

Matias Kotala

Syvyysluotausprosessin toteutus sisävesillä

Syvyysluotausprosessin toteutus sisävesillä

Matias Kotala
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, yhdyskuntatekniikka

Tekijä(t): Matias Kotala

Opinnäytetyön nimi: Syvyysluotausprosessin toteutus sisävesillä

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Depth sounding process in inland waters

Työn ohjaaja(t): Jere Kangas + Olli Utriainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 41 +11

Vesistön pohjan syvyysluotaaminen on olennainen osa vesistötutkimuksia, joissa tutkitaan vesistön tilaa sekä siellä tapahtuvia muutoksia. Syvyysluotausta tarvitaan suunnittelun tueksi vesistörakentamisessa. Syvyysluotausten avulla pystytään suunnittelemaan rakennuskohteita tarkasti vastaamaan todellisuutta ja tekemään virtausmalleja, joita tarvitaan erilaisissa suunnitelmissa kuten tulvamallinnuksissa, vesistön hallinnassa ja suunnittelussa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia ohjeistus syvyysluotaustiedon hankinnasta Maveplan Oy:lle. Tarkoituksena oli myös löytää yhteinen toimintatapa luotaustiedon hankintaa ja sen käsittelyyn. Ohjeistuksen tavoitteena oli parantaa luotaustiedon hankintaprosessia sekä lisätä luotauksen tehokkuutta ja laatutasoa.

Opinnäytetyössä perehdytään luotaukseen, erilaisiin luotausympäristöihin ja luotaimiin, luotainten heikkouksiin ja etuihin. Luotausprosessiin perehdytään suorittamalla luotaukset Ivalo- ja Jalasjoella. Luotauksesta saadun aineiston käsittelyprosessiin tutustutaan suorittamalla aineiston käsitteilyt myös kyseisillä joilla.

Opinnäytetyön tuloksen saatiin kaksi laatuasiakirjaa Maveplan Oy:n käyttöön. Niihin koottiin ohjeet luotaus- ja käsittelyprosessien suoritukseen. Asiakirjat yhtenäistävät työtapoja toimeksiantaja yrityksessä.

Asiasanat: Syvyysluotaus, kartoitus, vesistörakentaminen

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering, Option of Municipal Engineering

Author(s): Matias Kotala
Title of thesis: Depth Sounding Process in Inland Waters
Supervisor(s): Jere Kangas
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024
Number of pages: 41 + 11 appendices

Depth sounding is an essential part of aquatic research, aimed to research the condition of bottom topography and changes occurring at the bottom. Depth soundings are necessary to support planning in aquatic construction projects. Through depth soundings, it becomes possible to accurately design structures to meet reality and create flow models essential for various plans.

The purpose of the thesis was to develop guidelines for acquiring depth sounding data for Maveplan Oy. The thesis is aimed to establish a common approach to obtaining and processing sounding data. The goal of the guidelines was to improve the process of acquiring sounding data, enhance its efficiency, and elevate the quality of sounding measurements.

The thesis explores depth sounding, different sounding environments and depth sounders, as well as weaknesses and advantages of different kinds of sounders. The sounding process is familiarized with by conducting depth soundings in Ivalo and Jalasjoki rivers. The processing of the sounding data is also familiarized with by conducting data processing data from these soundings.

As a result of the thesis two quality documents have been made for the use of Maveplan Oy. They contain instructions for performing depth sounding and data processing. The documents standardize the working methods within the commissioning company.

Keywords: Sounding, surveying, aquatic construction

ALKULAUSE

Kiitos Maveplan Oy:lle opinnäytetyö toimeksiannosta. Erityisesti haluan kiittää Maveplan Oy:n toimitusjohtajaa Olli Utriaista opinnäytetyön ohjaamisesta sekä projektipäällikkö Markus Niemelää perehdyttämisestä luotausprosessiin.

Kiitokset Oulun ammattikorkeakoulun lehtorille Jere Kankaalle opinnäytetyön ohjaamisesta.

Oulussa 8.5.2024

Matias Kotala

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	SYVYYSLUOTAIMET JA LUOTAUSPROSESSI.....	9
2.1	Syvyysluotaaminen	10
2.2	Satelliittimittauksen periaatteet.....	11
2.3	Tarkkuusvaatimukset luotaustyössä.....	12
2.4	Luotaimen valitseminen.....	13
2.4.1	Ympäristön vaikutus kaluston valintaan	13
2.4.2	Työtilauksen vaikutus luotaimen valintaan.....	14
2.4.3	Yksipistekaikuluotain.....	14
2.4.4	Viistokaikuluotain	16
2.4.5	Monikeilainkaikuluotain	17
2.5	Mittaussuunnitelma luotausaineiston keräämiseen	19
2.5.1	Mittaussuunnitelma tulvamallinnukseen.....	20
2.5.2	Mittaussuunnitelma järvien syvyysluotaukseen.....	24
2.6	Luotausaineiston käsittely	25
2.6.1	Luotausdatan erottelu	25
2.6.2	Mittavirheiden poisto	27
2.7	Turvallisuus luotaustyössä	29
2.7.1	Turvallisuus sekä varusteet.....	29
2.7.2	Sää- ja ympäristöolosuhteiden huomiointi.....	29
3	HYDROLOGISTEN MITTAUSTEN SUORITTAMINEN	31
3.1	Linjaluotaus Ivalojoella	31
3.2	Linjaluotaus Jalasjoella.....	34
3.3	Luotauksien käsittely	35
3.4	Luotausasiakirjojen tuottaminen	36
4	POHDINTA	37
	LÄHTEET.....	39
	LIITTEET	41

SANASTO

Hydrologiset mittaukset	mittaukset, joilla määritetään veden määrään virtaukseen laatuun ja muihin vesivaroihin tai vesistöihin liittyviä parametrejä
IHO S-44 5th edition	Kansainvälisen Hydrografisen Järjestön julkaisema standardin viides painos, joka määrittelee vaatimukset navigointikarttojen käytölle ja laatimiselle
Inertianavigointijärjestelmä	navigointijärjestelmä, joka hyödyntää kiihtyvyyssantureita ja gyro-skooppeja paikan mittaamiseen
Luotauspeitto	luotausalueen kattavuus, laajuus ja tarkkuus. Luotauspeitto ilmaisee luodattavan alueen havaintoväliä
Mittausvirhe	mittausprosessissa tapahtuva virhe, joka poikkeaa todellisesta arvosta
Pohjatopografia	vesistön pohjan muoto tai muodot
Raakadata	mittausdatatiedot sellaisenaan, ennen niiden käsittelyä ja suodattamista
Satelliittimittaus GNSS/INS	satelliittipaikannusjärjestelmä, joka hyödyntää GPS-satelliitteja sekä inertianavigointijärjestelmää parantamaan tarkkuutta
Tulvamallinnus	prosessi, jossa simuloidaan tulvia ja määritellään niiden vaikutuksia
Virhemarginaali	mittauksen epätarkkuuden sallittu vaihtelu
Virtaama	vesimassan liikkeen määrä tietyssä ajassa

1 JOHDANTO

Syvyysluotaus on tärkeä osa erilaisia vesistöhankeita. Syvyysluotauksen avulla saadaan tietoa ympäristön vallitsevasta tilasta, mikä auttaa vesistökohteen suunnittelussa ja toteutuksessa. Syvyysluotauksen avulla saadaan tietoa virtaamasta sekä pohjan topografiasta. Syvyysluotaus tarkoittaa vesistöjen pohjan muotojen ja korkojen kartoitusta. Syvyysluotaukset ovat ensimmäisiä vaiheita vesistöhankeiden toteutuksessa. Vesistön kartoitus antaa hyvät lähtökohdat vesistöhankeiden turvalliselle ja laadukkaalle suunnittelulle sekä toteutukselle.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on Maveplan Oy. Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä, dokumentoida ja toteuttaa syvyysluotausmittauksen tutkimusprosessi toimeksiantajayrityksessä. Luotaimen ominaisuuksia tutkitaan eri ympäristöissä ja käyttötarkoituksissa. Luotaimen käyttötarkeoituksiin sekä luodattavaan ympäristöön tutustutaan suorittamalla luotauksia erilaisissa kohteissa.

Luotausprosessista saadaan käytännön kokemusta suorittamalla luotauksia Ivalo- ja Jalasjoella. Luotausprosessin kehittämiseen saadaan ideoita sekä suoritettujen projektien aikana että alalla käytettävästä kalustosta. Luotausprosessin aikana huomataan käytettävän luotauslaitteiston kyvyt ja pohditaan parannuksia laitteisiin. Syvyysluotauksessa tutustutaan luotaukseen tulvamallinnuksen ja järvien syvyysluotauksen näkökulmasta.

Aluksi perehdytään luotausprosessissa käytettäviin luotaimiin, ympäristön ja tilauksenvaikutuksiin luotaimen valinnassa sekä syvyysluotauksen suorittamiseen. Tämän jälkeen perehdytään mittauksista saatujen aineistojen käsittelyyn. Lisäksi työssä laadittiin luotaustyön tekemisen ja luotausdatan käsittelyn tehostamiseen sekä toiminnan yhdenmukaistamiseen liittyvät asiakirjat toimeksiantajayrityksen käyttöön.

2 SYVYYSLUOTAIMET JA LUOTAUSPROSESSI

Vesistöjen tärkeys on ollut huomattava Suomen kehityksen kannalta. Vesistöjä on käytetty kulkuväylinä helpottamaan tavaran sekä ihmisten kulkua jo varhain Suomessa. Hydrologisten mittausten tärkeys Suomessa johtuu vesistöjen runsaudesta ja niiden läheisyydestä ihmisiin. Ihmiset ovat eläneet Suomessa jokien ja järvien läheisyydessä ja tulevat elämään jatkossakin. Vesistöjen tutkiminen auttaa ymmärtämään ympärillä olevaa elinympäristöä. Elinympäristön ymmärtäminen on aina ollut tärkeä asia, jotta elinympäristö kehittyisi oikeaan suuntaan. Mittaamalla vesistöjä opitaan ymmärtämään elinympäristöä paremmin.

Vesivoiman hyödyntäminen alkoi 1200–1300-luvulla, jolloin jokivesien virtausta alettiin käyttää sekä myllyissä että sahoilla (1). Ajatus vesistöjen hallinnasta yleistyi 1500–1600-luvuilla, jolloin Suomessa alettiin rakentamaan kanavia ja kuivatusjärjestelmiä peltoviljelyn parantamiseksi. Suomessa hydrologian seuranta alkoi 1800-luvulla, jolloin vesistöjen jäätymistä, sulamista, veden korkeuksia sekä virtaamia alettiin dokumentoida (2).

Ensimmäinen järven luotaus on suoritettu Tampereen Pyhäjärvellä 1856. Luotaus suoritettiin mittaamalla käsin mitalla syvyydet luotauslinjoilta. Luotaus suoritettiin kehittyvän Sisävesiliikenteen turvallisuuden takia. Luotaus kehittyi 1980-luvun puolivälissä, jolloin alettiin hyödyntämään paikantimena takymetriä. Laitteella pystyttiin seuraamaan ja tallentamaan luotausveneeseen kulkureittiä sekä se pystyttiin yhdistämään luotaimen tuottamaan syvyystietoon. (3.)

