



Institute for Atmospheric and Earth System Research

Pro Gradu -tutkielma
Geofysiikka

**ADCP virtausmittausten
laaduntarkastusmenetelmien
kehittäminen ja soveltaminen
Saaristomerellä**

Hedi Kanarik

12.3.2018

Ohjaaja: FT Laura Tuomi

Tarkastaja: Professori Petteri Uotila
FT Laura Tuomi

HELSINGIN YLIOPISTO
INSTITUTE FOR ATMOSPHERIC AND EARTH SYSTEM RESEARCH
PL 42 (Gustaf Hällströmin katu 2a)
00560 Helsingin yliopisto

“Miu mau miu miu mau.”

—Nuki

Tiedekunta — Fakultet — Faculty		Laitos — Institution — Department	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Institute for Atmospheric and Earth System Research	
Tekijä — Författare — Author			
Hedi Kanarik			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
ADCP virtausmittausten laaduntarkastusmenetelmien kehittäminen ja soveltaminen Saaristomerellä			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Geofysiikka			
Työn laji — Arbetets art — Level		Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages
Pro Gradu -tutkielma		12.3.2018	63 sivua
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Ilmatieteen laitoksella on runsaasti hankekohtaisesti tehtyjä virtausmittauksia akustisella Doppler-ilmiiöön perustuvalla ADCP -laitteella. Tällaiset akustiset mittarit pystyvät muita virtausmittareita paremmin mittaamaan laajoja merialueita, joten ne ovatkin maailmanlaajuisesti yksi suosituimmista menetelmistä tarkkailla merien virtauksia. Tärkeimmät ehdot mittausten onnistumiselle on mitatun virtauksen horisontaalinen homogeenisuus, joka ei aina toteudu muun muassa vedessä olevien äänisignaalin sirottajien itsenäisen liikkeen seurauksena. Laite pyrkii jatkuvasti tarkistamaan olosuhteiden riittävän sopivuuden ja poistaa tehokkaasti esimerkiksi mittausalueelle osuneiden kalojen liikkeit. Mikäli laitteen sisäinen laaduntarkkailu on kuitenkin liian tiukka, se saattaa liian helposti hylätä poikkeuksellisempia ilmiöitä, joten tiukempi laaduntarkkailu jätetään usein erikseen tehtäväksi.</p> <p>Tässä tutkielmassa kehitin laaduntarkastusohjelmiston merenpohjaan ankkuroidulle ADCP:lle. Työssä keskitytään erityisesti Ilmatieteen laitoksen käyttämään Teledyne RD Instrument's -valmistajan Workhorse Sentinel -laitteeseen. Kynnysarvot datan laadulle on määritelty erityisesti tämän valmistajan mittareille ja testit perustuvat laitteen tallentamaan tietoon mittausprosessista. Lähestymistapa perustuu oletukseen, että jos valtaosa virtausnopeuden määrittämisen yhteydessä tehdyistä mittauksista eivät olleet riittävän luotettavia, niin luultavasti loput näistä näennäisesti onnistuneista mittauksista eivät myöskään edusta todellista virtaustilannetta. Laaduntarkistusohjelmisto kehitettiin käyttämällä esimerkkimateriaalina Saaristomerellä Lövsjärin risteyksessä vuonna 2013 suoritettuja mittauksia.</p> <p>Lövsjärin datasetti oli erittäin hyvälaatuista ja epähomogeenisuuden seurauksena datasetistä poistettiin noin 0,3 % mittauksista. Meren ylintä 5 metrin kerrosta ei pystytty mittaamaan voimakkaan sivukeilan aiheuttaman häiriön takia (13 % mittauksista). Datasetissä on huomattavissa selkeää mittausten epävarmuuden kasvua termokliinissä ja yöaikaan, mikä johtuu sirottajina toimivan eläinplanktonin aktiivisuudesta. Yleisesti alueen virtaukset olivat termokliinin seurauksena vahvasti kerrostuneet ja alueella ilmeni syksyllä lyhytkestoisia voimakkaita (lähes 50 cm/s) virtauksia.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
ADCP, laaduntarkastus, Saaristomeri, Lövsjär, virtausmittaukset			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Muita tietoja — övriga uppgifter — Additional information			

Sisältö

1	Johdanto	1
2	ADCP	5
2.1	Mittalaite	5
2.2	Mittaustarkkuus ja sijainti	6
2.3	Nopeusvektorien määrittely	8
2.4	Pystyprofiilien muodostus	10
2.4.1	Reuna-alueet	10
2.5	Mittausten virhe ja keskiarvoistus	13
2.5.1	Prosessointisykli	15
2.6	Laitteen liikkeen seuranta ja sen korjaukset	16
3	Datan laaduntarkastuksen vaiheet	19
3.1	Metadata	20
3.1.1	Ohjelmistot	20
3.2	Datan rajaaminen	21
3.2.1	Aloitus- ja lopetusajan määrittely	21
3.2.2	Merenpinnan aiheuttama häiriö	22
3.3	Laaduntarkastus	24
3.3.1	Laitteen kunnon sisäinen tarkastus - BIT	25
3.3.2	Laitteen sisäinen laaduntarkistus	27

3.3.3	Korrelaatio	27
3.3.4	Kaiun voimakkuus	28
3.3.5	Mittausprosessin prosentuaaliset arvot	30
3.3.6	Virhenopeus	32
3.3.7	Horisontaali- ja vertikaalinopeuksien seulonta	33
3.4	Mittalaitteen liike	34
3.5	Laatuleimat	35
4	Lövskärin alueen virtausten laaduntarkastus	37
4.1	Metadata	37
4.2	Rajaaminen	37
4.2.1	Aloitus- ja lopetusaika	37
4.2.2	Merenpinnan korkeus	39
4.3	Laaduntarkastus	41
4.3.1	Korrelaatio	41
4.3.2	Kaiku	41
4.3.3	Prosentuaaliset arvot	43
4.3.4	Virhenopeus	44
4.4	Mittalaitteen liike	45
4.5	Laaduntarkastuksen koonti	46
5	Lövskärin virtaukset	49
5.0.1	Virtausnopeusmaksimit	54
6	Johtopäätökset	57
A	ADCP lisäinfo	59

1. Johdanto

Yleiset fysikaaliset teorit merien virtauksista kehitettiin 1900-luvun alussa, kun Helland-Hansen sovelsi Vilhelm Bjerknesin epähomogeenisen fluidin kierto liikkeen teorian valtameriin (Bjerknes (1898) sekä Sandström ja Helland-Hansen (1902), kuten siteerattu Sverdrup et al., 1942), Vagn Walfrid Ekman kehitti teorian tuulen ajamista virtauksista (Ekman et al., 1905) ja Rossby sovelsi virtausmekaniikan tuloksia merien dynaamisten ongelmien ratkaisemiseksi (mm. Rossby ja Montgomery, 1935 sekä Rossby, 1938). Samoihin aikoihin ilmeni tarve kehittyneemmille menetelmille mitata merien virtauksia. Monien merien dynamiikkaan liittyvien prosessien ymmärtäminen vaatii pitkäaikaisia ja tarkalla resoluutiolla tehtyjä mittauksia kolmiulotteisesta virtauskentästä. Tällaisten mittausten keston tulisi olla vähintään viikosta jopa vuosiin ja ulottua vertikaalisuunnassa metrillä kymmeneen metriin (Joseph, 2014).

Ensimmäiset virtausmittaukset tehtiin kirjaamalla laivojen ajelehtimisnopeuksia suhteessa tähtitieteellisiin havaintoihin (Sverdrup et al., 1942). Nykyisin yhä käytetään tällaisia Lagrangen menetelmällä toimivia virtauksen mukana ajelehtivia mittalaitteita, jotka nyt tosin pystyvät itsenäisesti ilmoittamaan sijaintinsa satelliiteille ja voivat näin edetä kauas avomerille. Virtausmittauksissa hallitsevaan asemaan ovat kuitenkin päässeet kiinteässä pisteessä, Eulerin menetelmällä, mittaavat laitteet. Aluksi tällaiset mittarit olivat lähinnä mekaanisia laitteita, joista tunnetuimpia lienevät 30-luvulla paljon käytetty Ekmanin virtausmittari, sekä 50-luvun

lopulla kehitetty, ensimmäiseksi todella käyttäjäystävälliseksi virtausmittariksi luonnehdittu, Aanderaan RCM (Roottor Current Meter) mittari (Thomson ja Emery, 2014).

Puhtaasti mekaanisilla virtausmittareilla on kuitenkin korkeat kynnyksarvot virtausmittausten suorittamiselle, sekä rajoitettu taajuusvaste. Ne eivät pysty mittaamaan kaikkein pienimpiä virtauksia, sillä heikon virtauksen aiheuttama impulssi ei ole kyllin voimakas roottorin liikkuttamiseen, eivätkä laitteet kestä kaikkein voimakkaimpia virtauksia. Näiden rajoitusten johdosta tuli tarve kehittää nopeasti reagoivia ei-mekaanisia virtausmittareita. Nykyisin tarjolla onkin runsas valikoima sähkömekaanikkain, akustiikkaan, lasereihin ja lämpöensensoreihin perustuvia mittareita, joista kukin soveltuu parhaiten varsin erilaisten olosuhteiden mittaamiseen. Akustiset, Doppler siirtymään perustuvat, virtausmittarit ovat ylivoimaisia haluttaessa mitata hyvin laajoja merialueita kerralla hyvinkin kaukana varsinaisesta mittalaitteesta, sillä ääni, toisin kuin esimerkiksi laser, pystyy etenemään merissä huomattavia matkoja. Mittalaitteen ollessa kaukana varsinaisesta mittauspisteestä voidaan samalla kiertää Euleriaanisten virtausmittareiden ongelma, jossa laite itsessään häiritsee virtausten etenemistä, eivätkä laitteen itsensä kallistumiset ja liikehdinnät vaikuta yhtä voimakkaasti mittausten luotettavuuteen. (Joseph, 2014.)

Ensimmäiset suomalaisten Itämerellä tekemät virtausmittaukset aloitettiin aivan 1900-luvun alussa. Tällöin virtauksia mitattiin purjehduskaudella avoimelle merelle ankkuroiduilta majakkalaivoilta. Vuoteen 1907 asti mittaukset olivat vain havaintoja virtaussuunnasta. Tämän jälkeen mittaussjärjestelmiä kehitettiin ja vuodesta 1909 lähtien virtauksien suuntaa ja voimakkuutta mitattiin jo kolmelta eri syvyydeltä kolmesti päivässä useiden eri majakkalaivojen toimesta (Witting, 1912a). Majakkalaivojen virtausmittauksia hyödynsivät mm. Witting (1912b), Palmén (1930) ja Hela (1952). Majakkalaivojen käytön hiivuttua, virtausmittaukset ovat Itämerellä olleet lähinnä hankekohtaisia. Esimerkiksi 70-luvulla suoritettiin muutama suurempi

virtausselvitys, kun kiinnostuttiin Saaristomeren virtausoloista alueen käytön kehityksen suunnittelun tarpeisiin (Virtaustutkimuksen neuvottelukunta, 1979) ja karotettiin Loviisan ydinvoimalan lähialue (Korhonen, 1975). Virtauksia lisäksi tutkittiin lyhyempien projektien sivutuotteina (mm. Alenius, 1983). Tutkimus kuitenkin suoritettiin pääosin mekaanisilla laitteilla ja tyypillisesti vain kolmelta tunnetulta syvyydeltä. Akustisten virtausmittareiden kehityksen myötä mahdollistui lähes koko vesipatsaan virtausprofiilien mittaaminen.

