompensoidusta z-koordinaatista.

4 POHDINTA

Ennen vesistökaapeleiden kartoituksen aloittamista pitää harkita uudelleen, kuinka paljon kartoituslaitteistoa tullaan hyödyntämään tulevaisuudessa. Laitteiston tulevan käytöntarpeen avulla pystytään määrittämään tarkka budjetti. Tarkan käyttötarpeen ja budjetin avulla on mahdollista hankkia käyttöön sopiva kartoituslaitteisto.

Ammattikäyttöön tarkoitettujen luotainantureiden tarkkuutta ja soveltamista on testattava käytännössä. Monikeilaluotaimella tehtävässä kartoituksessa luodattaessa pohjaa kaapelin suuntaisesti monikeilaluotaimen tarkkuus voi aiheuttaa ongelmia kaapelin havaitsemisessa. Monikeilaluotainten suuren korkeussuuntaisen tarkkuuden ansiosta kaapeleita on mahdollista kartoittaa luotaamalla poikittaissuuntaisesti kaapeliin nähden. Tällä tavalla luodattaessa kaapelin luoma korkeussuuntainen vaihtelu on mahdollista erottaa luotausmateriaalista helpommin.

Viistokaikuluotaimen käyttämisessä on harkittava hinattavan ja kiinteästi asennettavien antureiden hyötyjä ja haittoja sekä varmistua kuinka paljon kuvat ovat vääristyneitä. Kiinteästi asennettavan viistokaikuluotaimen resoluution tarkkuuden heikkeneminen, kun luodataan syvässä vesistössä, pitää selvittää. Kiinteästi asennettavat anturit on mahdollista kiinnittää tankoon, joka mahdollistaa luotainturin upottamisen syvemmälle. Tutkimuksissa ei oteta kantaa luotainturin luomien vääristymien suuruuteen, kun vesistöpohja on kalteva tai korkeus vaihtelu on suurta. Viistokaikuluotaimen käyttäminen vesistökaapeleiden kartoittamisessa lisää myös tarvittavien luotainantureiden määrää, koska viistokaikuluotaimen avulla ei pystytä määrittämään kaapelin asennussyvyyttä.

Päädyttäessä kalastuksessa käytettävien antureiden käyttämiseen pitää testata antureita ja laitteistoja. Luotainantureiden realistisesta resoluutiosta saatava tieto vaihtelee eri tietolähteissä sekä käyttäjäkokemuksissa. Tämän takia laitteiston soveltaminen kyseisessä käyttötarkoituksessa ja käyttökohteissa voidaan varmistaa vain testaamalla. Testauksessa pitää selvittää luotainantureiden todellinen resoluutio, mahdolliset vääristymät sekä georeferoinnin tarkkuus. Luotainturit on mahdollista asentaa ammattikäyttöön tarkoitettujen luotainantureiden tapaisesti tankoon, joka mahdollistaa luotainturin upottamisen syvemmälle.

Kompensoinnissa käytettävien antureiden tarpeellisuutta on arvioitava. Kartoittaminen on mahdollista ajoittaa siten, että veden pinta on mahdollisimman tyyni. Tällöin aallokon aiheuttamat aluksen heilahtelut ja vääristymät on minimoitu. Antureiden avulla tehtävän kompensoinnin tuoma lisähyöty jää minimaaliseksi, koska määräyksessä M71 määritetty kartoituksen tarkkuuden virhemarginaali on suhteellisen suuri. Luotainantureiden vääristymiä on mahdollista kompensoida luotaamalla kaapeli useaan kertaan eri puolilta.

Valmiiden laitteistojen käyttämisen lisäksi on mahdollista kehittää luotaukseen tarkoitettu miehittämätön alus, joka vastaa vaadittuja ominaisuuksia. Vaadittuihin ominaisuuksiin on mahdollista lisätä muun muassa vian etsintään tarkoitettuja komponentteja. Kehitystyöllä on mahdollista leikata kustannuksia ammattikäyttöön tarkoitettujen alusten hintaan verrattuna sekä lisätä kalastuksessa käytettävien laitteistojen tarkkuutta muun muassa karttaplotterin luomien rajoitusten osalta.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia mahdollisia menetelmiä vesistökaapeleiden kartoituksessa sekä tuottaa suuntaa antava aineisto mahdollisista tavoista, joilla vesistökaapeleiden kartoittamista voidaan toteuttaa tilaajayrityksen toimesta. Kartoittamisen kehittämisessä tavoitteena on miehittämättömällä aluksella suoritettava kartoittaminen, joka huomioitiin opinnäytetyön tutkimustuloksissa.