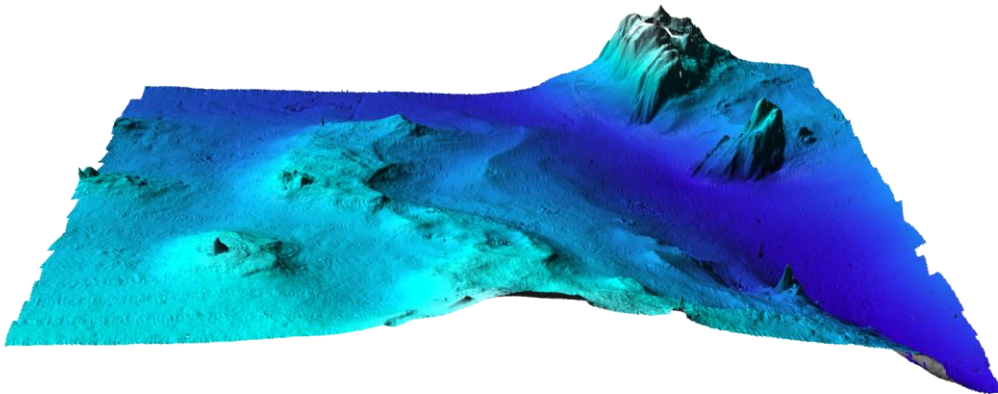
GPS-tietoja alettiin hyödyntämään luotauksessa 1990-luvun alussa. GPS-laitte mahdollisti reaaliaikaisen luotausveneeseen seurannan sekä tallentamaan luotauslinjat. GPS-laitteen paikannin vastaanotti signaaleja satelliiteilta ja laski sen perusteella paikkatiedon WGS-84-koordinaatistossa. Tällä menetelmällä päästiin 1–5 metrin paikannustarkkuuteen. (3.)

Tietokonepohjainen kartoitusjärjestelmä mahdollisti täysin digitaalisen syvyysaineiston, joka saatiin käyttöön vuonna 1995. Tämä kartoitusjärjestelmä tuotti dataa, joka sisälsi kaikki paikka- ja luotaus-tiedon hankintaan, käsittelyyn ja tallennukseen tarvittavat komponentit. Laitteessa paikannustieto saatiin ulkoiselta GPS-sensorilta sekä paikannuksessa hyödynnettiin reaaliaikaista differentiaali-

GPS-järjestelmää. GPS-data korjattiin reaaliaikaista differentiaali-GPS-järjestelmässä radiosignaalin avulla. Nykyään luotauksessa käytetty paikannusmetodi on reaaliaikainen kinemaattinen mitaus, se perustuu satelliittien lähettämään sekä GSM-verkon ja inertia-antureiden korjaamaan paikannusdataan, joka yhdistetään kaikuluotaimen tuottamaan syvyystietoon. (3.)

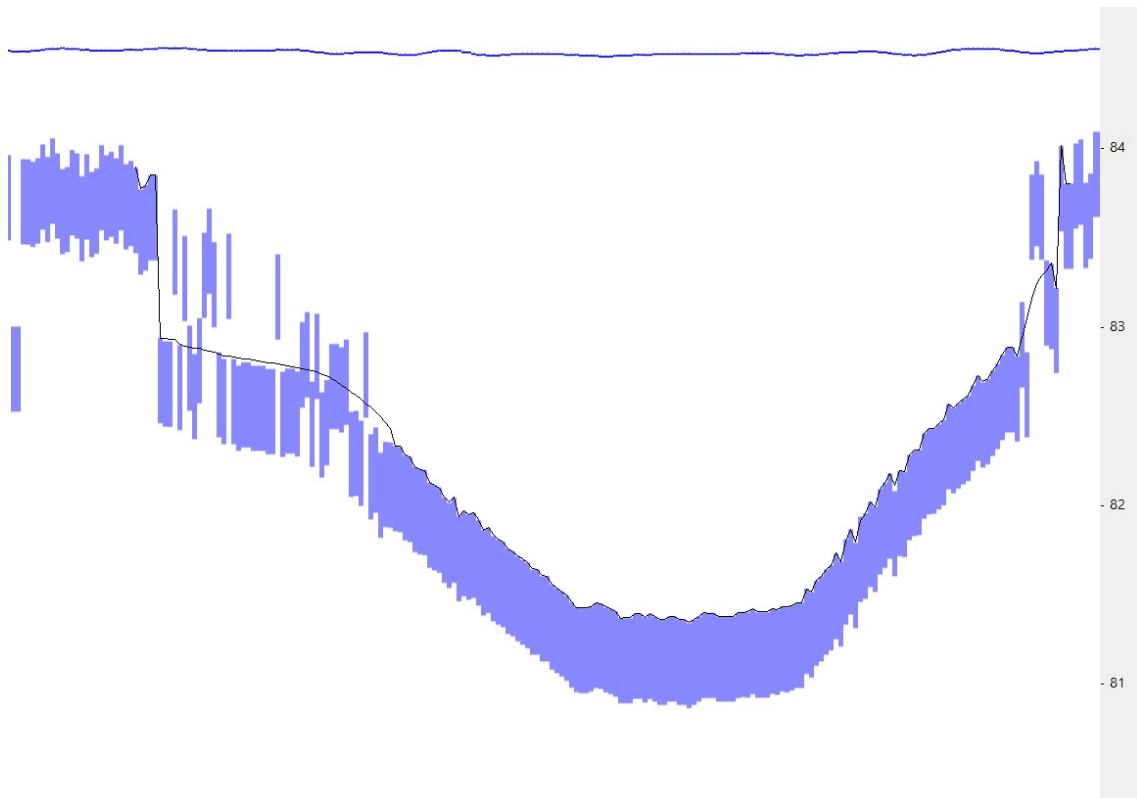
2.1 Syvyysluotaaminen

Syvyysluotauksella tarkoitetaan mittaustapahtumaa, jossa vesistön pohjatonografiaa mitataan. Syvyysluotauksessa pääasiallisesti käytettävä paikannustekniikka on satelliittimittaus GNSS/INS-mittaus. Luotauksen aikana luotain mittaa syvyyslukeman pisteestä ja satelliitivastaanotin mittaa paikantiedon, jonka jälkeen tiedot yhdistetään tietokoneella olevassa luotausohjelmistossa ja niistä muodostuu syvyystieto koordinaattipisteessä. Tietokone tallentaa mittausdatan, minkä jälkeen se on valmiina käsittelyä varten. Luotaimella pystytään tuottamaan pohjatonografiaa järvien pohjasta (kuva 1).



KUVA 1. Monikeilainkaikuluotaimella mitattua pohjatonografiaa (4)

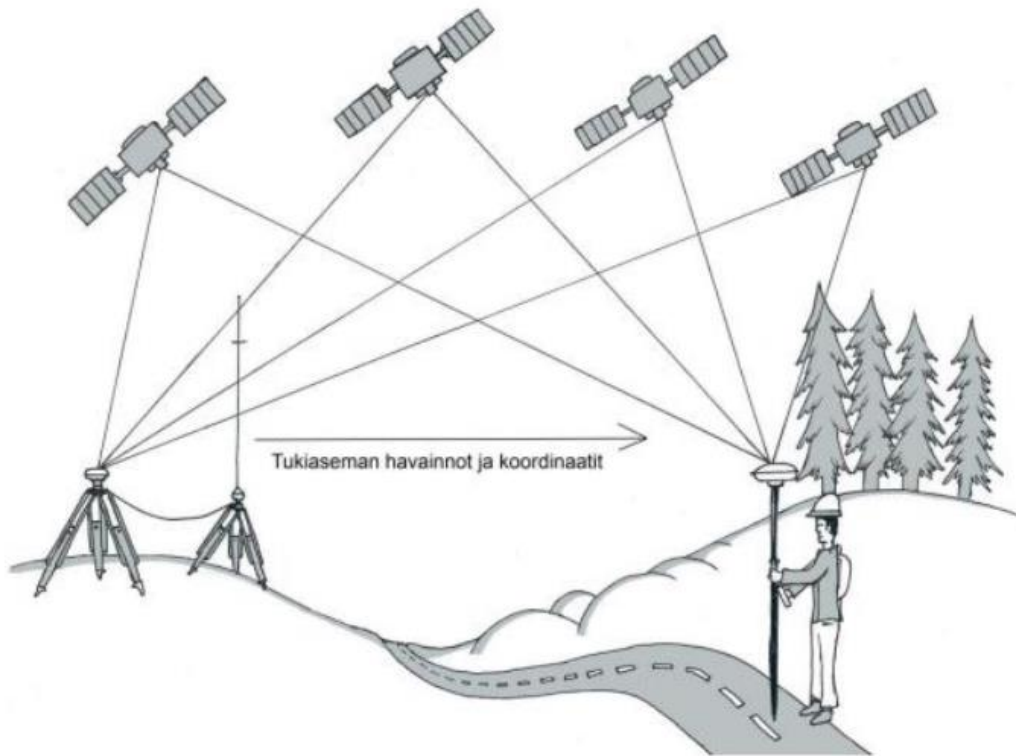
Yksipisteluotaimella pystytään tuottamaan poikkileikkauksia joen uomasta (kuva 2). Poikkileikkaus on otettu ajamalla joen poikki kohtisuorasti ylävirtaan.



KUVA 2. Poikkileikkaus mitattuna yksipisteluotaimella (5)

2.2 Satelliittimittauksen periaatteet

Satelliittipaikannus perustuu maata kiertäviin satelliitteihin, jotka lähettävät radiosignaaleja satelliittivastaanottoimeen maan pinnalle. Paikan määrittäminen perustuu radiosignaalien aikaviiveisiin, joilla lasketaan, kuinka kaukana satelliittivastaanotin on satelliiteista. Paikan määrittämiseen vaaditaan vähintään neljä satelliittia. (kuva 3) Satelliittien määrä vaikuttaa tarkkuuteen, mitä enemmän satelliitteja on sitä tarkempi paikan määrittäminen on. (6.) Satelliittipaikannuksen jälkeen paikkatieto tuodaan tietokoneella olevalle tiedonkeruuhjelmistolle, jossa se yhdistetään syvyystietoon (7).



KUVA 3. Satelliittipaikannus (6)

2.3 Tarkkuusvaatimukset luotaustyössä

Luotauksen tarkkuus määrittyy luotausdatan käyttökohteesta. Luotausdataa kerätään erilaisiin käyttökohteisiin esimerkiksi väylien, jokien, järvien ja satamien syvyyden kartoittamiseksi. Eri luotauskohteilla on kuitenkin eri tarkkuusvaatimukset. Suomen merenkulun viranomaiset käyttävät kansainvälisen merikartoitusjärjestön standardeja IHO S-44, 5th edition, niissä syvyysluotauksen luottamustasoksi on annettu 95 % kun keskihajonnan kerroin on 1,96 ja paikannuksen tarkkuusvaatimus on 95 % kun keskihajonnan kerroin on 2,45 (8). Jokien ja järvien luotauksessa käytetyt mittaustarkkuudet vaihtelevat mittaustavan sekä kohteen mukaan. Vaativimmissa luotauksissa luotauksen poikkeama saa olla 0,1 metriä + 1 % luotaussyvyydestä sekä keveimmissä luotauksissa poikkeama saa olla 0,5 metriä. (9.)

Tarkkuusvaatimukset näkyvät luotaustyössä tarkastusmittauksina, joissa mittaa käyttäen määritetään syvyys ja sitä verrataan luotaimen antamaan arvoon. Tulvamallinnuksessa tarkastusmittauksia tehdään tarkastuspoikkileikkauksien avulla. Ensin luodataan poikkileikkaus luotaimella, minkä jälkeen mitataan satelliittimittausta hyödyntäen samasta kohdasta uusi poikkileikkaus. (5.)

2.4 Luotaimen valitseminen

Syvyysluotaimen valinnassa tulee ottaa huomioon luotaintyyppien erot ja edut. Luotaimia on erilaisia ja eri hintaisia. Luotaimet eroavat toisistaan sekä ominaisuuksien että käyttötarkoitusten osalta. Lähtökohtaisesti kaiken tyyppisillä luotaimilla pystytään toteuttamaan työt, mutta maastotyöskentelyn aika lyhenee, mitä enemmän ominaisuuksia luotain omaa. Ominaisuuksien osalta luotaimet eroavat toisistaan siten, että yksinkertaisimmat luotaimet ottavat yhden mittauspisteen kerrallaan ja monimutkaisemmat luotaimet keräävät mittauspisteitä viuhkamaisesti suuremmalta alueelta (7).

Mittauspisteiden määrän lisäksi ominaisuuksia voi olla pohjamaan tai pohja sedimentin läpäisevyys, jolla saadaan tietoa pohjan maalajeista ja tiiveydestä. Monimutkaisemmista luotaimista saadaan paljon mittausdataa, jonka seurauksena aineiston käsittely kestää kauemmin. Yksipiste-luotaimen datan käsittely on yksinkertaisempaa kuin monikeilainkaikuluotaimen, koska pisteitä on vähemmän käsiteltäväksi. (7.)