Ilmatieteen laitoksella on vuodesta 1998 lähtien runsaasti akustisella virtausmittarilla (ADCP) hankekohtaisesti tehtyjä virtaushavaintoja Suomenlahdelta ja Saaristomereltä. Mittausten käytettävyyttä tutkimuksessa on rajoittanut virtaushavaintojen automaattisten laaduntarkastusmenetelmien puute. Tässä pro gradu -tutkielmassani kehitin osin automatisoidun virtausmittausten laaduntarkastusmenetelmän käyttäen esimerkkitietona Saaristomerellä Lövskärin risteyksessä (Kuva 4.1) vuonna 2013 suoritetuista mittauksista. Käytetty laaduntarkastusmenetelmä perustuu vahvasti tuotteen valmistajan suositukseen (Symonds, 2006) sekä kirjallisuudessa paljon käytettyyn Book et al. (2007) -raporttiin. Työssä esitellään myös laitteen kriittisimmät mittauseriaatit, jotta käytetyt laatuksiteerit olisivat ymmärrettäviä.

2. ADCP

ADCP on akustinen virtausprofiilimittari, joka määrittää virtauksen nopeuden pystyprofiilin laitteen lähettämän äänisignaalin paluusignaalin taajuuden muutoksesta. Tämä muutos johtuu äänisignaalin doppler-siirtymästä, joka syntyy signaali lähes-tyessä liikkeessä olevaa sirottajaa ja sitten sirotessa liikkuvasta kohteesta takaisin kohti mittalaitetta (Kuva 2.1). ADCP mittaa siis kaksi kertaa doppler-siirtynyttä signaalia. Tämä taajuuden muutos voidaan esittää yhtälöllä 2.1:

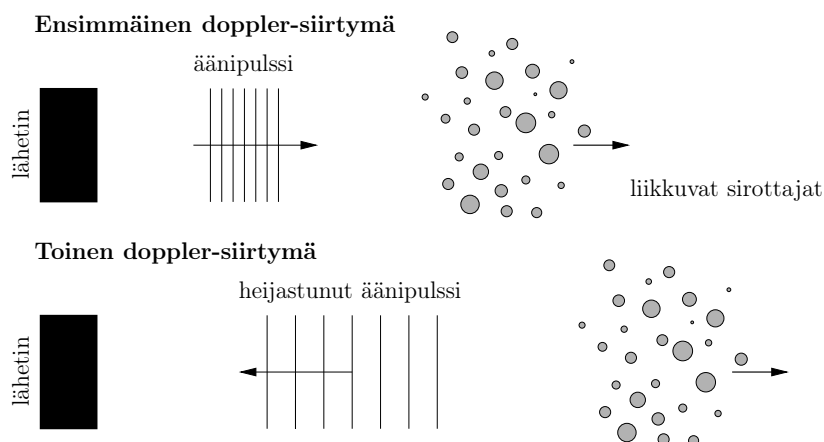
$$F_D = 2F_S(v/c). \quad (2.1)$$

F_D kuvaa doppler-taajuuden muutosta, F_S äänen taajuutta, kun mikään ei liiku, v suhteellista nopeutta äänen lähteen ja sen vastaanottajan välillä ja c valonnopeutta. (RD Instruments, 2011.)

2.1 Mittalaite

Työssä keskitytään erityisesti Teledyne RD Instrument's:in kehittämien ADCP-laitteiden toimintaan ja mittausperiaatteisiin. Teledyne RD Instruments on yksi vanhimmista ja yleisimmin käytetyistä ADCP-mittalaitteiden valmistajista, joten laitteen toiminnasta on tehty myös useita tieteellisiä vertailuja ja analyysyjä (Thomson ja Emery, 2014). Tässä työssä esitetyt mittaukset on suoritettu kyseisen valmistajan 300 kHz taajuuksisella Workhorse Sentinel -laitteella.

Perinteinen ADCP koostuu kolmesta tai neljästä keraamisesta lähetinvastaa-

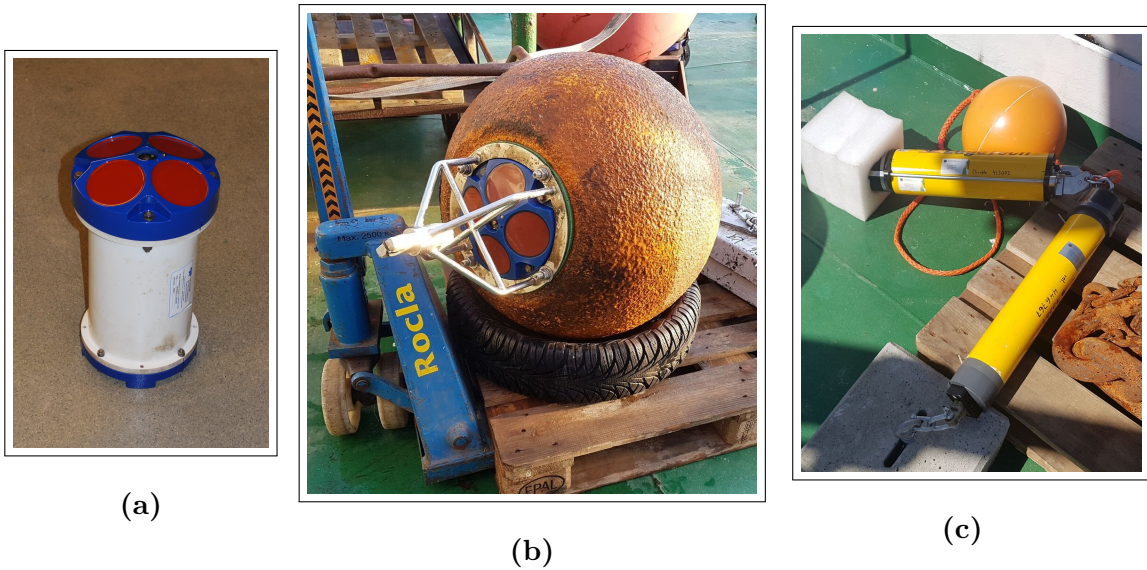


Kuva 2.1: ADCP:n lähettimen pulssi kokee doppler-siirtymän kahdesti: ensin lähettyessään liikkeessä olevia sirottajia ja sitten heijastuttuaan takaisin liikkuvasta kohteesta. Kuva piirretty RD Instruments (2011) pohjalta.

nottimesta, jotka nimensä mukaisesti lähettävät ja vastaanottavat ääniaaltoja. Ne ovat asetettu 20 tai 30 asteen kulmaan pinnan kohtisuorasta Kuvan 2.2a mukaisesti. Laitteen painekoteloon on sijoitettu lähettinvastaanottajien tarvitsemat elektroniset osat, paristo ja laitteen muisti (RD Instruments, 2011). Työssä tarkasteltu ADCP ankkuroidaan merenpohjaan kiinnittämällä se asennusalustaan (Kuva 2.2b). Asennusalustaan lähelle on asetettu vapautin (Kuva 2.2c), jonka avulla mittalaite saadaan nostettua merestä mittausten loputtua.

2.2 Mittaustarkkuus ja sijainti

ADCP määrittää virtausnopeudet millimetreinä sekunnissa ja antaa virtauksen suunnan yhden desimaalin tarkkuudella. Mittaustarkkuus riippuu kalibroinnista annetuista tiedoista, joiden avulla laite laskee äänennopeuden merialueella. Äänen nopeus riippuu meren lämpötilasta ja suolaisuudesta. Lämpötilaa laite mittaa jatkuvasti itse. Suolaisuus määritellään laitteelle ennen asennushetkeä (RD Instruments, 2011). Esimerkiksi 5 ‰ virhe suolaisuudessa aiheuttaa virtausnopeuksiin noin 0,5 % virheen (RD Instruments, 2001b)



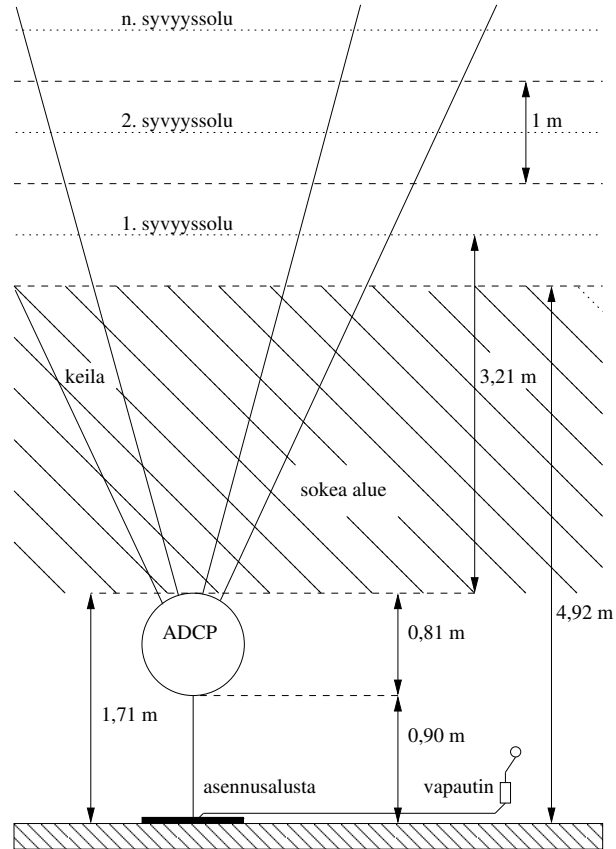
Kuva 2.2: (a) ADCP, (b) ADCP asennusalustaan asennettuna ja (c) vapautin, jonka avulla pohjaan ankkuroitu laite nostetaan merestä

Kukin nopeusratkaisu tuottaa ennalta määritellyn määrän syvyyssoleja, jolloin mittaukset ikään kuin jaetaan vertikaalisuunnassa osiin (Kpl 2.4). Kukin syvyyssole kuvaa mittausalueen keskipistettä ja sen antamat arvot ovat painotettu keskipiste mittauksista syvyyssolun keskipisteen ympäriltä. Syvyyssolujen kuvaaman alueen todellinen sijainti tulee määrittää asennusalusta, sokean alueen ja syvyyssolujen koon perusteella (Kuva 2.3).

Syvyyssolun todellinen koko riippuu todellisesta äänennopeudesta vesipatsaassa. Jos keskimääräinen äänennopeus alueella on 1 % pienempi kuin laitteen lämpötilasta ja suolaisuudesta laskema äänennopeus, on myös etäisyys syvyyssoluun prosentoin pienempi kuin sen asetetun syvyyssolun kokoon mukaan tulisi olla (RD Instruments, 2001b).