Työn tekemisessä haastavuutta toi kaikuluotainlaitteistojen ja miehittämättömien aluksien ominaisuuksien tutkiminen sekä kalastuksessa käytettävien kaikuluotaimien hyödyntäminen kartoittamisessa. Kaikuluotainlaitteistoista ja miehittämättömistä aluksista saatava tieto on rajallista ja painotuu myynti-ilmoituksissa esiin tuotuihin ominaisuuksiin. Myynti-ilmoituksissa esiin tuodut ominaisuudet ovat pääsääntöisesti luotu mahdollisimman positiivisen ja laadukkaan kuvan antamiseksi. Tämän vuoksi laitteiston todellisen sopivuuden arvioiminen kyseisessä käyttötarkoituksessa on haasteellista.

Kalastuksessa käytettävien kaikuluotaimien hyödyntäminen vesistökaapeleiden kartoittamisessa oli ammattikäyttöön tarkoitettuja laitteistoja haasteellisempää. Antureista saatava tieto perustuu pääasiallisesti käyttäjäkokemuksiin, joten todellisesta tarkkuudesta ei ole saatavilla tarkkaa tietoa. Kalastuksessa käytettävien luotainlaitteistojen paikannuksen tarkkuus ja georeferoinnin suorittaminen muodostuivat työn aikana haasteellisiksi toteuttaa yksinkertaisella ratkaisulla.

Kokonaisuudessaan työn toteutus sujui hyvin ja aikataulun mukaisesti. Jatkokehitysideana on tutkia käyttötarkoitukseen sopivin luotainanturi ja siihen liitettävä laitteisto. Luotainanturin tutkimisessa tulee selvittää, rajoittaako jokin luotainanturi vesistökaapeleiden kartoittamisen tarkkuutta yli sallittujen rajojen. Kalastuksessa käytettävien luotainlaitteistojen GNSS-järjestelmän tarkkuus ja georeferoinnin tarkkuus täytyy myös selvittää.