2.4.1 Ympäristön vaikutus kaluston valintaan

Syvyysluotausta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon luodattavan datan tarkoitus, luotausympäristö sekä luotainta ja venettä rajoittavat tekijät. Lisäksi luotaukseen vaikuttavia tekijöitä ovat kalusto sekä sääolosuhteet. Suunnitteluvaiheessa luotausympäristöstä kannattaa tutkia luotausalueen lähtötietoja. Aluksen kokoon vaikuttavia tekijöitä on luotausympäristö ja sääolosuhteet. Luotausalueen syvyys ja leveys vaikuttavat käytettävään kalustoon kuten esimerkiksi kapeissa joissa ei mahdu liikkumaan isolla veneellä sekä veneen syväys vaikuttaa siihen, kuinka matalaa aluetta pystytään

luotaamaan. Aaltojen vaikutus pienenee aluksen koon suurentuessa, mikä vähentää häiriöitä mitauksessa. (7.) Aluksen suuri koko ei ole aina hyvä asia.

Jokien luotauksessa aluksen koko on erittäin merkittävässä asemassa. Jokien luotaamisessa on kannattavaa käyttää pienehköjä aluksia, jotta joessa olisi tilaa käännellä venettä. Matalissa koh-teissa on kannattavaa käyttää matalan syvyyksen omaavaa alusta, jotta luotaus pystytään suorittamaan mahdollisimman mutkattomasti (7).

Järvien luotauksessa aluksen koko on riippuvainen järven syvyydestä sekä koosta. Matalissa jär-vissä kannattaa käyttää pienehköä luotausalusta, joka omaa pienen syvyyksen. Syvemmissä jär-vissä kannattaa käyttää suurempaa alusta, jotta aaltojen vaikutus luotausdataan olisi mahdollisim-man vähäinen. Varsinkin isolla järven selillä aallot voivat kasvaa suuriksi, joten on turvallisuuden kannalta parempi, että työ suoritetaan suurella aluksella. (7).

2.4.2 Työtilauksen vaikutus luotaimen valintaan

Työtä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, mihin luotauksen aineistoa käytetään sekä kuinka kattava luotauspeitto on tilattu. Luotaimien erot korostuvat luotauksen kattavuuden kasvaessa. Kat-tavassa topografian tutkimuksessa kannattaa käyttää, joko monikeilainkaikuluotainta tai viisto-kaikuluotainta, tällöin saadaan kattavaa tietoa pohjan muodoista sekä muutoksista. Yksipistekai-kuluotaimella pistepilven luotaaminen suuremmilta alueilta on aikaa vievää, joten se ei ole kustan-nustehokasta. Laajemman pistepilven luotaamiseen kannattaa käyttää monia yksipisteluotaimia tai monikeilainkaikuluotainta. Jos halutaan määrittää vain pohjanmuodot ilman pistepilveä, kannattaa laajemmissa luotauksissa käyttää viistokaikuluotainta, joka luo pohjasta kuvan. Jos tilauksen pis-tetiheys on harvempi, luotauksessa voidaan käyttää yksipisteluotainta myös laajemmilla alueilla (5).

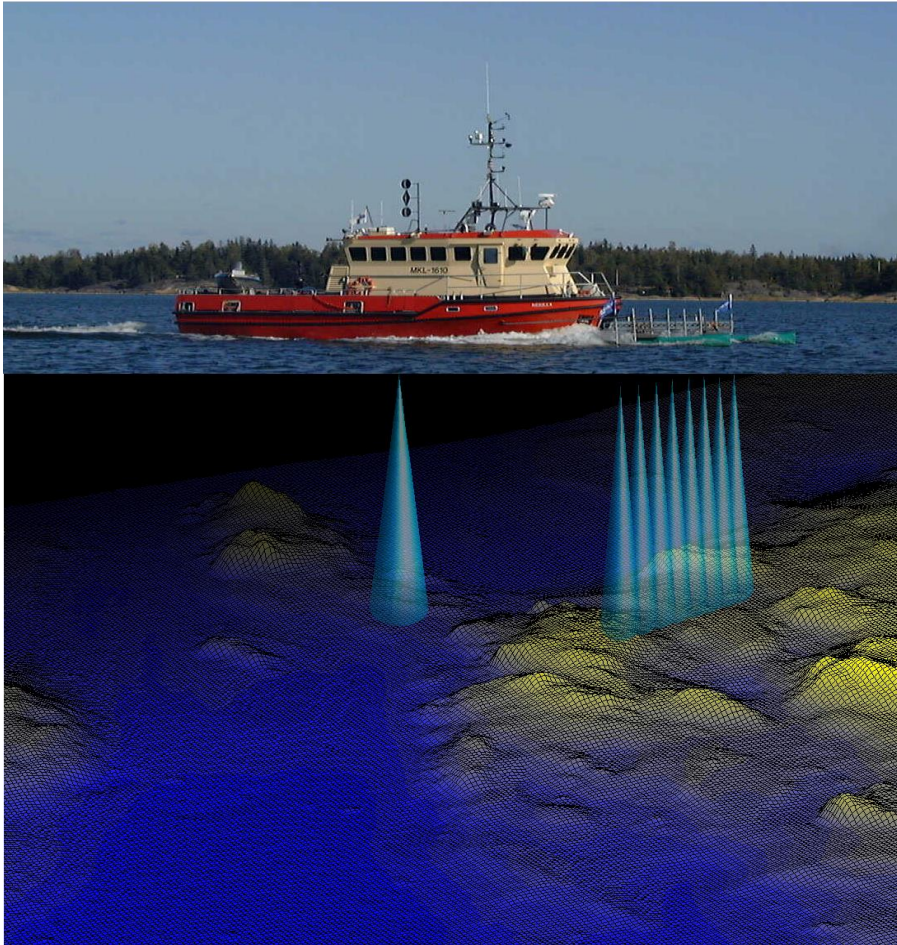
2.4.3 Yksipistekaikuluotain

Yksipisteluotain on luotaimista yksinkertaisin ja yleisin kaikuluotain (kuva 4). Sen toimintaperiaate perustuu äänen kulkemiseen vedessä. Luotain lähettää äänisignaalin eli akustisen pulssin, joka

kulkeutuu pohjaan ja heijastuu sieltä takaisin luotaimiin. Syvyyden määrittäminen perustuu äänennopeuteen sekä äänen heijastumiseen kuluneeseen aikaan, jonka avulla pohjan etäisyys pystytään laskemaan. (7.)

Yksipisteluotaimien hyödyt ovat helppokäyttöisyys, kustannustehokkuus, pieni koko sekä luotettavuus. Yksipisteluotaimet ovat helppokäyttöisiä, koska niiden asentaminen veneeseen ei vaadi syvää teknistä osaamista ja niitä voidaan asentaa veneeseen väliaikaisesti. Helpon asennettavuuden vuoksi yksipistekaikuluotaimia voidaan siirrellä veneestä toiseen. Yksipisteluotaimet ovat luotainten edullisin vaihtoehto, joka on riittävä pienimuotoisiin projekteihin. (4.)

Yksipisteluotaimien huonot puolet ovat rajallinen kattavuus, vähäinen tehokkuus. Yksipisteluotaimien rajallinen kattavuus, johtuu siitä, että ei ole tietoa mitä yksittäisten luotauslinjojen mittauspisteiden välillä on, tämän vuoksi yksipisteluotaimien kattavuus on suurpiirteistä. Jos kuitenkin halutaan kattavaa tietoa alueesta esimerkiksi tiheää pistepilveä pitää yksipisteluotaimella tehdä paljon mittalinjoja alueelle. Tämä vaikuttaa negatiivisesti tehokkuuteen ja lisää työtunteja suurilla kartoitusalueilla. (7.)



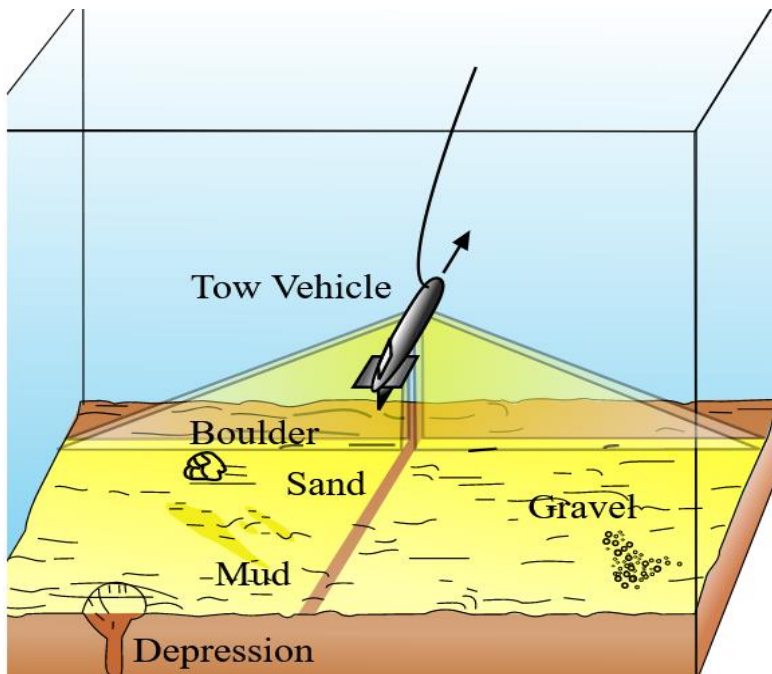
KUVA 4. Periaatekuva yksikeilaisesta luotauksesta ja sen monikanavaisesta muunnelmasta. (4)

2.4.4 Viistokaikuluotain

Viistokaikuluotain on kehittyneempi kaikuluotaintyyppi, jolla saadaan yksityiskohtaista ja tarkkaa kuvaa vesistön topografiasta (kuva 5). Viistokaikuluotaimella saadaan 100 % luotauspeitto pohjan muodoista (10). Viistokaikuluotaimen toimintaperiaate perustuu viistossa lähetettäviin äänisignaaleihin, jotka heijastuvat pohjasta vastaanottimelle. Syvyyden määrittäminen perustuu äänen nopeuteen, äänen heijastumiseen kuluneeseen aikaan ja viistokulmaan, jonka avulla pohjan etäisyys pystytään laskemaan (7). Viistokaikuluotain tuottaa laajempaa kenttänäköä pohjasta kuin perinteinen yksipisteluotain. Viistokaikuluotain tarvitsee kuitenkin lisäksi yksipisteluotaimen, että syvyystieto olisi luotettavaa. (4.)

Viistokaikuluotaimen hyvät puolet korostuvat kartoitusalueen ollessa laaja. Viistokaikuluotaimen hyvät puolet ovat tarkkuus ja tehokkuus. Viistokaikuluotaimella pystytään luotaamaan tarkkaa kuvaa pohjatopografiasta sekä muista kelluvista sekä pohjalla makaavista objekteista, kuten kivistä ja uppotukeista. Viistokaikuluotain pystyy luotaamaan pohjatopografiaa, jopa useita satoja metrejä kerrallaan olosuhteitten mukaan. Viistokaikuluotaimen tuottaa laajaa kuvaa pohjasta nopeuttaa pohjan kartoittamista verrattuna yksipisteluohtaimen. (4.)

Viistokaikuluotaimen heikkoudet ovat viistoanturin vaikutus ohjattavuuteen, kalliimpi hinta, rajoitettu tarkkuus ja kalibroinnin tarve (7). Viistokaikuluotaimen rajoittunut käyttö matalilla sekä virtaavassa vedessä alueilla johtuu perässä vedettävästä viistoanturista, jota kutsutaan kalaksi (4).