ADCP tuottaa nopeusratkaisuja (ensemble) tietyin ennalta määritellyin aikavälein (Kpl 2.5.1). Datasettiin tallennettu aika kullekin näistä nopeusratkaisuista kertoo, milloin ensimmäinen signaali mittausjaksossa lähetettiin (RD Instruments, 2001b). Signaaleja lähetetään tasaisesti koko mittausjakson ajan ja lopussa laite

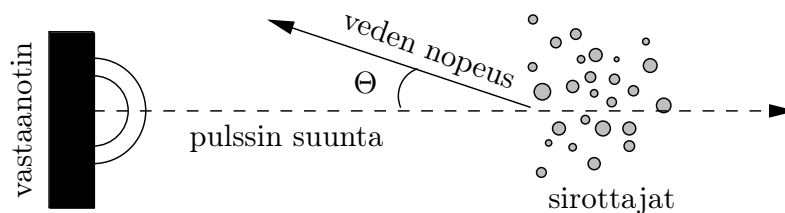
Kuva 2.3: Tyypillinen Ilmatieteen laitoksen pohjaan ankkuroidun ADCP:n asennus Itämerellä. ADCP ilmoittaa ensimmäisen syvyysolun keskipisteen sijainnin ja tämän jälkeen seuraavien syvyysolujen keskipiste on aina ilmoitetun syvyysolun koon päässä edellisestä (tässä 1 m). Jotta mittausten todellinen etäisyys pohjasta voidaan tietää, asennusalustan ja -ketjun koko kirjataan asennuksen yhteydessä talteen. Kuvan esimerkkimittauksen (Lövsjärin ristin mittaus, kpl 4) tapauksessa ensimmäisen syvyysolun lukuarvot on siis mitattu noin 5 metrin etäisyydeltä pohjasta.



käyttää aikaa mittausten käsittelyyn (Kpl 2.5.1). Lopulta tuotetun nopeusratkaisun keskipiste on ajallisesti peräkkäisten aikaleimojen keskipisteessä painottuen hieman aloitusaikaan päin.

2.3 Nopeusvektorien määrittäminen

ADCP:n lähettämä äänisignaali heijastuu takaisin vastaanottimeen erilaisista virtauksen mukana kulkevista sirotaajista. Nämä sirotaajat, kuten sedimentti, detritus ja eläinplanktoni, pääasiassa ajautuvat veden horisontaalivirtauksen mukana, joten niiden liikkeen voidaan olettaa kuvaavan ympäröivän veden virtausta. ADCP:n toimintataajuuksilla pääasiallisina sirotaajina toimivat 1 millimetrin kokoluokkaa olevat eläinplanktonit, mutta myös voimakkaat tiheysgradientit voivat aiheuttaa heikkoa signaalin takaisin sirontaa. (RD Instruments, 2011.)



Kuva 2.4: ADCP:n vastaanotin pystyy mittaamaan vain lähinvastaanottimen suuntaisen virtauskomponentin eli nopeuden $v_x = v \cos(\Theta)$. Kuva on piirretty RD Instruments (2011) pohjalta.

ADCP rekisteröi ainoastaan sen vastaanottimiin suoraan takaisin heijastuneen osan äänisignaalista ja ainoastaan keilan säteen suuntainen liike voi aiheuttaa doppler-siirtymää signaaliin. Niinpä siirtymä riippuukin nopeuden keilan suuntaisesta komponentista, jolloin Kaava 2.1 muuttuu muotoon:

$$F_D = 2F_S(v/c) \cos(\Theta), \quad (2.2)$$

jossa Θ on kulma virtauksen nopeusvektorin ja ADCP:n vastaanottimen keilan välillä (Kuva 2.4). Näin siis saadaan virtauksen yksi nopeuskomponentti. (RD Instruments, 2011.)

Kolmiulotteisen virtausvektorin määrittämiseksi tarvitaan vähintään kolme lähinvastaanotinta, joiden komponentit yhdistämällä ja trigonometrisia relaatioita käyttämällä saadaan lopulta horisontaali- ja vertikaalikomponentit nopeusvektorille. Yksi pari lähinvastaanottimia tuottaa yhden virtauksen nopeuden horisontaali- ja vertikaalikomponentin. Toinen pari toiset vastaavat komponentit. Näin siis saadaan kaksi horisontaalikomponenttia, joiden välinen kulma tiedetään lähinvastaanottimien kulmasta, ja kaksi vertikaalinopeuden arvoa. Kolmiulotteisen nopeusvektorin saa siis jo kolmella vastaanottimella. ADCP:ssä on kuitenkin yleensä myös neljäs vastaanotin, joka mahdollistaa virtauksen laaduntarkkailun virhenopeuden (error velocity, Kappale 3.3.6) avulla. (RD Instruments, 2011.)

ADCP:n keilat mittaavat todellisuudessa eri pisteitä ja nämä pisteet ovat sitä kauempana toisistaan, mitä kauempana mittauspiste on mittalaitteesta. Jotta näistä komponenteista voidaan laskea yksi aluetta edustava nopeusvektori, tulee virtauk-

sen olla alueella horisontaalisesti homogeeninen. Tämä oletus on yleensä toteutuu merissä, joissa ja järvissä (RD Instruments, 2011), mutta vääristyneiden tilanteiden välttämiseksi laite myös jatkuvasti seuraa sen toteutumista erilaisin menetelmin, joita käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.3.

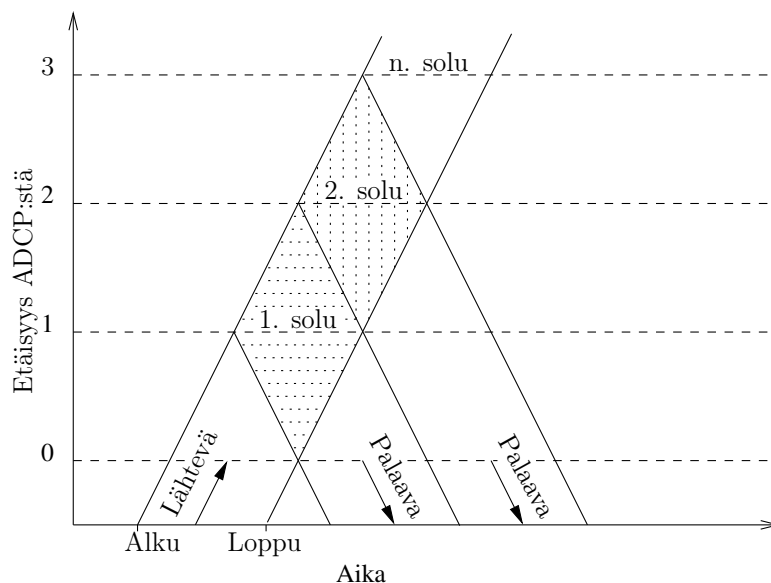
2.4 Pystyprofiilien muodostus

ADCP:n merkittävin ominaisuus, joka erottaa sen muista virtausmittareista, on sen kyky mitata koko vesipatsaan virtausprofiili yhdellä mittalaitteella. ADCP:tä voisi kuvata rivistöksi päällekkäisiä virtausmittareita, jotka on asetettu tasaisien välimatkojen päähän toisistaan. Mutta sen sijaan, että se mittaisi virtausta yksittäisessä pisteessä, se kerää tietyllä laajemmalla etäisyydeltä saapuvat signaalit ja keskiarvoistaa niiden nopeusratkaisuista yhden nopeuden arvon. Näitä alueita, joiden paluusignaalit ADCP prosessoi yhteen, kutsutaan syvyysoluiksi.

Syvyysolu muodostuu lähettämällä äänipulsseja (pings) tietyin väliajoin ja jakamalla paluusignaali sen matka-ajan mukaan syvyysolujen suuruisiin osiin (Kuva 2.5). Ajan ja paikan suhteen saadaan lopulta salmiakin muotoinen kuvio signaalin kulusta. Tältä Kuvaan 2.5 soluiksi merkityiltä alueilta lasketaan kunkin syvyysolun virtauksen arvot, jotka perustuvat paluusignaalin intensiteettiin. Mittauksista suurin osa tulee syvyysolun keskipisteen läheisyydestä, joten mittauksista annettu virtauksen arvo on todellisuudessa painotettu keskiarvo solun keskipisteen ympärillä. Solut menevät hieman lomittain, joten vierekkäisillä soluilla on aina vähintään noin 15 % korrelaatio keskenään. (RD Instruments, 2011.)

2.4.1 Reuna-alueet

ADCP kokee suuresta kattavuudestaan huolimatta selviä rajoituksia mittausprofiilin ylä- ja alarajoilla. Voimakkaat tiheydenmuutoskerrokset, eli niin satotut kovat



Kuva 2.5: Syvyyssolun määrittäminen signaalin paluuajan perusteella. Aika-etäisyys -akseleille on merkitty lähtevän signaalin alku ja loppuaika sekä kunkin syvyysolun paluuajat aika-akselilla. Katkoviivat kuvaavat syvyysolujen keskipisteitä, joiden ympäristöstä suurin osa mittauksista on saatu. Pienemmällä katkoviivoilla merkityt solut kuvaavat aluetta, jolta heijastuessaan signaali tuottaa mittauksia kullekin syvyysolulle. Kuva piirretty RD Instruments (2011) pohjalta.

pinnat, häiritsevät paluusignaaleja mitausten ulottuessa merenpintaan tai -pohjaan asti. Lisäksi signaalin lähettämisen aiheuttama jälkivärähtely (ringing) estää kelvollisten mitausten saamisen heti vastaanottimien juurelta. (RD Instruments, 2011). Nämä tekijät voivat helposti pienentää mitatun vesipatsaan laajuutta niin, että esimerkiksi 60 metriä syvästä vesipatsaasta jää jopa 10 metriä mitausten ulkopuolelle.

ADCP ei myöskään pysty mitaamaan loputtoman syviä vesiä, sillä äänisignaali heikkenee vedessä edetessään. Efekti on voimakkaampi suolaisessa kuin makeassa vedessä, johtuen kemiallisista reaktioista. Riippuen laitteen mittaustaajuudesta, signaali saavuttaa jollain syvyydellä pisteen, jossa se ei enää saa kyllin voimakasta paluusignaalia analysoitavaksi. Pienempitaajuuksilla mittalaitteilla tämä kattavuus on suurempi kuin suurtaajuuksisilla laitteilla. Eri taajuuksien välinen vaihtelevuus kattavuudessa on havainnollistettu Taulukossa 2.1. Lisäksi sirottajien puutteen on

havaittu pienentävän laitteen mittauslaajuutta. (RD Instruments, 2011).