6 LÄHDELUETTELO

- Baird, C. S. (12. 11. 2013). *How does sound going slower in water make it hard to talk to someone underwater.* Haettu 15. 2. 2023 osoitteesta <https://www.wtamu.edu/~cbaird/sq/2013/11/12/how-does-sound-going-slower-in-water-make-it-hard-to-talk-to-someone-underwater/>
- Biobasemaps. (3. 1. 2019). *Networking 3rd Party GPS/GNSS into Lowrance.* Haettu 30. 1. 2023 osoitteesta <https://blog.biobasemaps.com/2019/01/03/networking-3rd-party-gps-gnss-into-lowrance/>
- biobasemaps. (8. 1. 2023). *What Sonar Do I Need for BioBase Mapping? – Updated.* Haettu 20. 2. 2023 osoitteesta <https://blog.biobasemaps.com/2023/01/08/what-sonar-do-i-need-for-biobase-mapping/>
- C.H. Smith Marine. (ei pvm). *Side Imaging.* Haettu 4. 3. 2023 osoitteesta <https://chsmith.com.au/Wiki/Side-Imaging.html>
- Cadden. (ei pvm). *Unmanned Surface Vehicle USV100.* Haettu 10. 2. 2023 osoitteesta <https://www.cadden.fr/en/geod/autonomous-marine-drone-bali-usv100/>
- CHCNAV a. (ei pvm). *HydroSurvey Software.* Haettu 7. 2. 2023 osoitteesta <https://chcnav.com/product-detail/hydrosurvey-software>
- CHCNAV b. (ei pvm). *Apache4 USV.* Haettu 10. 2. 2023 osoitteesta <https://chcnav.com/product-detail/apache4-usv>
- Cobra, D. T.;Oppenheim, A. V.;& Jaffe, J. S. (8. 1992). Geometric distortions in side-scan sonar images: a procedure for their estimation and correction. Haettu 23. 2. 2023 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/3230739_Geometric_distortions_in_side-scan_sonar_images_a_procedure_for_their_estimation_and_correction
- Colibri, T. (20. 1. 2023). *Totalscan - HDI - LSS - 3D - What?* Haettu 4. 2. 2023 osoitteesta <https://teamcolibri.blogspot.com/2017/02/totalscan-hdi-lss-3d-what.html?m=0>
- Deeper. (ei pvm). *How sonars Work.* Haettu 15. 2. 2023 osoitteesta https://deepersonar.com/us/en_us/how-it-works/how-sonars-work
- Dhabban, A. (22. 12. 2020). *SideScan Sonar.* Haettu 19. 2. 2023 osoitteesta <https://grabcad.com/tutorials/sidescan-sonar>
- EdgeTech. (2007). *Application Note: Sidescan Sonar Range.* Haettu 2. 3. 2023 osoitteesta https://www.edgetech.com/wp-content/uploads/2019/07/app_note_range.pdf
- Elvera Oy. (ei pvm). *Esitteemme.* Haettu 20. 2. 2023 osoitteesta https://www.esitteemme.fi/elvera_oy/WebView/
- Elvera Oy. (14. 5. 2020). *Elvera Oy on ostanut Vaasan Sähköön tytäryhtiö Raveran.* Haettu 20. 2. 2023 osoitteesta <https://www.elvera.fi/fi/ajankohtaista/elvera-oy-ostanut-vaasan-s%C3%A4hk%C3%B6n-tyt%C3%A4ryhti%C3%B6-raveran>
- eye4software. (ei pvm). *Humminbird sidescan data import.* Haettu 7. 2. 2023 osoitteesta <https://www.eye4software.com/hydromagic/documentation/manual/sidescan-sonar/import-sidescan-humminbird/>

- Flowers, H. J.; & Hightower, J. E. (9. 2013). *A Novel Approach to Surveying Sturgeon Using Side-Scan Sonar and Occupancy Modeling*. Haettu 19. 2. 2023 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/267896710_A_Novel_Approach_to_Surveying_Sturgeon_Using_Side-Scan_Sonar_and_Occupancy_Modeling
- Garmin a. (ei pvm). *Recording Sonar Data with a Garmin Marine Device*. Haettu 7. 2. 2023 osoitteesta <https://support.garmin.com/en-US/?faq=28FiszKefp6WDJredHQF9>
- Garmin b. (ei pvm). *GPS Heading and Heading on a Garmin Marine Device*. Haettu 16. 2. 2023 osoitteesta <https://support.garmin.com/en-US/?faq=kmZQtYAFUS32zpC08OIIcA>
- Geo-matching a. (ei pvm). *Stonex Nemo110 USV*. Haettu 18. 2. 2023 osoitteesta <https://geo-matching.com/usvs-unmanned-surface-vehicles/nemo110-usv>
- Geo-matching b. (ei pvm). *EvoLogics SONOBOT 5 USV*. Haettu 10. 2. 2023 osoitteesta <https://www.cadden.fr/en/geod/autonomous-marine-drone-bali-usv100/>
- Geo-matching c. (ei pvm). *R2sonic Sonic 2020*. Haettu 2. 3. 2023 osoitteesta <https://geo-matching.com/multibeam-echosounders/sonic-2020>
- Geo-matching d. (ei pvm). *R2sonic Sonic 2022*. Haettu 2. 3. 2023 osoitteesta <https://geo-matching.com/multibeam-echosounders/sonic-2022>
- Geo-matching e. (ei pvm). *Ping DSP 3DSS-DX*. Haettu 4. 2. 2023 osoitteesta <https://geo-matching.com/sidescan-sonars/3dss-dx>
- Global GPS Systems. (ei pvm). *IMU-based RTK helps improve your work efficiency*. Haettu 18. 2. 2023 osoitteesta <https://globalgpsystems.com/gnss/imu-based-rtk-helps-improve-your-work-efficiency/>
- hakan. (6. 2016). *BEST SONAR UNIT WHICH BRAND/MODEL*. Haettu 4. 2. 2023 osoitteesta <https://reefmaster.com.au/index.php/forum/support/1119-best-sonar-unit-which-brand-model?start=12>
- Helminen, J.; Linnansaari, T.; Bruce, M.; Dolson-Edge, R.; & Curry, R. A. (17. 7 2017). *Accuracy and Precision of Low-Cost Echosounder and Automated Data Processing Software for Habitat Mapping in a Large River*. Haettu 23. 2. 2023 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/334607284_Accuracy_and_Precision_of_Low-Cost_Echosounder_and_Automated_Data_Processing_Software_for_Habitat_Mapping_in_a_Large_River
- Hi-Target. (ei pvm). *iBoat BS3 USV*. Haettu 10. 2. 2023 osoitteesta <https://en.hi-target.com.cn/iboat-bs3-usv>
- Humminbird. (ei pvm). *Transom transducer installation guide*. Haettu 17. 2. 2023 osoitteesta https://humminbird.johnsonoutdoors.com/sites/johnsonoutdoors-store/files/assets/misc/HU/H/HUM_productmanual_IG_XNT_PKU_532314/HUM_productmanual_IG_XNT_PKU_532314.pdf
- Hydro-tech Marine. (ei pvm). *Product Catalogue*. Haettu 10. 2. 2023 osoitteesta <https://www.hydro-international.com/files/cc0198d4eb17e563926e5afedfc6e647.pdf>