KUVA 5. Periaatekuva viistokaikuluotaimen toiminnasta (11)

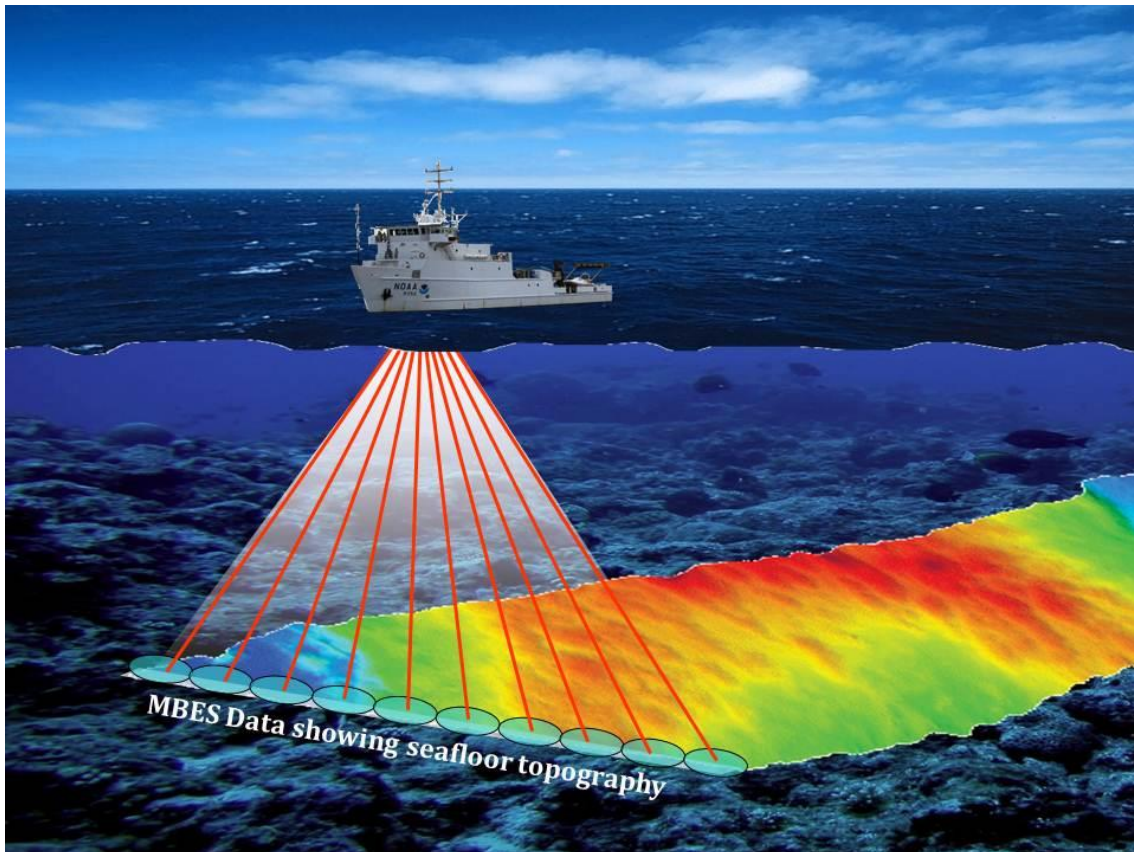
2.4.5 Monikeilainkaikuluotain

Monikeilainkaikuluotain on kaikuluotaimien kehittynein tyyppi, jolla saadaan tarkkaa pistepilveä luotattavan pohjan topografiasta (kuva 6). Viistokaikuluotaimen tapaan monikeilainkaikuluotain tuot-

taa 100% luotauspeittoa pohjasta (4). Suurin ero viistokaikuluotaimen on pistepilvi, jota monikeilainkaikuluotain tuottaa. Monikeilainkaikuluotaimen toimintaperiaate perustuu moniin viistossa lähetettäviin äänisignaaleihin, jotka heijastuvat pohjasta takaisin luotaimelle. Syvyyden määrittäminen perustuu äänennopeuteen, äänen heijastumiseen kuluneeseen aikaan sekä viistokulmaan, jonka avulla pohjan etäisyys pystytään laskemaan. Monikeilain tuottaa suurta ja tarkkaa pistepilveä ylitämästään alueesta. (7.)

Monikeilainkaikuluotaimen etuja ovat ajansäästö maastotöissä sekä luotausdatan saaminen pistepilvenä myös paikoista, joihin vene ei kykene menemään esimerkiksi matalat alueet sekä ylikasvatuneet rannat sekä turvelauttojen ja laituriin alukset. Monikeilaimella pystytään luotaamaan suuria alueita kerrallaan (4). Monikeilaimella ajansäästö poikkileikkausten kartoituksessa on merkittävä, koska veneellä ajeleminen jokaisen poikkileikkauksen kohdalla on aikaa vievää.

Monikeilainkaikuluotaimen huonoina puolina on korkeampi hinta sekä apulaitteiden kuten liiketunnistimien ja äänennopeussensorien asentaminen. Lisäksi monikeilainkaikuluotain järjestelmän operoiminen sekä asentaminen on vaativampaa kuin muiden luotainten. (4.) Luotaimen tuottaman datan prosessointi on aikaa vievää sekä vaativaa (7).



KUVA 6. Periaatekuva monikeilainkaikuluotaimen toiminnasta (12)

2.5 Mittaussuunnitelma luotausaineiston keräämiseen

Luotausaineiston keräämisessä kannattaa etukäteen tehdä mittaussuunnitelma, jossa kannattaa ottaa huomioon veneen laskupaikkojen sekä mahdollisten koskien ja muiden esteiden sijainnit. Suunnittelussa kannattaa ottaa huomioon luotauksen ajankohta sekä jo valmiina olevat lähtötiedot. Esimerkiksi luodattavan järven ja joen syvyys kannattaa ottaa huomioon mittaukseltaessa, koska se vaikuttaa käytettävän kaluston kokoon. Suuremmalla kalustolla on suurempi syväys, joka vaikuttaa kuinka matalalla pystytään luotaamaan.

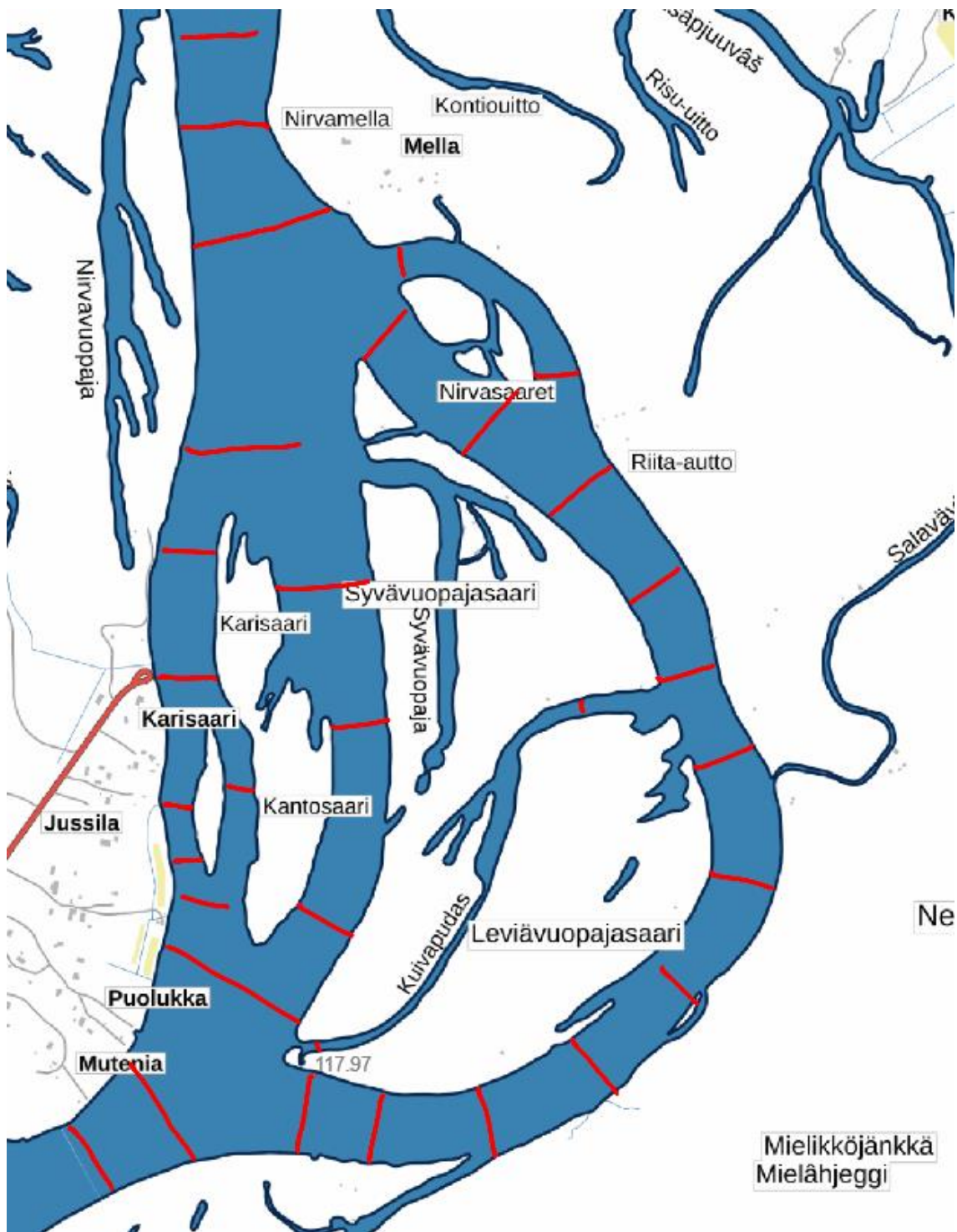
Ajankohta vaikuttaa siihen kuinka paljon vettä järvestä tai joesta on. Ajankohdaksi kannattaa valita kausi, jolloin on mahdollisimman paljon vettä, joka helpottaa luodatessa matalia alueita. Mittaus-

suunnitelma tehdään etukäteen, jotta luotaaminen sujuisi mahdollisimman ongelmitta sekä sujuvoittamaan luotausprosessia. Luotauksessa käytettävän aluksen koko vaikuttaa veneenlaskupaikan valintaan.

Veneen laskupaikat vaikuttavat aluksen kokoon, sillä suuret alukset vaativat isomman veneenlaskupaikan toisin kuin kevyempi kalusto voidaan laskea pienemmästä veneenlaskupaikasta. Koskien sijainnit vaikuttavat veneenlaskupaikan valintaan, sillä alus ei välttämättä pääse ylittämään koskea, jonka seurauksena alus joudutaan siirtämään kosken ylä- tai yläpuolelle. Mittaussuunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon millaisella kalustolla mittaus kannattaa suorittaa. Järvien luotaukseen kannattaa valita mahdollisimman vakaa alus kumoamaan aaltojen vaikutus, kun taas joille kannattaa valita mahdollisimman ketterä alus.

2.5.1 Mittaussuunnitelma tulvamallinnukseen

Tulvamallinnuksen mittaussuunnitelmassa tulee ottaa huomioon muutamia tekijöitä. Tulvamallinnukseen tarvitaan joesta poikkileikkauksia sekä alueella mahdollisesti olevien järvien topografia. Poikkileikkaukset ovat tärkeä osa tulvamallia, koska ne määrittävät virtaaman joessa eri tulvatilanteissa. Tulvamallinnukseen tarvitaan poikkileikkauksia joen tilasta tasaisin välein. Normina poikkileikkausten välille pidetään 150–300 metriä. Poikkileikkauksia tulee tihentää, jos joen muoto muuttuu tai virtaus kasvaa merkittävästi. Jos joki haaroittuu hetkellisesti, joen jokaisesta haarasta tulee ottaa poikkileikkauksia alusta, väliltä sekä lopusta (kuva 7). (5.)