Taulukko 2.1: Nimellisiä arvoja eri taajuuksisten mittarien jälkivärähtelyn laajuudesta ja kattavuudesta vesipatsaassa. Jälkivärähtelyn arvot ovat laitteen valmistajan suosittelemia minimejä ilmiön laajuudelle ja signaalin kantavuusarvot suuripiirteisiä maksimeja laitteen signaalin ulottuvuudelle. (RD Instruments, 2011)

Taajuus	Jälkivärähtely	Signaalin kantavuus
75 kHz	6 m	700 m
150 kHz	4 m	400 m
300 kHz	2 m	120 m
600 kHz	1 m	60 m
1200 kHz	0,5 m	25 m

Sivukeilan aiheuttama häiriö

Ideaalitilanteessa ADCP lukee vain siihen suoraan takaisin sironnutta signaalia (Kpl 2.3), mutta paluusignaalin kanssa saman aikaisesti vastaanottimeen saapuu myös muista suunnista ja lähettimistä takaisin heijastuneista sivukeiloja (side lobe). Yleensä tällaiset sivukeilan signaalit ovat varsinaista signaalia (main lobe) heikompiä ja mittalaite pystyy erottamaan oikean signaalin, jota se käyttää lopulta nopeusvektorien laskemiseen. On kuitenkin tilanteita, joissa muilta kerroksilta tulevan voimakkaan signaalin sivukeila on voimakkuudeltaan sellainen, ettei sitä voi erottaa varsinaisesta pääkeilasta. Tällaiset tilanteet ovat usein väistämättömiä ja data täytyy tunnistaa ja hylätä. (RD Instruments, 2011)

Laiteen lähellä mittauksia haittaava jälkivärähtely (ringing) syntyy, kun äänisignaali osuessaan laitteen metallisosiin tai asennusalustaan aiheuttaa voimakasta sivukeilaa mittauksiin. Tämän sivukeilan energia aiheuttaa värähtelyä lähetinvastanottimen metalliosassa ADCP:n lähettämällä taajuudella. Mikäli ADCP vastaanot-

taa signaalia jälkivärähtelyn aikana se saa oikean näköistä signaalia, joka on kuitenkin sekoitus virtauksen signaalista ja jälkivärähtelystä (RD Instruments, 2011). Jälkivärähtely ei ole Dopplersiirtynyttä, jote se vääristää mittauksia kohti nolla-arvoa. Tästä johtuen ADCP:t aloittavat signaalin vastaanottamisen vasta hetken signaalin lähettämisen jälkeen, kun signaalin jälkivärähtely on jo ehtinyt loppua. Vastaanottamisen alkaminen myöhemmin aiheuttaa kuitenkin sokean alueen mittalaitteen ja ensimmäisen syvyyskolun väliin (Kuva 2.3). Sokean alueen koko riippuu useista tekijöistä, kuten syvyyskolujen koosta ja asennusalustan mallista, mutta merkittävin tekijä on laitteen mittaustaajuus, joka seurauksena sokea alue voi vaihdella puoletta metrillä kuuteen metriin (Taulukko 2.1). (RD Instruments, 2011.)

Voimakkaat tiheydenmuutoskerrokset, esimerkiksi siirryttäessä merivedestä ilmaan, voivat aiheuttaa niin voimakkaan sivukeilan, että ne haittaavat signaalin lukemista useamman syvyyskolun verran. Tällainen voimakas kaiku voi saapua vastaanottimeen samaan aikaan kun pinnan läheisen heijastajan aikaansaama kaiku, jolloin pinnan läheinen heijastus muuttuu käyttökelvottomaksi. Näin ollen myöskään aivan pinnan läheisimpiä syvyyskoluja ei pystytä luotettavasti mittaamaan. Tällaisten alueiden arviointia käydään tarkemmin läpi kappaleessa 3.2.2.

Käyttökelvottoman kerroksen paksuus mittausten ylärajalla riippuu lähetinvastaanottimien kulmasta. ADCP, jonka lähetinvastaanottimet on asetetty 20° kulmaan, menettää noin 6 % pinnanläheisistä mittauksista, kun taas 30° :nen ADCP menettää jopa 15 prosenttia. Toisaalta 30° ADCP:n keskihajonta on noin puolitoista kertaa pienempi kuin lähemmäs pintaa näkevän. (RD Instruments, 2011.)

2.5 Mittausten virhe ja keskiarvoistus

Yksittäistä paluusignaalia ei voida sellaisenaan käyttää virtauksen tutkimiseen, sillä niiden virhe on liian suuri. Virtausmittauksen epävarmuus muodostuu satunnaisesta virheestä ja tilastollisesta harhasta (bias). Satunnaisella virheellä tarkoitetaan

mittaustulosten satunnaista vaihtelua. Koska satunnainen virhe ei korreloi signaalista toiseen, tulosten keskiarvostaminen pienentää virheen keskihajontaa suhteessa keskiarvostettujen mittausten lukumäärän neliöjuuren. Tämä ei kuitenkaan vaikuta harhan suuruuteen. Harhalla tarkoitetaan eroa todellisen ilmiön ja mitattujen arvojen välillä. Keskiarvostusta onkin järkevää tehdä vain niin kauan, kun satunnainen virhe on yhä harhaa suurempi, sillä tämän jälkeen keskiarvostaminen ei enää pienennä kokonaisvirhettä. (RD Instruments, 2011.)

Keskiarvon laskeminen useista äänipulsseista (ping) tietyllä alueella pienentää paikallista aliasingia¹ ja sen vaikutus on verrattavissa kohinan kasvuun mittauksen matalammilla taajuuksilla. ADCP:n syvyysolut ovat aina tasaisen välimatkan päässä toisistaan, mikä helpottaa datan prosessointia.

Taulukko 2.2: Laitteen taajuuden, valitun syvyysolun koon (eli resoluution) ja yksittäisen lähetetyn signaalin keskihajonnan vaikutukset toisiinsa. Korkeataajuuksisen laitteen signaalin keskihajonta on samaa resoluutiota käyttäessä pienempi kuin matalataajuuksisella laitteella, mutta tarkempi korkeataajuuksinen ADCP kykenee mittaamaan kokonaisuudessa pienemmän kokoisen vesipatsaan (laajuus). (RD Instruments, 2013)

Solun koko	1200 kHz		600 kHz		300 kHz	
	Laajuus	Keskihajonta	Laajuus	Keskihajonta	Laajuus	Keskihajonta
0,25 m	11 m	14,0 cm/s				
0,50 m	12 m	7,0 cm/s	38 m	14,0 cm/s		
1 m	13 m	3,6 cm/s	42 m	7,0 cm/s	83 m	14,0 cm/s
2 m	15 m	1,8 cm/s	46 m	3,6 cm/s	93 m	7,0 cm/s
4 m			51 m	1,8 cm/s	103 m	3,6 cm/s
8 m					116 m	1,8 cm/s

Virheen koko riippuu sekä mittalaitteen sisäisistä että ulkoisista tekijöistä.

¹Aliasing on ilmiö, jossa aikasarjaa pidemmät taajuussignaalit näyttävät matalataajuuksisilta signaaleilta ja näin vääristävät mittauksia.

Mittalaitteesta johtuvia, eli sisäisiä, tekijöitä ovat ADCP:n taajuus, syvyyslajien koko, keskiarvostettujen signaalien lukumäärä ja keulojen geometria. Syvyyslajien koon ja laitteen taajuuden vaikutusta on havainnollistettu Taulukossa 2.2. Näihin voidaan vaikuttaa laitteen ohjelmoinnin yhteydessä, ennen kun se asetetaan mereen mittaamaan. Ulkoisesti mittauksien virheeseen voivat vaikuttaa muun muassa turbulenssi, sisäiset aallot ja mittalaitteen liike. Yleensä laitteen sisäiset virhelähteet ovat kertaluokkaa ulkoisia pienempiä, jolloin ulkoisilla virhelähteillä on dominoiva rooli mittaustarkkuudessa. Satunnainen virhe pystytään arvioimaan ADCP:n tuottaman virhenopeuden (error velocity) keskihajonnan avulla. Harha on yleensä alle 10 mm/s ja se riippuu useista tekijöistä, kuten lämpötilasta, virtauksen keskinopeudesta, signaalin ja kohinan suhteesta sekä keulojen geometriasta. Sen mittaaminen, kalibrointi ja poistaminen ei ole mahdollista. (RD Instruments, 2011.)

2.5.1 Prosessointisykli

ADCP:n prosessointisykli luo rajoituksia mittausten keskiarvostamiselle, sillä se kuinka useita signaaleja mittalaite pystyy lähettämään tietyssä ajassa, riippuu signaalin käsittelyajasta. Mittauksen tekeminen vaatii ADCP:ltä viittä vaihetta: käyttöönoton (overhead), äänipulssin lähettämisen, odotusajan, paluupulssin prosessoinnin ja levon. (RD Instruments, 2011.)

Käyttöönottovaiheessa laite valmistele ja prosessoi alijärjestelmiä (kompassi, kello jne.) ja valmistautuu lähettämään signaalin äänipulssin. Pulssin jälkeen ADCP odottaa pienen hetken laitteen jälkivärähtelyn loppumista. Tämän jälkeen laitteeseen saapunutta kaikua aletaan vastaanottamaan ja prosessoimaan. Vaiheen kesto riippuu prosessoinnin luonteesta, syvyyslajien määrästä, äänen nopeudesta, joka riippuu lämpötilasta, suolaisuudesta ja syvyydestä, sekä laskenta-ajasta. Prosessointi ja laskenta-aika riippuvat mm. siitä suoritetaanko keskiarvostus ADCP:n sisäisellä ohjelmistolla vai jälkikäsitellyssä, halutuista koordinaattimuunnoksista (halutaan-

ko data maakoordinaatistossa vai esimerkiksi suhteessa ADCP:n keilojen suuntiin) ja keilan osoitus suunnan korjauksista. Tämän jälkeen ADCP voi mennä lepotilaan ennen uuden käsittelykierroksen alkua paristojen säästämiseksi. Kun pulsseja on lähetetty haluttu määrä ADCP tuottaa mittauksistaan keskiarvon ja tallentaa sen. Tässä työssä käsitellään laitteen sisäisen prosessoinnin jo läpikäyneitä lukuarvoja. (RD Instruments, 2011.)

2.6 Laitteen liikkeen seuranta ja sen korjaukset

ADCP mittaa virtauksia suhteessa keilojensa suuntaan ja muuntaa suunnan sitten haluttuun koordinaatistoon. Koska laite ei pysy täysin paikoillaan se tallentaa tietoa havaitusta suunnasta (heading) ja kallistumiskulmistaan (roll ja pitch). Näitä ja trigonometrisia funktioita hyödyntäen laite laskee virtauksen suunnan. Maantieteellisessä koordinaatistossa suunta annetaan idän ja pohjoisen suhteen, missä vastakkaiset suunnat merkitään negatiivisina, sekä asteina pohjoisesta myötäpäivään (0 - 359,9°). Vertikaalivirtaukset ilmoitetaan ”nopeutena ylöspäin”, jolloin positiiviset arvot kuvaavat liikettä ylöspäin ja negatiiviset alaspäin.

Horisontaalisen pyörimisen seurannalla varmistetaan yhdenmukaisuus suunnan muutoksissa. Kallistuskulmien avulla voidaan puolestaan varmistaa horisontaalisen homogeenisuuden paikkansapitävyys ja tehdä tarvittaessa korjauksia siihen minkä keilan minkäkin syvyysolun arvoja verrataan toisiinsa. Tämä ominaisuus ei tosin ole käytössä kaikkein vanhimmissa Teledyne RD Instrumentsin laitteiden ohjelmistoissa (RD Instruments, 2011). WorkHorse pystyy korjaamaan laitteen kallistukset 15° asti (RD Instruments, 2001b). Laite päättelee, mitkä syvyysolot eri keiloilla ovat samalla tasolla kyseisessä kulmassa ja yhdistää ne. Menetelmä kuitenkin pienentää mittauksen kattavuutta kaukana mittalaitteesta, sillä tiettyihin syvyysoluihin ei osu enää riittävästi keiloja (RD Instruments, 2011). Voimakas kallistuminen voi lisäksi voimistaa sivukeilan vaikutusta, ja haluttaessa mitata mah-

2.6. LAITTEEN LIIKKEEN SEURANTA JA SEN KORJAUKSET 17

dollisimman läheltä meren pintaa, laitteen kallistumiset tulisi minimoida (RD Instruments, 2001b). Laitteen ankkurointitapa vaikuttaa tällaisten korjausten tarpeellisuuteen. Esimerkiksi lyhyt asennusketju ja pallomainen asennusalusta pienentävät kallistumia voimakkaissa virtauksissa.