- Hydro-tech Marine. (ei pvm). Hydro-Tech SS3060/SS4090 Dual Frequency Side Scan Sonar. Haettu 2. 3. 2023 osoitteesta <https://geo-matching.com/uploads/default/h/y/hydro-tech-ss3060-leaflet.pdf>
- Ilmatieteenlaitos. (5. 10. 2021). *Keskivesitaulukot*. Haettu 11. 1. 2023 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/keskivesitaulukot>
- Itämeri.fi. (ei pvm). *Kaikuluotaus kuvaa merenpohjaa*. Haettu 15. 1. 2023 osoitteesta https://www.ostersjon.fi/fi-FI/Tutkimus_ja_menetelmat/Menetelmat/Kaikuluotaus
- Kankare, P. (20. 5 2013). *Luotausmenetelmät ja -laitteet maailmalla*. Haettu 16. 2. 2023 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/60330/Kankare_Petteri.pdf;jsessionid=C724689969FE7BF A242A1E5CBDA84337?sequence=1
- Kinnunen, J. (11. 8. 2020). *Rasterit kohdalle- georeferointi helposti QGIS-sovelluksella*. Haettu 31. 1 2023 osoitteesta <https://www.paikkatietomies.fi/rasterit-kohdalleen-georeferointi-helposti-qgis-sovelluksella/>
- L-3 Communications SeaBeam Instruments. (ei pvm). *Multibeam sonar theory of operation*. Haettu 10. 2. 2023 osoitteesta <https://www3.mbari.org/data/mbsystem/sonarfunction/SeaBeamMultibeamTheoryOperation.pdf>
- Lowrance & Simrad. (ei pvm). *Active Imaging transducers Asennusohje*. Haettu 25. 1. 2023 osoitteesta https://softwaredownloads.navico.com/Simrad/SimradYachting_Software%20-%20Copy/Downloads/documents/Active-Imaging-transducer_IM_FI_988-12312-001_w.pdf
- Lowrance a. (ei pvm). *HDS Live Käyttäjän ohjekirja*. Haettu 7. 2. 2023 osoitteesta <https://www.marinea.fi/files/products/HDS-Live-OM-FI-988-12066-001-w.pdf>
- Lowrance b. (ei pvm). *Why use Genesis Live on your C-MAP chart*. Haettu 25. 1. 2023 osoitteesta <https://www.lowrance.com/fi-fi/news--videos/blog-why-use-genesis/>
- Maanmittauslaitos a. (ei pvm). *Satelliittipaikannus*. Haettu 11. 1. 2023 osoitteesta <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus>
- Maanmittauslaitos b. (ei pvm). *N2000 Valtakunnallinen korkeusjärjestelmä*. Haettu 11. 1. 2023 osoitteesta https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/N2000_Valtakunnallinen_korkeusjarjestelma.pdf
- Mackay. (ei pvm). Simrad HS60 / HS70/ HS80A Satellite Compass. Haettu 20. 2. 2023 osoitteesta <https://www.mackaycomm.com/products/navigation/satellitecompass/simrad-hs60-hs-70-hs80a/>
- Marinea a. (ei pvm). *Lowrance/Simrad StructureScan 3D moduli peräpeilianturilla*. Haettu 6. 2. 2023 osoitteesta <https://www.marinea.fi/lowrance-structurescan-3d-moduli-perapeilianturilla>
- Marinea b. (ei pvm). *Lowrance S3100 luotainmoduuli*. Haettu 4. 2. 2023 osoitteesta <https://www.marinea.fi/lowrance-s3100-luotainmoduuli>
- Matt. (2021). Keskustelualue. Haettu 10. 2. 2023 osoitteesta <https://reefmaster.com.au/index.php/forum/feature-requests/2423-what-about-rm-3>
- Novatron Oy. (1. 12. 2020). *3D-Win perusohje*. Haettu 16. 2. 2023 osoitteesta <https://3dwin.fi/download/155/>