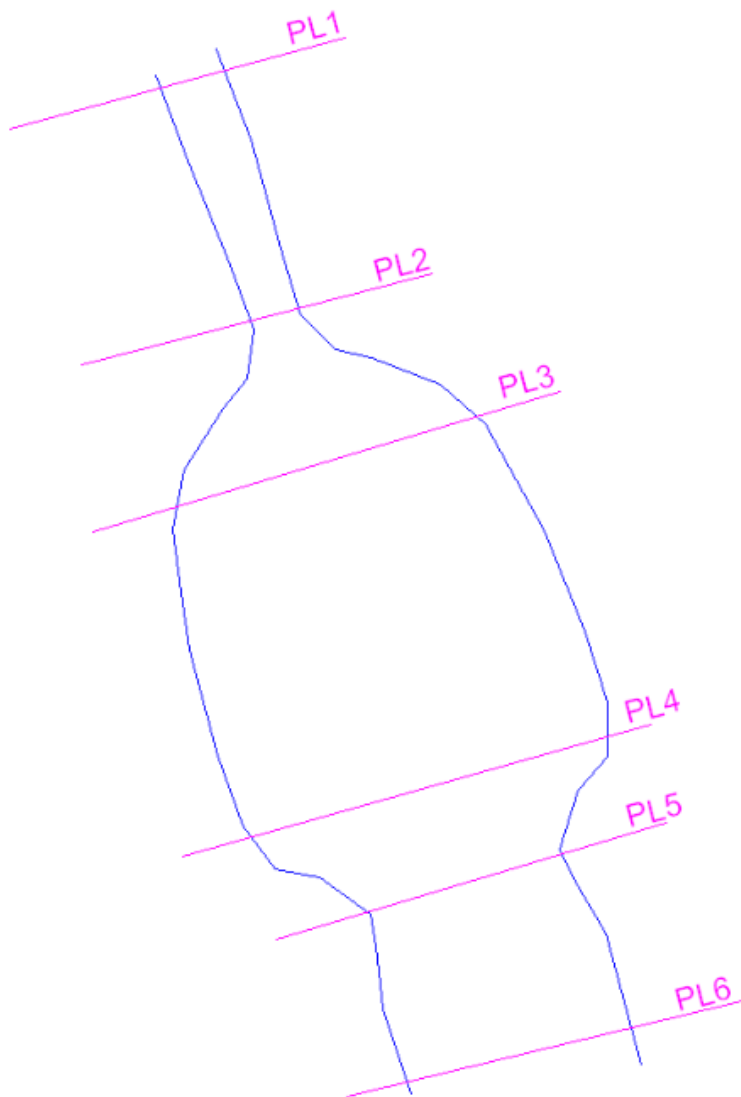


KUVA 7. Periaatekuva poikkileikkauksista uoman haarautuessa (5)

Kuvassa 7 on esimerkki, kuinka poikkileikkaukset otetaan joen haarautuessa, jossa Poikkileikkaukset on kuvattu punaisilla viivoilla. Joen haaroittuessa poikkileikkauksia luodetaan

ennen ja jälkeen haaroittumista, tasaisin välein pidemmissä haaroissa sekä ennen ja jälkeen takaisin yhdistymistä.

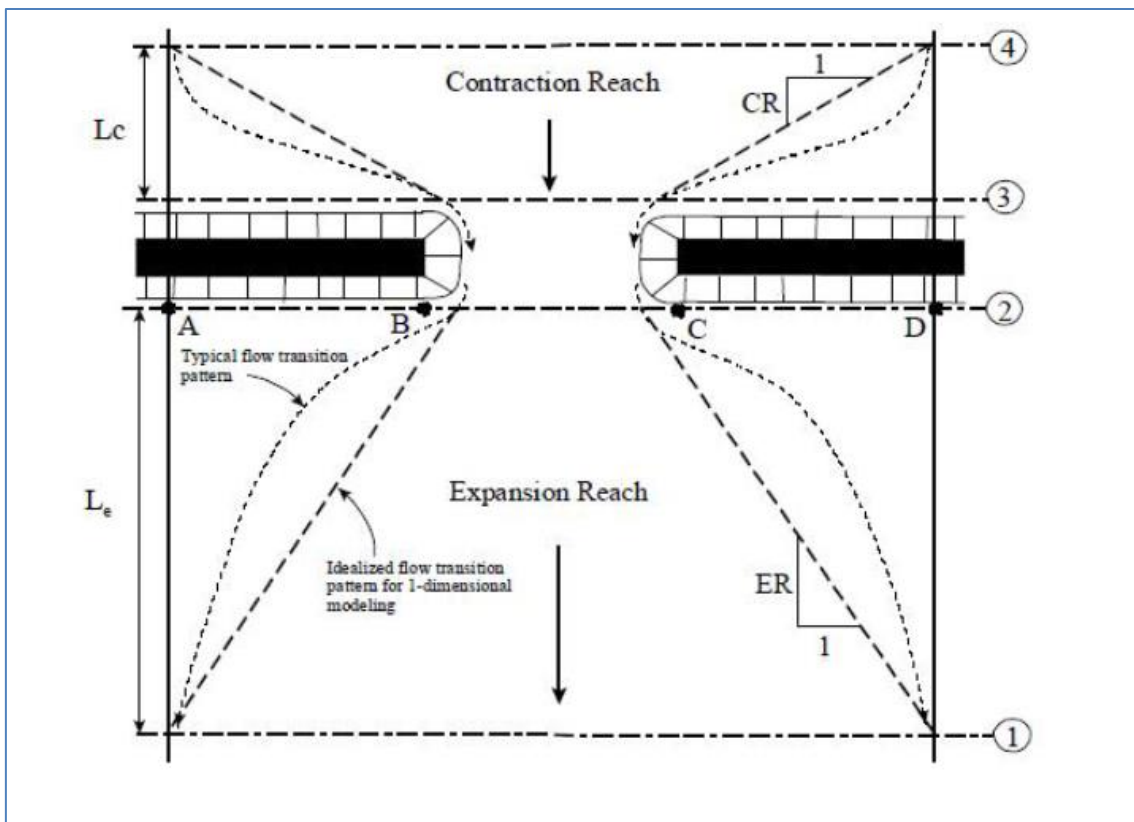
Mittaussuunnitelman tekovaiheessa kannattaa hyödyntää satelliittikuvia sekä vesipinnan korkeuksia mittausalueelta, ne kertovat tarkempaa tietoa joen koskista sekä pinnanmuutoksista. Lisäksi satelliittikuvista nähdään alustavasti missä kohdissa uoman leveys muuttuu, niihin kohtiin tulee asettaa poikkileikkauksia. Muutoskohdissa poikkileikkaus tulee ottaa muutoskohdan alusta muutoskohdan loppuun (kuva 8).



KUVA 8. Luotauksen suorittaminen muutoskohdissa (13)

Kuvassa 8 on esimerkki luotauksen toteuttamisesta joen muodon muuttuessa. Luotauslinjat ovat esitetty kuvassa merkinnöillä PL1-PL6 Joen muodon muuttuessa tulee poikkileikkauksia luodata muutoskohdan alusta muutoksen loppuun sekä tasaisin välein siihen asti, kun muoto muuttuu jälleen. Muodon muutoskohdat tulee luodata, koska niiden vaikutukset virtaukseen ovat merkittäviä.

Poikkileikkauksia tulee ottaa erityisesti ennen ja jälkeen sillan (kuva 9), joen leveyden muodonmuutos kohdissa, kohdissa, joissa huomataan virran muuttuvan merkittävästi ja koskien ylä- sekä alapuolelta. Edellä mainituilla kohdilla on merkittävimmät vaikutukset virtausmalliin. Joen kohdissa, joissa ei ole edellä mainittuja kohtia poikkileikkausten väli tulee olla 150- 300 metriä.

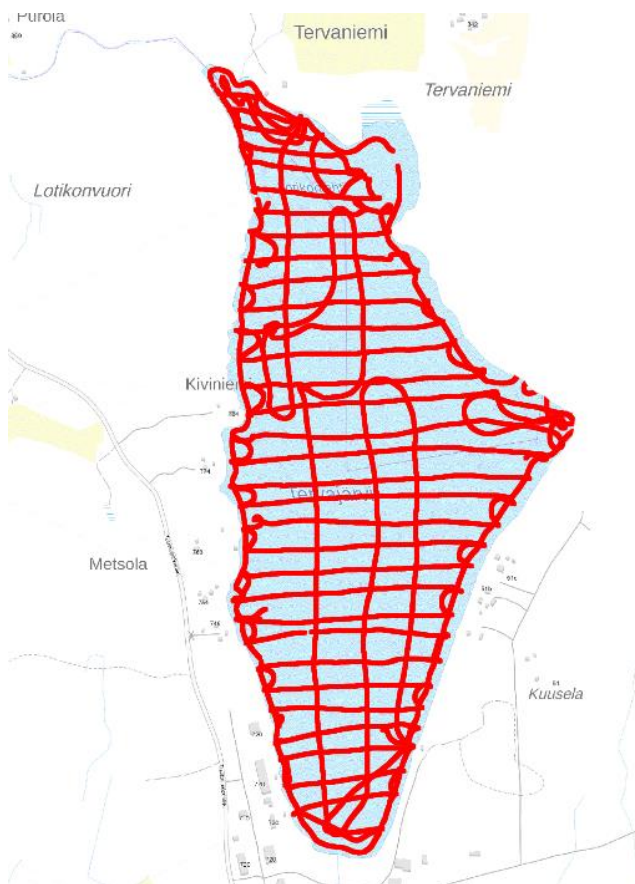


KUVA 9. Syvyyspoikkileikkaukset tulee ottaa kohdista 1,2,3 ja 4 sillan läheisyydessä (13)

Kuvassa 9 on esimerkki luotauksen toteutuksesta sillan kohdalla. Luotauksia tulee ottaa ennen silta paikkaa, ennen ja jälkeen sillan kantta sekä joen muodon palautuessa. Siltojen kohdat ovat virtausta vastustavia alueita, jotka vaikuttavat merkittävästi joen virtaukseen.

2.5.2 Mittaussuunnitelma järvien syvyysluotaukseen

Järvillä mittaussuunnitelman pääasiallisena määrittäjänä on tilauksen määritelty luotaustiheys sekä luotauspeitto. Tilauksessa luotaustiheyden sekä luotauspeiton määrittää tilaaja. Luotauksen linjatiheydet vaihtelevat 20–100 metriin (14). Tilauksessa määritellään yleensä luotauskalusto, millä luotaus toteutetaan. Mittaussuunnitelma saadaan tilauksessa tai se tehdään hyödyntämällä tilausta. Mittaussuunnitelmassa tulee huomioida luotauslinjojen linjatiheys sekä peittävyys. Linjatiheys voidaan merkitään GPS-laitteelle, josta niitä on maastossa helppo seurata tai ilmoittaa työsuorittajalle. Linjatiheyden toteutumista pystytään seuraamaan luotauksen aikana sekä aineiston käsittelyvaiheessa (kuva 10).



KUVA 10. Havainnekuva järvien toteutuneista luotauslinjoista (5)

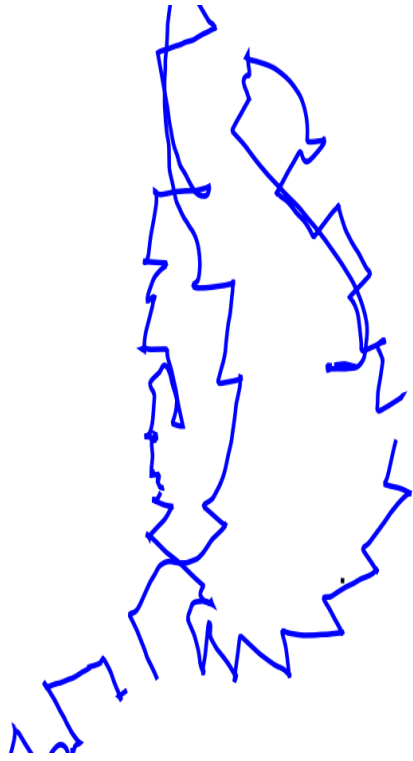
Kuvassa 10 on esimerkki järviluotaamisen toteutuksesta, jossa luotauslinja on kuvattu punaisella. Tässä luotauksessa linjatiheys on ilmoitettu työsuorittajalle. Järven luotauksessa aluksi järven rannat kierretään, jonka jälkeen järvelle ajetaan luotauslinjoja tilatulla linjatiheydellä.