Tapaa, jolla neljä lähetinvastaanotinta ovat asetettu, kutsutaan Janus-kokoonpanoksi. Tällä kokoonpanolla havaitaan hyvin horisontaalikomponenttien virheitä, jotka johtuvat mittalaitteen liikkeistä, kuten kallistumisesta. Tämä johtuu siitä, että kaksi vastakkaisissa suunnissa olevaa keilaa kumoavat toisensa nopeuskomponentit. Tarvittaessa laite saattaa joutua muuttamaan syvyyssojien kokoa eliminoidakseen kallistuksesta johtuvan virheen. (RD Instruments, 2011.)

3. Datan laaduntarkastuksen vaiheet

ADCP:n tallentama tieto mittausprosessista on oleellisessa osassa datan prosessoinnissa ja sen laadun tarkastamisessa. Laite kerää tietoa vastaanotetuista paluusignaaleista, eri keulojen mittaamien arvojen korrelaatioista ja signaalien intensiteetistä sekä ympäröivistä olosuhteista.

Tässä kappaleessa käydään läpi, miten mittalaitteen tallentamaa tietoa voidaan hyödyntää laaduntarkastuksessa, ja keskustellaan, miten hyvät mittaukset erotellaan vähemmän luotettavista. Mittausten prosessoinnista löytyy vain vähän dokumentointeja ja tämä työ perustuukin pääasiassa laitteen valmistajan lyhyeen raporttiin aiheesta (Symonds, 2006), sekä Book et al. (2007) -datanprosessointiraporttiin, johon useat lähteet kirjallisuudessa viittaavat.

Mittalaite voidaan asettaa tekemään laaduntarkastus jo mittausvaiheessa asettamalla laitteelle tiukat raja-arvot nopeusratkaisun tuottamiseen. Laite ei kuitenkaan tallenna hylkäämiään mittauksia, jolloin mahdollisesti kelvollisia mittauksia jää saamatta Varsinainen laaduntarkastus onkin siksi parempi tehdä vasta jälkiprosessin yhteydessä.

3.1 Metadata

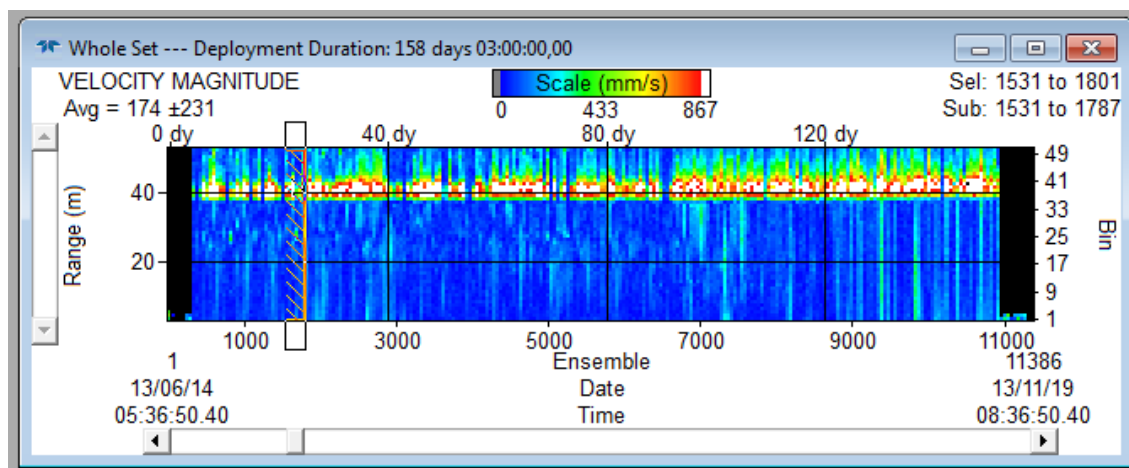
SeaDataNet¹ on luonut suositukset yhtenäisille käytännöille muun muassa datan talletuksen, metadatan ja laatuleimojen suhteen. SeaDataNet (2010) esittää tarkat suositukset tallennettavasta metadatasta pohjaan ankkuroiduille ADCP:ille ja näiden suositusten pohjalta on tehty taulukko esimerkkitapauksena käytetyistä Lövs-kärin vuoden 2013 mittauksista (Liite A). Tämän työn yhtenä tavoitteena on saada käsitelty datasetti täyttämään annetut laatuvaatimukset ja näin helppokäyttöiseksi muille osapuolille.

3.1.1 Ohjelmistot

Workhorse ADCP tallentaa mittaukset hexadecimal-ASCII- ja binäärimuodossa (RD Instruments, 2001a). Tässä työssä hyödynnettiin tuotteen valmistajan omaa ohjelmistoa, WinADCP:tä, jolla mittaukset voi suoraan purkaa ASCII-tiedostoksi. Ohjelmistolla voi hakea halutut parametrit ja tehdä pintapuolisia tarkistuksia mittauksille. WinADCP:n piirtämien kuvien perusteella voidaan nopeasti tarkastella koko mittausjakso ennen prosessoinnin aloittamista, kuten Kuvasta 3.1 voidaan nähdä. Näiden kuvien perusteella voidaan mm. alustavasti tarkistaa mittauksen varsinaisen aloitus- ja lopetusajan, merenpinnan korkeuden sekä esimerkiksi laitteen sisäisten korjausten toimivuus. Kaikki laaduntarkastuksessa käytettävät parametrit saadaan tästä ohjelmistosta.

WinADCP:stä pystyy tarkistamaan laitteen asetukset ja esimerkiksi mittauksen hylkäykseen käytetyt raja-arvot (Utilities → file details). Nämä laatutarkkailun kannalta oleelliset tiedot on merkitty koodein, joiden selitykset löytyvät mm. RD Instruments (2001a) -manuaalista. Tuotteen valmistajan ohjelmistolla ei voi kuitenkaan tehdä laajempaa käsittelyä mittausdatalle. Tätä työtä varten tein ohjelmiston,

¹SeaDataNet on yhteiseurooppalainen infrastruktuuri, jonka tavoitteena helpottaa Eurooppaa ympäröivillä merillä tehtyjen mittauksen saatavuutta.



Kuva 3.1: Kuvakaappaus RD Instrumentsin WinADCP-ohjelman tuottamasta virtausnopeuden profilista Lövskärin mittauksesta. Kuvassa näkyy mitatut syvyysolut (y-akseli), mitatut pisteet eli kulunut aika (x-akseli) sekä voimakkuus mm/s:ssa (väriskaala). Mustat alueet kuvaavat ajanjaksoja, jolloin laite ei ollut meressä ja voimakas piikki virtausvoimakkuuksissa, noin 40. syvyysolun kohdalla, osoittaa voimakkaan tiheydenmuutospinnan eli oletetun merenpinnan.

jota hyödynsin laatukriteerien tarkistuksessa ja laatuleimojen luonnissa.

3.2 Datan rajaaminen

Laaduntarkastuksen ensimmäisessä vaiheessa datasta poistetaan selkeästi väärät arvot. Tällaisia ovat esimerkiksi tilanteet, joissa mittalaite ei ollut vielä meressä tai se on asetettu mittaamaan niin laajaa alaa, että osa sen syvyysoluista suorittaa näennäisiä mittauksia merenpinnan yläpuolella ilmassa. Rajatapaukset, kuten asennushetken mittaus, pidetään kuitenkin mukana ja seuraavassa laaduntarkastuksessa varmistetaan, että ollaan todella valittu oikeat rajat.

3.2.1 Aloitus- ja lopetusajan määrittäminen

Mittalaitteen on tapana olla päällä asennusajanhetkenä, sillä silloin sen toiminnasta voidaan varmistua kaikuja kuuntelemalla. Siksi laite yleensä ohjelmoidaan käynnistymään hyvissä ajoin ennen asennusta. Datasetin alkuun tulee näin lähes poik-

keuksetta arvoja, jotka eivät ole käyttökelpoisia mittauksista. Lisäksi laitteen paristot ovat kertakäyttöisiä, joten mittaukset ohjelmoidaan loppumaan vasta paristojen loppuvaiheessa. Näin voidaan saada pidempi aikasarja, mikäli laitteen noutoon tulee viivästyksiä. Usein laite kuitenkin noudetaan merestä ennen paristojen loppumista, joten myös datasetin lopussa on joukko käyttökeltottomia mittauksia. (Tero Purokoski, henkilökohtainen tiedonanto.) Nämä useiden päivienkin mittaiset ajanjaksot ovat helposti tunnistettavissa datasetistä, sillä nopeusmittauksia on vain muutamalta syvyyssolulta eivätkä mittaukset korreloi keskenään.

ADCP mittaa virtauksia myös asennuksen aikana. Tältä ajalta saadut mittaukset eivät ole edustavia, sillä mittalaitteen oman liikkeen aiheuttama dopplersiirtymä haittaa signaalien lukua. Yleensä yksi virtausmittaus on otettu varsin pitkän ajanjakson yli keskiarvostetuista mittauksista (useita minuutteja), jolloin voidaan melko turvallisesti mielin hyödyntää jo toista näennäisesti onnistunutta mittausa, ellei asennuksessa ole tullut ongelmia. Esimerkiksi Book et al. (2007) on omassa tutkimuksessaan määrittänyt ensimmäiseksi luotettavaksi mittaukseksi arviot, jotka on saatu vähintään minuutin laitteen pohjaan asennuksen jälkeen. Tällainen aikarajaus tietysti vaatii tarkkaa tietoa asennustilanteesta. Asennusprosessi näkyy myös myöhemmin tehtävässä laadun tarkastelussa selkeästi huonompina arvoina useissa syvyysoluissa ja, jos mittalaitteessa on paineanturi, asennus saattaa näkyä tavallista pienempinä syvyysarvoina. Mikäli vastaavaa käytöstä näkyy myös heti seuraavissa mittauksissa, on syytä olettaa asennuksessa olleen ongelmia ja koko mittausprofiilin tuonakin ajanhetkenä olevan epäluotettava.

3.2.2 Merenpinnan aiheuttama häiriö

ADCP ei pysty mittaamaan aivan merenpinnan läheisimpiä kerroksia voimakkaan sivukeilan aiheuttaman häiriön vuoksi. Mikäli laitteen kaiku ulottuu merenpintaan asti se aiheuttaa merkittävimmän virheen koko datasetissä, sillä tietty osa pinnan

läheisistä mittauksista on huonolaatuisia. RD Instruments (2011) esittelee kaavan, jonka perusteella voidaan laskea syvyysolut, joihin pinnan sivukeilan vaikutus ei enää ulotu:

$$R_{max} = H \cos(\theta). \quad (3.1)$$

R_{max} on etäisyys mittalaitteesta, jossa sivukeilan häiriö vielä vaikuta, H on todellinen etäisyys mittalaitteen lähettimen ja merenpinnan välillä ja θ on ADCP:n muuntajan kulma suhteessa merenpintaan.