- Novatron Oy. (ei pvm). Ohjelmistot. Haettu 11. 1. 2023 osoitteesta <https://3dwin.fi/ohjelmisto/>
- Ocean explorer a. (ei pvm). *Side-Scan sonar*. Haettu 13. 1. 2023 osoitteesta <https://oceanexplorer.noaa.gov/technology/sonar/side-scan.html>
- Ocean explorer b. (ei pvm). *How multibeam sonar works*. Haettu 14. 2. 2023 osoitteesta <https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/09bermuda/background/multibeam/multibeam.html>
- Oktavia, R. N.;Pratomo, D. G.;& Khomsin. (2021). *Analysis of angular resolution and range resolution on multibeam echosounder R2 Sonic 2020 in Port of Tanjung Perak (Surabaya)*. Haettu 4. 2. 2023 osoitteesta <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/731/1/012032/pdf>
- Posimo Oy. (ei pvm). *Apache 3 - robottivene*. Haettu 18. 2. 2023 osoitteesta <https://posimo.fi/apache-3-robottivene/>
- Poutanen, M. (2016). *Satelliittipaikannus*. Ursa.
- Qinsy. (ei pvm). *How to calibrate multibeam Echosounder*. Haettu 7. 2. 2023 osoitteesta <https://confluence.qps.nl/qinsy/latest/how-to-calibrate-a-multibeam-echosounder-patch-test-256676052.html>
- R2sonic a. (ei pvm). *Integrated Solution: Multibeam Echosounders & IMU & SV Probe*. Haettu 18. 2. 2023 osoitteesta <https://www.r2sonic.com/wp-content/uploads/2020/10/spec-sheet-integrated-sonic-2020.pdf>
- R2sonic b. (ei pvm). *5 main differences between multibeam and interferometric side scan sonars*. Haettu 19. 2. 2023 osoitteesta <https://www.r2sonic.com/interferometric-side-scan-sonar-vs-mbes/>
- Reefmaster a. (ei pvm). *Reefmaster*. Haettu 7. 2. 2023 osoitteesta <https://reefmaster.com.au/index.php/products/reefmaster>
- Reefmaster b. (ei pvm). *Collecting Track Log Data on your GPS unit*. Haettu 7. 2. 2023 osoitteesta <https://reefmaster.com.au/reference/index.htm?context=350>
- Rejlers. (15. 1. 2021). *Rejlers kertoo, mistä maahan kaivettu kaapeli löytyy*. Haettu 11. 1. 2023 osoitteesta <https://www.rejlers.fi/Uutiset/rejlers-kertoo-mista-maahan-kaivettu-kaapeli-loytyy/>
- Ruoto Oy a. (ei pvm). *Lowrance HDS Live 9*. Haettu 25. 1. 2023 osoitteesta <https://www.ruoto.fi/fi/veneily/lowrance-hds-live-9/p/9420024171912/>
- Ruoto Oy b. (ei pvm). *Lowrance active Imaging 3-in1 transducer*. Haettu 4. 2. 2023 osoitteesta <https://www.ruoto.fi/fi/veneily/lowrance-active-imaging-3-in1-transducer/p/503512468/>
- Ruoto Oy c. (ei pvm). *Humminbird Helix 7 chirp Mega SI GPS 4*. Haettu 4. 2. 2023 osoitteesta <https://www.ruoto.fi/fi/veneily/humminbird-helix-7-chirp-mega-si-gps-g4/p/7332467308560/>
- Ruoto Oy d. (ei pvm). *Garmin GT56UHD-TM*. Haettu 4. 2. 2023 osoitteesta https://www.ruoto.fi/fi/veneily/garmin-gt56uhd-tm-viistokaikuanturi/p/0753759269302/?gclid=EAIaIQobChMIoLyiyLP8_AIVzpBoCR2xSwMwEAQYASABEgJghvD_BwE