2.6 Luotausaineiston käsittely

Mittalaitteelta tuleva luotausaineisto on käsittelemätöntä raakadataa, joka pitää käsitellä mittavirheiden poistamiseksi aineistosta. Aineiston käsittelyyn on kehitetty erilaisia käsittelyohjelmia, kuten esimerkiksi Meridata MDPS, Reson PSD2000, Sonar TRX ja Trimble HYDROpro -ohjelmistot (7). Ohjelmistoilla poistetut mittavirheet parantavat luotauksen tarkkuutta sekä todenmukaisuutta. Luotausaineistosta poistetaan aluksi tarpeeton aineisto jonka jälkeen mittausvirheet. Luotausaineiston käsittelyllä estetään mittausvirheiden pääsy lopullisiin aineistoihin.

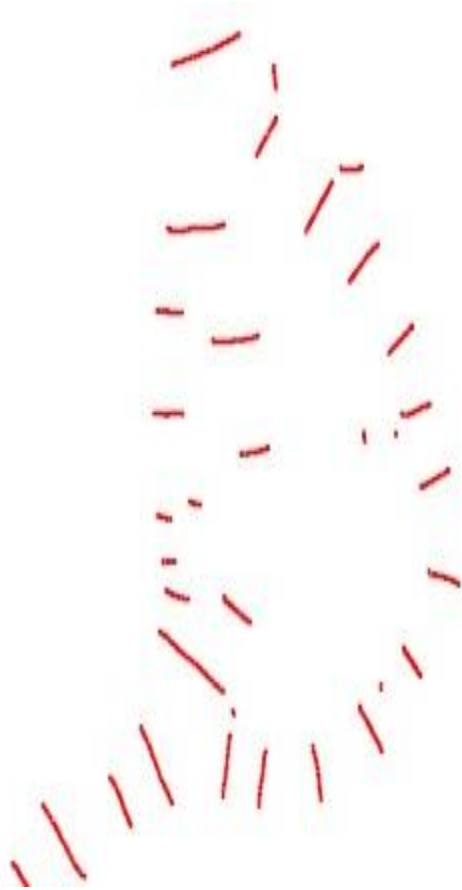
2.6.1 Luotausdatan erottelu

Luotaamisessa syntyy usein luotausdataa, jota ei tarvita lopputuotteessa (kuva 11). Käsiteltävää luotausdataa kannattaa vähentää jo alkuvaiheessa, koska se vähentää työmäärää. Tulvamallinnuksen tapauksessa karsittavaa luotausdataa kannatti vähentää jo ennen mittavirheiden poistoa.



KUVA 11. Raaka materiaali (5)

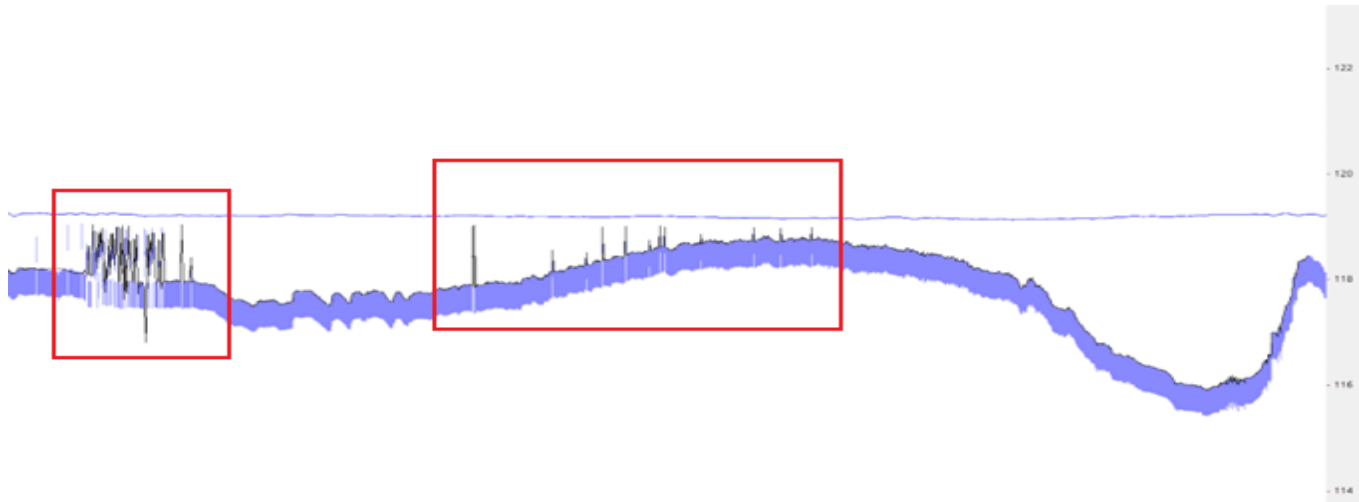
Tulvamallinnuksessa poikkileikkausten välit olivat tarpeettomia, joten ne poistettiin (kuva 12). Ne poistetaan luotausaineiston käsittelyohjelmalla.



KUVA 12. Lopullinen materiaali (5)

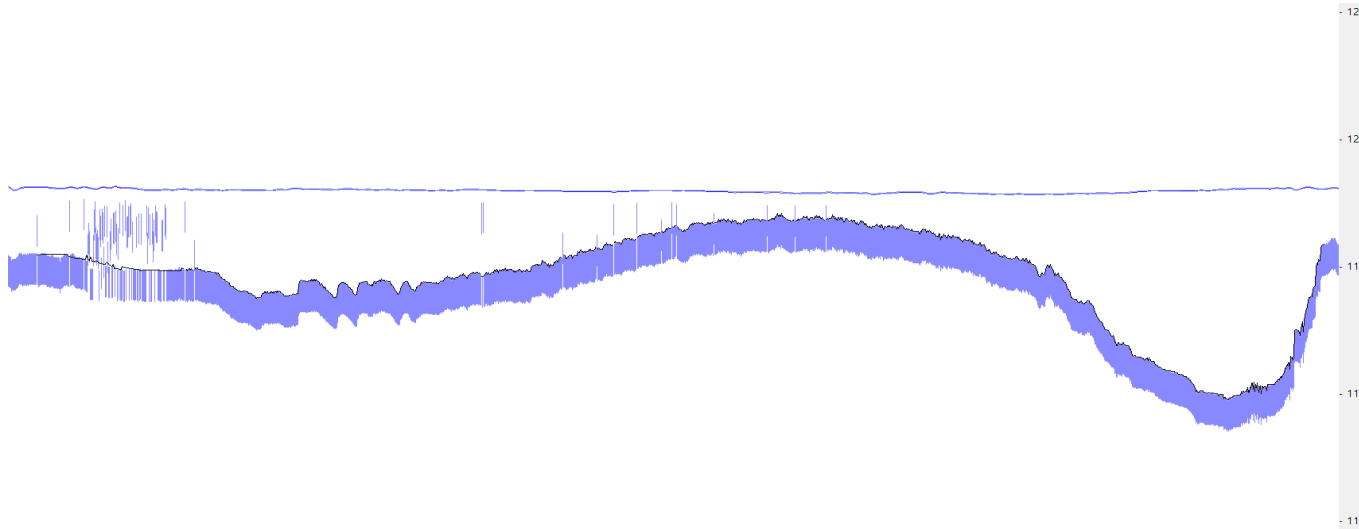
2.6.2 Mittavirheiden poisto

Seuraavaksi luotaimen mittausvirheet poistetaan, jotta luotausdata vastaisi todellisuutta. Yleisimmät mittausvirheet johtuvat kasvillisuudesta tai kelluvasta orgaanisesta materiaalista. Lisäksi mittausvirheitä voi esiintyä myös muista tuntemattomista syistä. Mittausvirheet huomataan pohjalinjan hetkellisestä muodonmuutoksesta, joka huomataan luotausohjelmassa hetkellisenä epämääräisenä pohjan korkeuden muutoksena. Mittausvirheet pystytään poistamaan luotausohjelmistolla valitsemalla poistettavat pisteet. Esimerkkinä kuvan 13 vasemmassa päädyssä luotain on mitannut sekä pohjan korkoa että heijastuksia vesikasvillisuudesta. Kuvan keskellä luotain on mitannut yksittäistä kelluvaa materiaa.



KUVA 13. Mittausvirheiden poisto ennen (5)

Mittausvirheet on poistettu kuvassa 14. Mittausvirheiden poistaminen parantaa kartoituksen luotettavuutta, jotta tarkkuusvaatimukset täyttyvät (kuva 14).



KUVA 14. Mittausvirheiden poisto jälkeen (5)

2.7 Turvallisuus luotaustyössä

Työturvallisuus on tärkeä osa vesillä tehtävää työtä ja se vaikuttaa toimintatapoihin, joilla työ voidaan tehdä. Työturvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä vesistötutkimustyössä ovat erityisesti ympäristö- ja sääolosuhteet, työvarusteet ja kiire. Näiden lisäksi työvälineiden kunto vaikuttaa merkittävästi työturvallisuuteen. (15) Turvallisen vesistötyöskentelyn takaamiseksi laaditaan turvallisuus-suunnitelma, johon on kirjattu turvallisuusriskit sekä toimenpiteet niiden välttämiseksi sekä vastuuhenkilöt.

2.7.1 Turvallisuus sekä varusteet

Luotauksessa liikutaan vesillä, joten vesillä liikkumiseen tarvittavia varusteita on esitetty Ympäristöhallinnon työsuojeluoppaassa (15). Luotaustyön vaihtelevien sääolosuhteiden vuoksi varusteiden käyttö on työntekijän oman harkinnan varassa pois lukien pelastautumisvarusteet. Työtä suorittaessa täytyy olla valppaana työympäristön muutoksille sekä arvioida jatkuvasti sen turvallisuutta. Luotaustyöhön tarvittavat varusteet tulee tarkastaa vuoden välein vuositarkastuksessa, että varusteet ovat kunnossa sekä päiväykset ovat voimassa (15).

Veneellä työskenneltäessä Ympäristöhallinnon ohjeen (16) mukaan työtä tehtäessä veneessä tulee olla vähintään kaksi työn suorittajaa, joista toinen omaa ensiapukoulutuksen EA-1 sekä seuraavia turvallisuusvarusteita: ensiapupakkaus, ankkuri, pelastusliivit, palosammutin ja äyskäri. Veneen varusteet tulee tarkastaa vuosittain vuositarkastuksen yhteydessä (16).

2.7.2 Sää- ja ympäristöolosuhteiden huomiointi

Luotaustyön suunnitteluvaiheessa kannattaa ottaa huomioon sääilmiöt kuten tuuli, sade ja lämpötila. Olosuhteet vaikuttavat pukeutumiseen ja turvalliseen liikkumiseen vesillä (15). Työn suunnitteluvaiheessa myös tulee ottaa huomioon hydrologiset ennusteet sekä ennusteet vedenpinnan korosta. Ennusteita hyödyntämällä pystytään arvioimaan työn toteutukseen vaadittavaa aikaa sekä

tarvetta jalkaisin tehtävälle kartoitukselle. Esimerkiksi matalien jokiosuuksien sekä järvellä ja merellä tehtävien matalikoiden kartoitus pystytään tekemään veneellä, jos vedenpinnan korkeus on riittävä. Luotauksen ajankohta kannattaa useasti sijoittaa korkean veden ajalle, joka helpottaa edellä mainituissa kohteissa. Hydrologisia ennusteita löytyy ympäristö.fi nettisivuilta. Hydrologiset ennustavat vedenpinnan korkeutta.

Työn suorituksen aikaisia sääennusteita on syytä seurata luotausajan kohdan lähestyessä. Sääennusteita on syytä seurata tarkasti jopa tunneittain, sillä työn suorittaminen kannattaa sijoittaa mahdollisimman sateettomalle ja tuulettomalle ajan jaksolle päivästä sekä työn mielekkyyden että luotaindatan parantamiseksi. Sade lisää virtaamia vesistöissä ja liukastumisen vaaraa veneessä. Virtaamien suurentuessa merkittävästi on syytä pohtia, onko työn jatkaminen enää turvallista (15). Lämpötila vaikuttaa pukeutumiseen ja taukojen määrään, joka kannattaa ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa (16).