Merenpinnan korkeuden määrittäminen

Jotta sivukeilan vaikutusalue voidaan laskea tarkasti, täytyy laitteen etäisyys merenpinnasta tuntea. Merissä pinnan korkeus vaihtelee paikoin voimakkaastikin, joten sen hetkellinen korkeus tulee tietää mittausajankohtana. Näin ei päädytä käyttämään vääristynyttä virtausdataa tai menetetä käyttökelpoisia syvyysoluja.

Merenpinnan ja ADCP:n etäisyyden pystyy päättelemään mittalaitteen painanturin tai paluusignaalin kaiun maksimi-intensiteetin sijainnin avulla (Kuva 3.1). Paineanturi sijaitsee ADCP:n lähettinvastaanottimien välissä, jolloin sen antama lukuarvo on suoraan yhtälön 3.1 vaatima H (RD Instruments, 2002). Pinnan korkeuden määrittäminen painanturilla on tarkempaa, mutta kaikissa ADCP-laitteissa ei ole mukana painanturia, jolloin pinnan korkeuden määrittäminen voi tehdä maksimi-intensiteettiä käyttäen. Maksimi-intensiteettimenetelmä toimii kaikilla ADCP:illä.

Maksimi-intensiteetin avulla määriteltävä merenpinnan korkeus on varsin epätarkka ja resoluutio korkeintaan laitteelle asennetun syvyysolun luokkaa. Intensiteettimaksimi saattaa esimerkiksi hyppiä voimakkaasti muutaman syvyysolun välillä. Tämä johtuu syvyysolujen muodostusperiaatteesta (Kuva 2.5), jossa syvyysolut ovat todellisuudessa hieman lomittain olevia vesipatsaita, jolloin vedenpinta on väistämättä vähintään kahden syvyysolun määrittämisalueella.

Mittauksissa voi myös olla alueita, joissa kerroksissa ei ole selkeää intensiteet-

timaksimia (Kuvan 3.1 ensamble 6800) ja maksimiarvo saattaakin löytyä jostain vesipatsaan sisältä tai huomattavasti merenpinnan yläpuolelta. Nämä arvot eivät selkeästikään kuvaa merenpinnan sijaintia ja tulisi jättää tarkastelun ulkopuolelle. Erityisesti tällaisia ajanjaksoja silmälläpitäen voi olla järkevää verrata mitattuja merepinnankorkeuden vaiheluita esimerkiksi lähialueiden mareografien mittauksiin. Merellä tapahtuneet laitteen resoluutiota suuremmat merenpinnankorkeuden vaihtelut tulisi näkyä myös maksimi-intensiteetin siirtymisenä toiseen syvyysosuuteen, jolloin käyttökelpoisten syvyysosuuksien määrä saattaa kasvaa.

3.3 Laaduntarkastus

Tässä kappaleessa määritellään eri kynnyksarvojen perusteella erilaisia laatuleimoja Taulukon 3.1 mukaisesti. Nämä laatuleimat mukailevat SeaDataNet (2010) suosituksia ja seuraavat voimakkaasti Symonds (2006) antamia ehtoja. Monissa tutkimuksissa mittausten laatu on luokiteltu vain hyväksi ja virheelliseksi (esim. Book et al., 2007 sekä Bender ja DiMarco, 2008). Koska tämän työn tarkoitus on laatia yleiset laatuleimat Ilmatieteen laitoksen virtausmittauksille, joita voidaan käyttää useisiin erilaisiin tarkoituksiin, päätin hyödyntää Symonds (2006) tapaa, jossa data tarkastellaan useammalla eri ehdolla, jolloin mm. epäilyttävät arvot eritellään selkeästi virheellisistä. Lisäksi datalle annetaan myös toiset, selittävät laatuleimat (Taulukko 3.2), josta voi tarkistaa laatuleiman antoperusteen. Näin myös mittausten hyödyntämiseen annetaan myöhemmin käyttäjälle vapaammat kädet, jolloin arvot vastaavat paremmin tapauskohtaisesti vaadittavaa laatua ja pystytään esimerkiksi tarkastelemaan ilmiöitä, jotka tiukka laaduntarkastus suodattaisi pois. Kappaleessa esitetyt kynnyksarvot on koottu eri tekijöiden mukaan Taulukkoon 3.3. Tarkasteltavat tekijät ovat laitteen kunto (BIT), signaalin korrelaatio, kaiun intensiteetti, onnistuneiden mittausten prosentuaalinen määrä, virhenopeus ja horisontaali- sekä vertikaalinopeuksien maksimiarvot.

Taulukko 3.1: Datalle annettavat laatuleimat ja niiden selitteet

Laatuleima	1	2	3	4
Selite	Hyvä	Luultavasti hyvä	Epäilyttävä	Virheellinen

Taulukko 3.2: Kappaleessa käytettävien laatuleimojen selitteet. Muu (M) -peruste viittaa tämän työn ulkopuoliseen hylkäysperusteeseen, jonka on selitettävä tarkemmin käsittelyn tiedoston yhteydessä.

Laatuleiman antoperuste	Tunniste
Rajaaminen	R
BIT	B
Korrelaatio	C
Kaiku	E
Prosentuaaliset arvot	P
Virhenopeus	V
Laitteen liike	L
Horisontaalinopeus ^a	H
Vertikaalinopeus ^a	W
Muu	M
Kaikki kunnossa	O

^aEi kuulu peruskäsittelyyn

3.3.1 Laitteen kunnan sisäinen tarkastus - BIT

Kaikki WorkHorse ADCP:t tallentavat tietoa laitteen kunnosta eli BIT:stä (Built-In Test). Tällä arvolla tarkoitetaan laitteen sisäistä testiä, jonka se suorittaa jokaisen signaalin lähetyksen yhteydessä. Tämän aikana laite tarkistaa erilaisia mahdollisia vaurioita tai vioittumia sen eri osista, kuten digitaalisessa signaaliprosessorista, demodulaattorista ja lähettimestä. Virheet tallennetaan nolasta poikkeavilla nume-

Taulukko 3.3: Laaduntarkastuksessa käytetyt kynnysarvot. Kaikki käsitellyt muututtajat ovat laitteen erikseen tallentamia tietoja mittausprosessista. Mikäli data saa yhdestä poikkeavan laatuoleiman annetaan sille myös selite erilliseen leimaan, jotta tarvittaessa voidaan tarkistaa datan hylkäämisperuste (Taulukko 3.2). Lisäksi datasetti rajataan (Kpl 3.2), ja laitteen liikkeet tarkistetaan poikkeavuuksien varalta (Kpl 3.4).

	1	3	4
BIT	0	≠ 0	N/A
Korrelaatio	korrelaatio(≥ 3 keilaa) ≥ 64	korrelaatio(2 keilaa) ≥ 64	korrelaatio(≤ 1 keilaa) ≥ 64
Kaiku ^a	Ei hyppäystä	20 bB hyppäys ajan suhteen	N/A
Prosenttiarvot	PG1+PG2 ≥ 60 %	60 % > PG1+PG2 > 35 %	PG1+PG4 ≤ 35 %
Virhenopeus ^b	< 5 σ	> 5 σ ja < 10 σ	> 10 σ
Vaihtoehtoiset lisätestit ^c :			
Vertikaalinenopeus (w)	< 0, 1w _{maksimi}	0, 1w _{maksimi} < ja < 2w _{maksimi}	> 2w _{maksimi}
Horisontaalinenopeus (u,v) ^d	< 1, 1uv _{maksimi}	1, 1uv _{maksimi} < ja < 2uv _{maksimi}	> 2uv _{maksimi}

^aNeljän keilan keskiarvon lukema

^bTehdään vain, jos saman mittauksen PG4 > 10 %

^cEivät kuulu peruskäsitelyyn

^dMolempien nopeuksien tulee täyttää ehto samanaikaisesti

roilla. Nolla vastaa täysin viatonta mittalaitetta (Symonds, 2006).

BIT:n perusteella tehty datan luokittelu esitetään Taulukossa 3.3. Symonds (2006) korostaa, että ajoittaiset ongelmat BIT:ssä eivät ole tavattomia eivätkä itessään anna syytä hylätä mittausta täysin virheellisenä. Jatkuvat virhekoodit, jotka tulevat samasta lähteestä, kuitenkin indikoivat selkeitä ongelmia mittauksissa. Symonds (2006) suosittelee varovaisuutta tällaisia mittauksia kohtaan, mutta selkeät hylkäykset suositellaan tehtävän vasta myöhemmässä laaduntarkastuksessa.

3.3.2 Laitteen sisäinen laaduntarkistus

Mittauksen yhteydessä mittalaitteen sisäinen ohjelmisto tarkistaa palaavien kaikkien lukemia ja tekee päätöksen muodostetaanko kyseisistä kaiuista nopeusratkaisu ja millä menetelmin. Tässä tarkastuksessa varmistetaan, että lopullinen keskiarvoistettu virtausnopeuslukema on mahdollisimman edustava. Laite tekee valinnat ohjelmointivaiheessa päätettyjen raja-arvojen mukaan. (Bender ja DiMarco, 2008.)

Laite ei tallenna tässä tarkastelussa hylättyjä mittauksia, mutta tallentaa tietoa niiden esiintymisestä kolmeen eri paramettiin, jotka esitellään seuraavissa kappaleissa. Nämä arvot antavat kuvan nopeusratkaisun muodostamista ympäröivistä olosuhteista ja käytetystä prosessista. Kyseisiä lukuarvoja tarkasteltaessa voidaan päättää, millaiset olosuhteet olivat riittävän edustavat virtausmittausten laadulle ja hylätä nopeusratkaisu, joissa oli mittausprosessin aikana liikaa häiriötekijöitä.

3.3.3 Korrelaatio

ADCP laskee kunkin keilan jokaisen syvyyskolun vastaanottamien signaalien välisen korrelaation sekä kaikkien keilojen korrelaation keskiarvon, eli viisi erillistä yksittäisistä vastaanotetuista signaaleista keskiarvostettua arvoa kaikille syvyyskoluille kustakin mittauksesta. Kyseinen lukuarvo kuvaa syvyyskolun saapuneiden signaalien samankaltaisuutta ja siten mitatun arvon todennäköistä oikeellisuutta. Mittaus

tulisi tapahtua horisontaalisesti homogeenisellä alueella, jotta se antaisi luotettavia mittauksia, joten peräkkäisten saapuneiden signaalien tulisi muistuttaa toisiaan. (Symonds, 2006.)

Tavoiteltu korrelaation arvo riippuu lähetetyn signaalin voimakkuudesta, eli se vaihtelee mittalaitteen mukaan, ja sen tulisi olla lähes vakio koko profiilin matkalta vaihdellen vain vähän. Itse lukuarvo on skaalattu yksikkö, jossa nolla indikoi huonoa korrelaatiota ja 255 kiinteää kohdetta, eli täydellistä korrelaatiota. Työssä käytetyn WorkHorse ADCP:n optimiarvo on 128. Epäluotettavaksi mittaus suositellaan luokiteltavan, mikäli korrelaatio tippuu alle arvon 64 (RD Instruments, 2011).