- SimpleUnmanned a. (ei pvm). *Lowrance Elite 7Ti2*. Haettu 6. 2. 2023 osoitteesta <https://simpleunmanned.com/products/lowrance-elite-7ti2>
- SimpleUnmanned b. (ei pvm). *HarborScout 55i*. Haettu 10. 2. 2023 osoitteesta <https://simpleunmanned.com/products/harborscout-55i>
- SingularXYZ Intelligent Technology Ltd. (ei pvm). *Which is Better Among Static Survey, RTK or PPK?* Haettu 5. 3. 2023 osoitteesta <https://geo-matching.com/content/which-is-better-among-static-survey-rtk-or-ppk#modules-container>
- Skydata Oy. (11. 8. 2020). *Vedenalaiset dronet eli ROV laitteet*. Haettu 26. 1. 2023 osoitteesta <https://www.skydata.fi/post/vedenalaiset-dronet-eli-rov-laitteet>
- SonarTRX. (2. 2022). *Feature Matrix - SonarTRX Sidescan sonar processing software*. Haettu 30. 1. 2023 osoitteesta <https://leiwestusstatic01.z22.web.core.windows.net/sonartrx/documents/SonarTRX-Feature-Matrix.pdf>
- SonarTRX a. (ei pvm). *SonarTRX FAQ*. Haettu 7. 2. 2023 osoitteesta <https://www.sonartrx.com/faq>
- SonarTRX b. (ei pvm). *Introduction*. Haettu 30. 1. 2023 osoitteesta <https://www.sonartrx.com/>
- SonarTRX c. (ei pvm). *SonarTRX Tutorials and PlusPack use cases*. Haettu 30. 1. 2023 osoitteesta <https://www.sonartrx.com/tutorials>
- South Group. (29. 4. 2021). *SOUTH MULTI-BEAM ECHO SOUNDER T200*. Haettu 5. 3. 2023 osoitteesta <https://www.southinstrument.com/company/details/id/444.html>
- Stonex. (ei pvm). *Nemo110*. Haettu 10. 2. 2023 osoitteesta <https://www.stonex.it/project/nemo110-usv/>
- STT Info. (29. 4. 2022). *Elvera Oy:n toimitusjohtajaksi valittu Ilari Jaakkola*. Haettu 20. 2. 2023 osoitteesta <https://www.sttinfo.fi/tiedote/elvera-oy-n-toimitusjohtajaksi-valittu-ilari-jaakkola?publisherId=69817667&releaseId=69939733&lang=fi>
- support@sonartrx.com. (10. 2. 2023). *Sähköpostikeskustelu*. Haettu 16. 2. 2023
- Tikkanen, I. (2021). *Sähköverkon kartoituksen nykytila ja kehittäminen*. Haettu 20. 2. 2023
- Traficom. (27. 9. 2022). *Määräys verkkotietojen ja verkon rakentamissuunnitelmien toimittamisesta*. Haettu 11. 1. 2023 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/480001/48538>
- Wingtra. (16. 1. 2020). *What's the difference between PPK and RTK drones, and which one is better?* Haettu 19. 2. 2023 osoitteesta <https://wingtra.com/ppk-drones-vs-rtk-drones/>