Sääennusteista kannattaa huomioida tuulen vaikutus. Tuuli lisää aaltoja, jotka vaikeuttavat veneen ohjaamista sekä aiheuttavat häiriötä mittapisteiden rekisteröinnissä. Aaltojen suurentuessa ja lisääntyessä on tarkasteltava uudelleen, onko työtä turvallista jatkaa (16). Työturvallisuusriskien kasvaessa luotaaminen on keskeytettävä, jos on epävarmaa, pystytäänkö luotaus suorittamaan turvallisesti (15).

3 HYDROLOGISTEN MITTAUSTEN SUORITTAMINEN

Ivalo- sekä Jalasjoen luotauksen suunnittelussa hyödynnettiin yrityksen ulkopuolisen tulvamallintajan antamia yleisohjeita tulvamallinnusmittaukseen. Tätä yleisohjetta sovelletaan molemmissa tulvamallinnuksen jokiluotauksissa. Ohjeissa poikkileikkausten välinen etäisyys oli noin 150 metriä. Jokiluotauksissa käytettiin viisi metristä venettä, yksipisteluotainta(meridata) sekä Trimble R10 GNSS-paikannuslaitetta. Luotaukset suoritettiin Ivalojoella vuoden 2023 kesällä ja Jalasjoella saman vuoden loppusyksystä.

3.1 Linjaluotaus Ivalojoella

Luotaus suoritettiin Ivalojoella tulvamallinnuksen päivittämistä varten. Ivalojoen tutkimusalue sijaitsee Inarin kunnassa Ivalon taajaman lähiympäristössä. Jokea luodattiin 35 kilometrin matkalta Inarjärvestä Moikansuvannolle asti (kuva 8). Luotauksella selvitettiin poikkileikkauksia sekä mahdollisia veden virtaamista rajoittavia alueita joessa.

Ivalojoen tulvamallinnukseen tehtävän työn suunnittelussa merkittävin tekijä oli luotauksen ajan kohta. Luotaus täytyi ajoittaa kevättulvan loppuun, sillä vettä olisi riittävästi luotaamaan alueita, jotka olisivat normaali vedenkorkeuden aikaan mahdottomia luodata mataluuden takia. Lisäksi kevättulvan loppu oli hyvä ajankohta, koska virtausnopeudet laskisivat sopivalle ja turvalliselle tasolle. Suunnitteluvaiheessa tutkittiin hydrologisia ennusteita, jotka ennustivat kevättulvan laskevan sopivalle tasolle touko-kesäkuun vaihteessa. Mittausviikkoa edeltävällä viikolla tutkittiin sääennusteita ja todettiin, että luotaaminen on mahdollista käytettävissä olevalla kalustolla. .

Ivalojoen luotauksen suunnittelussa hyödynnettiin yrityksen ulkopuolisen tulvamallintajan antamia yleisohjeita tulvamallinnusmittaukseen. Tulvamallintajan antamissa ohjeissa poikkileikkausten välinen etäisyys oli noin 150 metriä. Ivalojoessa erityistä on ympäristö- sekä luotausolosuhteet.

Jokisuisto on hiekkapohjainen sekä virtausnopeus on riittävä siihen, että vesivirta kuljettaa hiekkaa alavirtaan. Pohjan hiekkaisuus aiheuttaa muutoksia sekä pohjan että joen muotoihin. Pohjan muut-

tumisen vuoksi poikkileikkauksia ei voitu sijoittaa mittaussuunnitelmaan paikoilleen suunnitelma-karttaan, vaan poikkileikkausten paikat määräytyivät perustuen kokemukseen sekä havaintoihin paikan päällä. Suunnittelussa käytiin läpi Ivalojoen vesipinnan korkoja, joissa selvisi, että joessa ei ole havaittavissa virtausta vastustavia kohtia suunnitteluvaiheessa. Virtausta vastustavat kohdat olisivat tulleet ilmi, kun Ivalojoen vesipinnan muutoksia tutkittiin.

Joen mallintamista varten otettiin poikkileikkauksia 150 metrin välein ja lisäksi tiheämmin virtausta rajoittavilta alueilta, jotta joen malli pystyttäisiin tarkasti mallintamaan tulvamallinnusohjelmalla. Joen linjaluotaus aloitettiin tutkittavan alueen puolesta välistä, josta jokea lähdettiin luotaamaan ylöspäin. Tutkimusalueen yläosa oli yhtä uomaa, joka helpotti luotauksen toteutusta. Moikansuvanto saavutettiin noin kahdessa päivässä, minkä jälkeen siirryttiin luotaamaan jäljelle jäänyttä alaosaa. Joen alaosan luotaaminen oli monimutkaisempaa, koska sen haaroittui väliaikaisesti useammaksi uomaksi (kuva 15). Uomat täytyy luodata ennen haarautumista, haarautumisen jälkeen, ennen yhdistymistä ja yhdistymisen jälkeen, jotta uomien keskinäisen virtauserot voitaisiin ottaa huomioon tulvamallissa.

Virtausta ahdistavista kohdista esimerkiksi silloilta ja kapenevilta kohdilta poikkileikkauksia otettiin ohjeen mukaisesti tiheämmin. Lisäksi tehtävänä oli tarkkailla Ivalojoen vesipinnan korkoja, jotka osoittaisivat mahdolliset muut virtausta ahdistavat kohdat joessa. Lisäksi luotauksen aikana tarkasteltiin ympäristöä sekä joen virtausnopeuden muutoksia, jotka toimivat mahdollisina indikaattoreina virtausta ahdistaville kohdille. Poikkileikkauksien välimatkat vaihtelivat 20-150 metrin välillä. Poikkileikkauksien välimatkaa lyhennettiin tarpeen mukaan virtausta ahdistavilla alueilla.

Luotauksessa käytettiin luotaimena Meridatan E200-yksipisteluotainta. Luotaimen hyviä puolia olivat luotettavuus ja helppokäyttöisyys. Luotaus saatiin toteutettua hyvin käytettävällä kalustolla. Luotausta olisi voinut nopeuttaa käyttämällä monikeilainkalkuluotainta, mikä olisi voinut nopeuttaa maastomittauksia merkittävästi näin suurella kartoitusalueella.



KUVA 15. Luotausalue Ivalojoella (5)

3.2 Linjaluotaus Jalasjoella

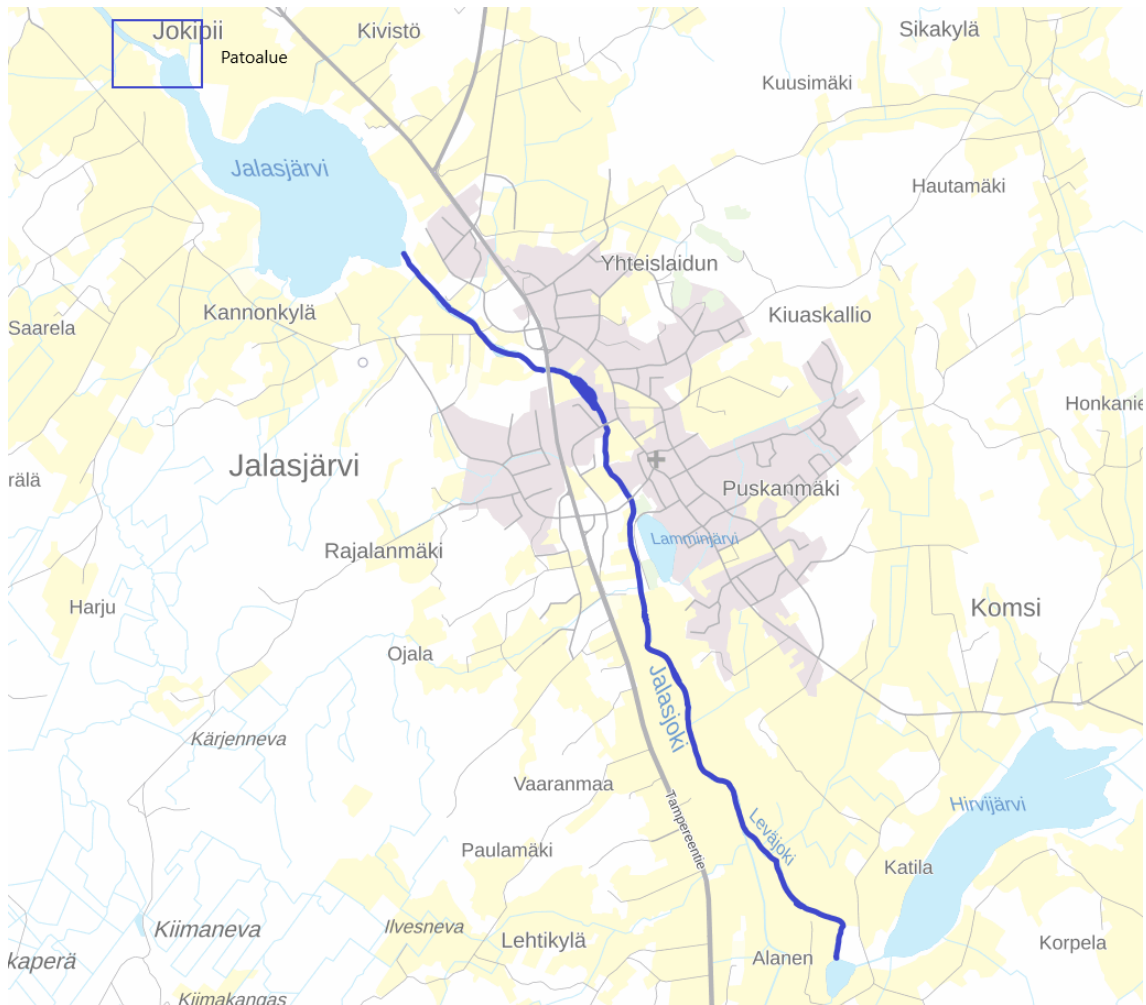
Luotaus suoritettiin Jalasjoella Jalasjärven vedenpinnan nostoa varten. Jokea luodattiin 9 kilometrin matkalta Jalasjärvestä Lamminperälle asti (kuva 16). Lisäksi tehtävänä oli luodata pohjatopografiaa pohjapadon alueelle. Luotauksen avulla pystyttiin mallintamaan, minkälaisia vaikutuksia Jalasjärven nostolla olisi Jalasjoen virtaamaan.

Jalasjärven nostoa varten tehtävän luotauksen suunnittelussa merkittävin tekijä oli ajoitus. Luotaus oli hoidettava ennen Jalasjoen jäätymistä. Luotausalueella oleva Jalasjärvi oli jo ehtinyt jäätymään osittain. Mittaussuunnitelman teko vaiheessa tutkittiin alustavasti joen leveyden muutoskohtia, joihin lisättiin poikkileikkauksia. Suunnitelmassa käytettiin poikkileikkausten välinä 200 metriä. Poikkileikkausten lisäksi pohjapadon sijainti merkittiin mittaussuunnitelmaan. Pohjapadon kohdalle asetettiin 150 metrin alueen, josta tuli kartoittaa pohjatopografiaa.

Työnsuunnitteluvaiheessa tutkittiin satelliittikuvista mahdollisia veneenlaskupaikkoja. Luotausalue tarvitsi kaksi veneenlaskupaikkaa, koska alueella oli koski, jossa ei voinut liikkua veneellä. Lisäksi tutkittiin sääennusteita luotausajankohtaa varten. Sen tuloksena päätettiin, että luotaus olisi toteutettava lämpimän ajanjakson jälkeen, että järvellä pääsisi liikkumaan veneellä. Kun sopiva ajan kohta löytyi, päätettiin se luotauksen ajankohdaksi. Jalasjoella ei tarvinnut ottaa huomioon aluksen syväystä, koska joki oli kauttaaltaan yli 0,6 metriä syvä eli tarpeeksi syvä kalustollemme.