Laaduntarkastuksessa katsotaan kuinka moni ADCP:n keila kullakin ajanhetkellä ylitti annetun kynnyksarvon ja tämän perusteella määritetään datalle laatuleimat Taulukon 3.3 mukaisesti. Symonds (2006) korostaa, että tämä tarkastelu tehdään jo kerran keskiarvostetulle datalle ja on näin tiukempi seulontamenetelmä kuin laitteen itsensä tekemä sisäinen tarkistus. Huonosti korreloivien keilojen yksittäiset mittaukset jätetään keskiarvostetun nopeusratkaisun luomisessa tarkastelun ulkopuolelle, joten ne eivät itsessään tarkoita saadun nopeusratkaisun lukuarvon olevan väärässä. Jos keskiarvostetut korrelaatioarvot eivät useissa keiloissa kuitenkin ylitä raja-arvoa, voidaan olettaa etteivät ympäröivät olosuhteet olleet mittauksille suotuisat, jolloin arvoa ei voida pitää enää luotettavana.

3.3.4 Kaiun voimakkuus

Pintakaiku

Kaiun intensiteetti kuvaa takaisin heijastuneen ääniaallon voimakkuutta kullakin mitatulla syvyysolulla. Sitä hyödynnetään mm. arvioitaessa meressä olevien sirotajien suhteellista määrää, meren pinnan tai pohjan sijaintia tai havaittaessa erilaisia esteitä meressä (Symonds, 2006). Periaatteessa merenpinnan korkeuden määrittelyksen yhteydessä havaittu sivukeilan häiriön poistaminen datasetistä kuuluu tähän

kategoriaan (Kpl 2.4.1), sillä merenpinnan tiheydenmuutoskerros siirryttäessä vedestä ilmaan aiheuttaa voimakkaan piikin kaiun intensiteettiin häiritsemällä näin varsinaisia mittauksia. Tämän alueen havaitseminen liittyy kuitenkin voimakkaasti merenpinnan korkeuteen, joten kyseisten mittausten rajaaminen pois datasetistä käsiteltiin jo kappaleessa 3.2.2.

Mikäli ADCP on asennettu niin syvälle mereen, ettei sen kantama ulotu meren pintaa saakka, sivukeilan häiriö ei vaikuta mittausten laatuun, mutta osa viimeisistä mitatuista syvyysoluista saattaa olla käyttökelvottomia heikon paluukauin vuoksi. Näissä tilanteissa mittauksen mm. korreloivat huonosti ja ne hylkäytyvät muiden laaduntarkistustestien kautta datasetistä.

Vääränlaisten sirottajien hylkääminen (False target rejection)

ADCP:n sisäinen tarkistus pyrkii poistamaan kaiun perusteella selkeästi virheelliset mittaukset niin sanotuista "vääristä sirottajista" (false target test), eli esimerkiksi vedessä itsenäisesti liikkuvista kohteista, kuten kaloista. RD Instruments (2001a) kertoo, että ADCP vertailee samalla ajanhetkellä lähetettyjen signaalien intensiteettiä eri keiloissa sallien tietyn kynnsarvon alittavat paluusignaalit. Hyväksytyjen signaalien perusteella lasketaan nopeusratkaisu.

Intensiteetin erotusten lukemat ovat korrelaation tapaan skaalattuja arvoja väliltä 0 – 255. Nolla tarkoittaa, ettei eroa intensiteeteissä eri keilojen välillä ole ja 255 kuvaa maksimaalista kaikujen intensiteetin eroa, joka kyseisellä laitteella voi syntyä. Kynnsarvon voi asettaa ennen mittauksia itse, ja arvon asettaminen 255:ksi käytännössä poistaa tämän sisäisen tarkistuksen käytöstä, sillä se ei hylkää enää mitään signaaleja. WorkHorse ADCP:lle standardi kynnsarvo kyseiselle testille on 50. Jos kynnsarvo ylitetään, ADCP hylkää signaalien tulokset syvyysolu kerrallaan. Jos esimerkiksi kala on osunut vain yhteen keilaa, tämän yhden keilan mittaus hylätään ja nopeusratkaisu tehdään kolmen keilan avulla. Jos kala on osunut useampaan

keilaan, nopeusratkaisu jätetään tekemättä.

Book et al. (2007) totesi paperissaan, että mikäli virheellisen kohteeseen, kuten vaikka suureen kalaan, osuneen signaalin paluukaiku on tarpeeksi voimakas, ADCP:n sisäinen tarkistus ei enää aina tunnista tätä kohdetta vääränlaiseksi. Tällaisissa tapauksissa yhden keilan voimakaan kaiun signaalin sivukeila saattaa vaikuttaa muiden keilojen lukemiin, jolloin kaikkien keilojen signaalin voimakkuus kasvaa, eikä keilojen välinen vertailu enää poista tätä virheellistä kohdetta. Tällaisissa tapauksissa mittauksen virhenopeus saattaa olla pieni ja korrelaatio riittävän hyvä, vaikka todellisuudessa mitattu nopeuden arvo kuvaa veden liikkeen sijaan liikkuneen kalan nopeutta. Virheelliset kohteet voidaan tunnistaa datasetistä kaiun voimakkuuden äkillisinä hyppyinä ajan suhteen. Esimerkiksi Book et al. (2007) hylkäsi mittaustuloksen epäluotettavana, mikäli kaiun intensiteetin keskiarvossa havaittiin yli 20 dB:n nousu, jota seurasi heti seuraavana mitattuna ajanhetkenä yli 20 dB:n lasku (Taulukko 3.3).

3.3.5 Mittausprosessin prosentuaaliset arvot

ADCP tallentaa tietoa sisäisestä laadun tarkastuksestaan neljään eri prosentuaaliseen arvoon kaikkien syvyyssojien nopeusratkaisuille (Percent good values). Nämä lukuarvot kuvaavat prosentteja lähetetyistä signaaleista, jotka on hyväksytty tai hylätty nopeusratkaisun muodostuksessa tietyillä rajaehdoilla. Kyseisten arvojen ehdot on avattu taulukossa 3.4. Mikäli mittaukset eivät ole muutettu maakoordinaatistoon, prosentuaaliset arvot kuvaavat kunkin keilan onnistuneiden mittausten prosentuaalista määrää, jolloin keilojen prosentuaalisten arvojen halutaan saavan melko samoja arvoja ja olevan yli 25 % (RD Instruments, 2001a). Ilmatieteen laitoksen ADCP:n virtausmittaukset on kuitenkin aina muunnettu maakoordinaatistoon.

Maakoordinaatistossa PG1 ja PG4 kuvaavat tilanteita, jolloin nopeusratkaisu pystyttiin määrittämään laitteen sisäisen korrelaatio- ja kaikutestin läpäisyn jäl-

Taulukko 3.4: Mittausprosessista tallennetut prosentuaaliset arvot (RD Instruments, 2001a) mitausten ollessa maakoordinaatistossa. Selitteet eivät päde toidennäisissä koordinaatioistoissa.

PG1	%-osuus mittauksista, joiden nopeuratkaisu laskettiin kolmella keilalla. Eli tapaukset, jossa 3 keilaa läpäsi sisäisen korrelaatio- ja kaikutestin
PG2	%-osuus mittauksista, jotka ylittivät laitteelle asetetun virhenopeuden raja-arvon. Nopeusratkaisua ei voitu muodostaa.
PG3	%-osuus mittauksista, joissa on useampi kuin yksi huono keila kyseisessä syvyysolussa. Nopeusratkaisua ei voitu muodostaa.
PG4	%-osuus mittauksista, joiden nopeuratkaisu laskettiin kaikilla keiloilla. Eli kaikki neljä keilaa läpäisivät sisäiset korrelaatio- ja kaikutestit. Virhenopeuden arvo pystytään määrittämään.

keen. Näin ollen näiden lukuarvojen summa kuvaa sitä kuinka suurta osuutta kaikista lähetetyistä signaaleista käytettiin varsinaisen nopeusratkaisun muodostamiseen. Mikäli osuus mittauksista on liian pieni, voidaan olettaa, etteivät mittausolosuhteet olleet edustavat mittauksille. Tämän seuraksena kyseinen nopeusratkaisu merkitään kokonaisuudessaan epäluotettavaksi. PG3 kuvaa tilanteita, joilla nopeusratkaisua ei voitu muodostaa samoilla ehdoilla.

PG2 kuvaa muista lukuarvoista poiketen sisäisen virhenopeustestin mukaisesti hylätyt arvot. Virhenopeuden tarkempi määritelmä esitellään Kappaleessa 3.3.6. Yleensä kyseinen testi on poistettu päältä asettamalla laitteelle virhenopeustestin raja-arvoksi niin suuri arvo, että vain aivan varmasti väärät mittaukset hylätään (RD Instruments, 2001a). Tällä varmistetaan, ettei ADCP hylkää liian herkästi yhä kelvollisia mittauksia, sillä ne pystytään helposti poistamaan myös jälkiprosessoinnissa. Workhorse Sentinel ADCP:lle tämä kynnyсарvon oletusarvo on 2000 mm/s (RD Instruments, 2001a). Kyseisen arvon tarkastelu tehdään siis erikseen käyttö-tarkoitukseen sopivalla kynnyсарvolla (Kpl 3.3.6).

Symonds (2006) suosittelee tarkastelemaan kyseisiä arvoja PG1:n ja PG4:n summana siten, että epävarmat ja selkeästi virheelliset mittaukset eroavat 25 % toisistaan. Book et al. (2007) käytti Välimerellä vastaavilla syvyyssoiluilla ja taa-juuksilla toimivia mittalaitteita ja käytti kyseiselle prosenttitestille kynnsarvona 60 prosenttia. Koska olosuhteet, laitteet ja niiden asetukset vastaavat hyvin työssä tarkasteltavia mittauksia, tässä työssä käytetään myös 60 % :n kynnsarvoa epävarmoille mittauksille Taulukon 3.3 mukaisesti. Selkeästi virheellisille mittauksille käytetään kynnsarvona 35 %.

3.3.6 Virhenopeus

Virhenopeuden (error velocity) tarkastelulla voidaan havaita virheelliset mittaukset, jotka johtuvat mitattujen virtausten horisontaalisesta epähomogeenisuudesta tai laitteen toimintahäiriöstä. Nämä lukuarvot ovat muodostuneet kahden samanaikaisesti mitatun vertikaalinopeuden erotuksesta ja laitteen nopeusratkaisun ajanhetkelle tallennettu arvo on näiden erotusten keskiarvo tuona aikavälinä. Jos jostain syystä yksi laitteen keiloista ei ole toiminut, eikä nopeusratkaisua ole pystytty ratkaisemaan yhdestäkään lähetetystä signaalista ADCP antaa virhenopeudelle arvoksi -32768. Näille arvoille ei voida suorittaa kyseistä laaduntarkistustestiä.

Symonds (2006) suosittelee käyttämään kynnsarvojen määrittämisessä laitteen asennuksen yhteydessä määräytyvää pienintä hyväksyttävää keskihajontaa ($\sigma = \text{minimum acceptable standard deviation}$) Taulukon 3.3 mukaisesti. Tämä laitteen laske- kema teoreettinen keskihajonta perustuu nopeusratkaisu käytettävien signaalien lukumäärään, syvyyssoulun kokoon ja laitteen taajuuteen (Book et al., 2007). Keskihajonnan suuruuden vaihtelusta eri mittalaitteiden tapauksissa keskusteltiin jo kappaleessa 2.1.