Luotaus aloitettiin Jalasjärven keskustan eteläpuolelta, jonka jälkeen joesta luodattiin poikkileikkauksia 200 metrin välein ylävirran suuntaan Lamminperä-nimiselle järvelle asti. Tämän jälkeen vene siirrettiin Lukkarinkosken alapuolelle, josta luodattiin poikkileikkauksia 200 metrin välein Jalasjärvelle asti. Lopuksi siirryttiin luotaamaan pohjapadon aluetta. Jalasjärven jääpeite oli ehtinyt sulamaan tarpeeksi, että veneellä pääsi suoraan pohjapadon kohdalle. Siellä luodattiin pohjatopografiaa pohjapadon keskikohdalta 75 metriä molemmin puolin. Luotaukseen kului aikaa kaksi päivää ja se sujui erittäin hyvin.

Luotaus toteutettiin Meridatan E200-yksipisteluotaimella. Luotauksen toteutuksen aikana ei kohdattu ongelmia. Luotain oli helppokäyttöinen ja sopi pienemmälle kartoitusalueelle. Monikeilainkai- kuluotaimen käytön ajallinen säästö ei olisi ollut merkittävä näin pienellä kartoitusalueella.



KUVA 16. Jalasjoen poikkileikkaus- ja patoalue (5)

3.3 Luotauksien käsittely

Mittausvaiheen jälkeen luotausdata täytyy käsitellä. Raaka mittausdata piti käsitellä sekä muuttaa tilattuun muotoon, jotta mallinnusohjelmat pystyisivät lukemaan niitä. Luotausten poikkileikkaukset käsiteltiin Meridatan MDPS-ohjelmalla. Raaka mittausdata tuotiin käsittelyohjelmaan, johon piti asettaa veden lämpötila-arvot sekä vedenpinnan korkolukema. Veden lämpötilalla vaikuttaa äänennopeuteen vedessä. Luotausdataa vähennettiin poikkileikkausten väleiltä, minkä jälkeen poikkileikkauksista poistettiin mittavirheet. Mittavirheiden poiston jälkeen luodattu mittausdata siirrettiin Autocad-ohjelmaan, jossa se mittauspisteet yhdistettiin poikkileikkausviivoiksi. Valmiita luotauspoikkileikkauksia verrattiin GPS-mittauksella tehtyihin poikkileikkauksiin ja tarkistettiin viimeisen

kerran luotauksen tarkkuus. Lopuksi poikkileikkausviivat lähetettiin virtausmallinnusta varten tulva-mallintajille.

3.4 Luotausasiakirjojen tuottaminen

Luotausasiakirja (liite 1) sekä luotausaineiston käsittelyopas (liite 2) tehtiin yhdessä Maveplan Oy:n maanmittausinsinöörien kanssa. Ennen luotausprosessia tutustuttiin, kuinka luotain asennetaan veneeseen sekä miten luotain ja GPS-mittauslaitteisto yhdistetään tietokoneeseen. Ennen luotauksista käytiin lävitse luotausprojektin luominen Meridatan MDCS-ohjelmalla. Luotauksen aikana perehdyttiin luotausohjelmiston käyttöön ja luotauksen jälkeen käytiin läpi, kuinka projekti lopetetaan. Luotausasiakirjassa käydään läpi, kuinka luotain asennetaan veneeseen, projektin luonti, luotaus sekä luotauksen lopetus.

Luotausaineiston käsittelyopas (liite 2) tehtiin kuvaamaan luotauksen käsittelyprosessia. Käsittelyprosessin aikana perehdyttiin Meridatan MDPS-ohjelmaan. Aluksi perehdyttiin, kuinka käsittelyprosessi aloitetaan ohjelmassa. Seuraavaksi perehdyttiin, kuinka raakadatasta poistetaan mittavirheet sekä muut tarpeettomat pisteet. Lopuksi perehdyttiin prosessin lopettamiseen sekä palauttamiseen. Luotausaineiston käsittelyoppaassa käydään läpi, kuinka mittausvirheet poistetaan raakadatasta, kuinka aineistoa harvennetaan sekä miten luotausaineisto viimeistellään ja palautetaan.

4 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli yhtenäistää Maveplan Oy:n työtapoja ja nopeuttaa koko luotausprosessia. Opinnäytetyössä tutustuttiin Maveplan Oy:n luotausprosessiin ja käytettävään luotaimeen. Lisäksi etsittiin tietoa mahdollisista vaihtoehtoisista luotaintyypeistä ja muista työn tehokkuutta parantavista laitteista.

Luotausprosessiin löydettiin yhteiset luotaustavat ja mittapisteiden prosessointitavat. Luotausprosessia parannettiin laatuasiakirjoilla, jotka julkaistiin palvelemaan Maveplan Oy:tä. Asiakirjat tehtiin yhteistyössä kokeneempien luotaajien kanssa. Kokosimme luotauskäsikirjaan (liite 1) luotaus-työssä tarvittavat välineet sekä ohjeet, miten luotaukset aloitetaan ja suoritetaan. Tämä asiakirja auttaa yhtenäistämään toimintatapoja sekä nopeuttamaan ja helpottamaan itse luotaukset ja sen valmistelua. Lisäksi kokosimme ohjeet luotausaineiston käsittelyyn (liite 2), jossa kerrotaan, kuinka luotausaineisto käsitellään. Asiakirjojen ohjeita seuraamalla työprosessien suorittaminen helpottuu ja tulosten laatu on samanlaista työn suorittajasta riippumatta. Asiakirjoja voidaan hyödyntää uuden työntekijän perehdyttämisessä.

Opinnäytetyötä tehtäessä opittiin erilaisista mittaus- ja luotausmenetelmistä. Tämän lisäksi päästiin olemaan mukana luotaamassa Ivalo- ja Jalasjokea sekä käsittelemään useita eri järvien syvyysluotautustietoja. Luotaamisen aikana opittiin tunnistamaan virtausta ahdistavia alueita ja huomamaan muutoksia joessa.

Luotausprosessien aikana tietoa kerättiin poikkileikkauksista. Poikkileikkauksia hyödynnettiin tulvamallinnuksessa määrittelemään sekä mallintamaan joen virtausta eri tulvakorkeuksilla. Ivalo- sekä Jalasjoella luotausympäristöt olivat hyvin erilaiset. Jalasjoella uoma oli tasaisen syvä lukuun ottamatta yhtä koskea, kun taas Ivalojoella syvyys vaihteli merkittävästi. Syynä Ivalojoen epätasaiseen pohjaan voidaan pitää joen virtaaman kuljettamaa hiekkaa. Hiekka kerääntyi joen kääntyessä käännöksen sisäkurviin, jota emme nähneet Jalasjoella.

Jalasjoen haasteena oli myöhäinen ajankohta. Jalasjoen varrella sijaitseva Jalasjärvi oli jo ehtinyt jäätyä kertaalleen. Saimme kuitenkin jäädä huolimatta suoritettua luotauksen suunnitellusti. Ivalojoella haasteeksi osoittautui satelliittiyhteyden ylläpito syrjäisillä alueilla, jouduimme keskeyttämään luotauksen muutamaa otteeseen luodatessamme. Ongelmat satelliittiyhteydessä korjautuivat kuitenkin itsestään, kun aloitimme luotauksen uudestaan seuraavana päivänä.

Luotaustyössä käytetyt työtavat sekä maastossa luotaamisen että luotausaineiston käsittelyssä olivat selkeitä ja sujuvia. Kaluston osalta muutamina kehityskohteina voisi harkita esimerkiksi yksipisteluotaimen kiinnityksen parantamista veneeseen sekä veneeseen asennettavaa sähköjärjestelmää ja sen kehittämistä. GPS-ohjattavasta keulamootorista saattaisi olla apua järvien syvyyslutauksessa.

Yksipistekaikuluotain sopii opinnäytetyön perusteella hyvin yrityksessä tehtäviin pienempiin kartoitustöihin, mutta hankkeiden suurentuessa on syytä harkita tehokkaampaa kalustoa. Luotainhankintojen osalta olisi kannattavaa hankkia monikeilainkaikuluotain tai viistokaikuluotain, sillä se olisi monissa työtilauksissa tarpeeksi suuren luotauspeiton saamiseksi välttämätöntä. Tämä myös lisääisi hankittavien töiden lukumäärää sekä mahdollisuuksia työhankinnan kannalta.

Opinnäytetyöstä tuli syvyyslutauksen prosessia kuvaava kokonaisuus, jota toimeksiantajayritys voi käyttää yhtenäistämään omia toimintatapojaan sekä perehdyttämään uusia työntekijöitä. Työssä on tuotu ilmi luotainten eroja, toimintatapoja, luotausprosessia sekä tulvamallinnuksen että järvien syvyyslutauksen näkökulmasta, joiden avulla aiheesta kiinnostuneet tahot voivat tutustua syvyyslutaukseen.

LÄHTEET

1. Vesitalous 2017. 1/2017. Vesitalouslehti. Hakupäivä 14.1.2024. https://vesitalous.fi/wp-content/uploads/2017/02/VT1701_vedos3.pdf.
2. Suomen ympäristökeskus 2022. Hydrologinen seuranta. Hakupäivä 20.1.2024. <https://www.vesi.fi/vesitieto/hydrologinen-seuranta/>.
3. Kuusisto, Esko & Hakala, Jari 2008. Suomen järvien syvyysuhteet. Hakupäivä 2.2.2024. http://syvyyskartta.fi/data/documents/Kuusisto-Hakala_jarvien_syvyysuhteet.pdf.
4. Olá, Kim 2024. Sales Manager. Ltd Meridata Finland Oy. Sähköpostikeskustelu 28.3.2024.
5. Maveplan Oy 2024. Luotausdokumentit. Sisäinen lähde.
6. Jarmo, Erho 2021. Soil Construction, Maarakennusteknikka 5 op. Mittaustyöt maarakentamisessa ja Koneautomaatio 2021. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, Rakennus-, energia- ja talotekniikan osasto.
7. Kankare, Petteri 2013. Luotausmenetelmät ja -laitteet maailmalla. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 14.1.2024. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/60330/Kankare_Petteri.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
8. International hydrographic organisation 2008. IHO Standards for Hydrographic Surveys 5th Edition. https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-44/S-44_5E.pdf.
9. Hakala, Jari 2024. Suomen ympäristökeskus. Sähköpostikeskustelu 10.4.2024.
10. Liikennevirasto 2013. Vesiväylätutkimusten yleisohjeet. Verkkosivusto. Hakupäivä 1.2.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2013-18_vesivaylatutkimusten_yleisohjeet_web.pdf.
11. Global Geophysics 2009. Methods Marine Geophysics. Verkkosivusto. Hakupäivä 16.2.2024. <http://www.globalgeophysics.com/methods-marine.php>.
12. Sasilatha, T, Fadil, Mohammed, Immanuel, Baldwin, Mohendran, G & Kumar, Ashok 2023. Virtualization of the drenched POOMPUHAR Port utilizing bathymetric data processing. Hakupäivä 17.2.2024. <http://sifisheriestsciences.com/index.php/journal/article/view/999/462>.
13. Leiviskä, Pekka 2024. Insinööri-toimisto Pekka Leiviskä. Sähköpostikeskustelu 28.3.2024.
14. Hakala, Jari 2024. Suomen ympäristökeskus. Sähköpostikeskustelu 10.4.2024.

15. Suomen ympäristökeskus 2006. OH6-2006 Työsuojelu vesi- ja ympäristönäytteenotossa ja hydrologisissa mittauksissa. Työsuojeluohje. Hakupäivä 1.2.2024. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/39e0ba18-73db-4dc1-89df-f51c64ed27c1/content>.
16. Suomen ympäristökeskus 2006. OH9-2006 Työsuojelu veneiden käytössä. Työsuojeluohje. Hakupäivä 1.2.2024. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41540/OH9-2006 Tyosuojelu veneiden kaytossa.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41540/OH9-2006_Tyosuojelu_veneiden_kaytossa.pdf?sequence=2&isAllowed=y).

LIITTEET

Liite 1. Luotaukäsikirja (yrityksen sisäisessä käytössä)

Liite 2. Luotusaineiston käsittelyopas (yrityksen sisäisessä käytössä)