Kyseinen testi tehdään kaiun ja korrelaation tarkasteluiden tapaan jo kerran keskiarvostetulle datalle. Koska nopeusratkaisu saadaan vain neljän keilan avulla

tehtävistä mittauksista ei testiä ole järkevä tehdä mittauksille, joiden nopeusratkaisu muodostuu lähinnä kolmen keilan mittauksista. Tarkastelua tehtäessä kannattaa siis tarkistaa, että PG4:n arvo on riittävän suuri (prosentuaalinen osuus mittauksista, joista saatiin keskiarvostettava virhenopeus). Tässä työssä virhenopeuden tarkastelulle käytetään Book et al. (2007) määrittelemää ehtoa, jossa tarkastelu tehdään vain, jos PG4:n arvo ylittää 10 %. Symonds (2006) myös huomautti, että mikäli mittaukset tehdään erittäin turbulenttisilla tai voimakkailla vesimassan muutosalueissa (suuret tiheysvaihtelut), kappaleessa määritellyt kynnyksarvot saattavat olla turhan tiukat. Vaihtoehtoinen tapa määrittää tarkempi kynnyksarvo löytyy mm. lähteestä Book et al. (2007).

3.3.7 Horisontaali- ja vertikaalinopeuksien seulonta

Symonds (2006) suosittelee tarkastelemaan horisontaalinopeuksien (u ja v) komponentteja sekä vertikaalinopeutta (w) Taulukon 3.3 mukaisin ehdoin. Testi tehdään datalle, josta on jo poistettu aiempien menetelmien (Kpl 3.3.1 - 3.3.6) hylkäämät mittaukset. Kyseinen menetelmä kuitenkin saattaa poistaa onnistuneita mittauksia, mikäli vertailuehdot ovat liian tiukkoja, eikä se toisaalta tunnista yksittäisiä virheitä datasetissä, mikäli mittauksen virtausnopeudet ovat liian pienet. Tästä syystä tässä työssä kyseistä menetelmää ei käytetä tehtäessä laaduntarkistusta. Menetelmä on kuitenkin listattu taulukkoon ja osana tekemääni ohjelmistoa, joten mikäli sen katsotaan sopivan kyseiseen datasetin käyttötarkoitukseen. Kyseisellä menetelmällä voi esimerkiksi poistaa vertikaalimittauksissa ilmeneviä eläinplanktonin liikkeitä, jotka vaikuttavat ainoastaan vertikaalimittausten laatuun.

3.4 Mittalaitteen liike

Kappaleessa 2.6 kerrottiin, kuinka ADCP mittaa asentoaan ja ottaa sen huomioon virtausten suuntia laskettaessa. Prosessissa tallennetut arvot kannattaa tarkistaa manuaalisesti niistä mahdollisesti aiheutuvien virheiden ja saatavan lisäinformaation takia. Mikäli nopeusratkaisun ajanhetken liikkeet vaikuttavat epäilyttäviltä tai epärealistisilta ne merkitään tilanteesta riippuen laatuleimoilla 2 (luultavasti hyvä) tai 3 (epäilyttävä).

Mikäli esimerkiksi ADCP on mitannut poikkeuksellisen suuria virtauksia pohjassa ja se on samana ajanjaksona kokenut tavallista suuremman kallistuskulman, voidaan olettaa virtausten todella olleen voimakkaita, sillä ne jopa kallistivat mittalaitetta. Versiota 5.0 uudemmat BroadBand ohjelmistot osaavat tunnistaa kallistuskulmat ja yhdistää keilojen syvyysolut todellisten syvyysten mukaan (RD Instruments, 2011), mutta tämä pienentää mittausalueen laajuutta, jolloin mittauksissa ei päästä yhtä lähelle pintaa.

Äkilliset liikkeet ADCP:n suunnassa saattavat häiritä sen paluusignaalien tulkintaa aiheuttaen poikkeavia virtausmittauksia. Yksittäiset lyhyet heilahtelut havaitaan ADCP:n sisäisessä tarkistuksessa, sillä tällaiset nopeasti heilahtelevat mittaukset eivät anna korreloivia paluusignaaleja. Tallennettu asentotieto on keskiarvostettu yksittäisten signaalien lähetyksen aikana tallennetusta tiedosta (RD Instruments, 2011), joten ne kuvaavat mittausaikavälin yleisiä muutoksia.

Toisinaan ADCP:n kompassissa on havaittu häiriöitä, joissa laitteen suunta (heading) on systemaattisesti ajautunut johonkin suuntaan, jolloin virtausmittausten suuntien korjauksissa on myös ollut systemaattista virhettä. Tässä työssä kyseisiin tilanteisiin ei paneuduta tarkemmin, sillä ongelmaa ei ole havaittu työn yhteydessä käsitellyllä datasetillä. Tarvittaessa aiheeseen voi tutustua Book et al. (2007)-raportista.

3.5 Laatuleimat

Tässä työssä virtausdatalle annetaan kahdenlaiset laatuleimat: SeaDataNet (2010) mukaiset numeroarvot 1 - 4, sekä kirjaimet (Taulukko 3.2), jotka toimivat selitteinä datan hylkäämiselle. Hylkäämisperusteita voi olla listattu useampi kuin yksi, mutta vain huonoimmat laatuleiman antanut selite kirjataan, jos eri testit antavat vaihtelevia laatuleimoja. Esimerkiksi, jos virtausmittauksen yksi ajanhetki saa korrelaatio- ja prosenttitestissä laatuleimat 4, selitetiedostossa lukee CP. Jos mittaus hylätään korrelaatiotestillä arvolla 4, mutta prosenttitesti saa arvon lukee selitetiedostossa vain C. Testit tehdään aina Taulukon 3.2 esittämässä järjestyksessä, joten myös selitteiden koodit menevät tässä järjestyksessä. Mikäli laaduntarkkailussa käytetään horisontaali- ja vertikaalinopeuksien maksimiarvoja, tulee kullekin datalle tehdä erilliset laatuleimatiedostot, sillä esimerkiksi elänplanktonin liike vaikuttaa usein ainoastaan pystynopeuksien mittausten laatuun.

4. Lövskärin alueen virtausten laaduntarkastus

4.1 Metadata

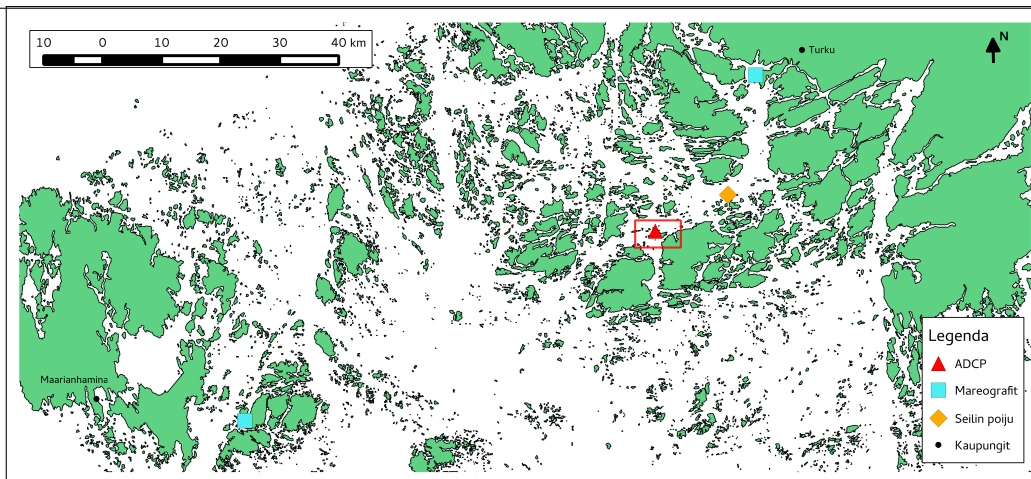
Työssä prosessoidut mittaukset suoritettiin Teledyne RD Instrumentsin 300 kHz:llä Workhorse Sentinel ADCP:llä vilkkaasti liikennöisyn Lövskärin ristin alueella. Mittauspiste sijaitsee kahden syvemmän väylän risteyksessä tiheästi liikennöidyn laivaväylän vieressä (Kuva 4.1b). Tarkemmat tiedot asennuksesta löytyvät Liitteestä A taulukosta ja asennusolosuhteet on havainnollistettu jo aiemmin Kuvassa 2.3.

4.2 Rajaaminen

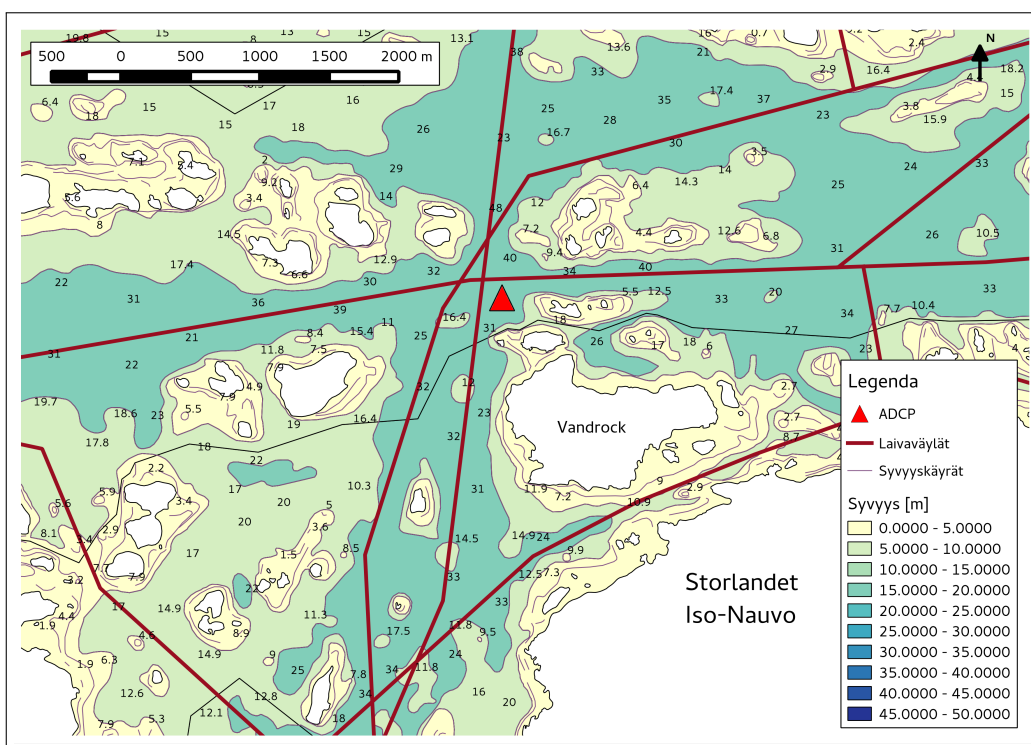
4.2.1 Aloitus- ja lopetusaika

Mittalaite käynnistettiin neljä päivää ennen mereen asentamista ja se sammui 6 päivää noudon jälkeen. Nämä tilanteet on helppo erottaa datasetistä, sillä laite ei ollut tuottanut lainkaan nopeusratkaisua näinä ajanjaksoina ensimmäisen kahden syvyysolun jälkeen. Ensimmäinen (299. ajanhetki) ja viimeinen (10965. ajanhetki) meressä tehty mittaus merkitään selkeästi virheelliseksi dataksi (laatuleima 4, selite R) kappaleen 3.2.1 käytäntöjen mukaan.

Asennustietojen mukaan asennus oli valmis 18.6.2013 09:30 UTC. Tämä tar-



(a) Saaristomeri

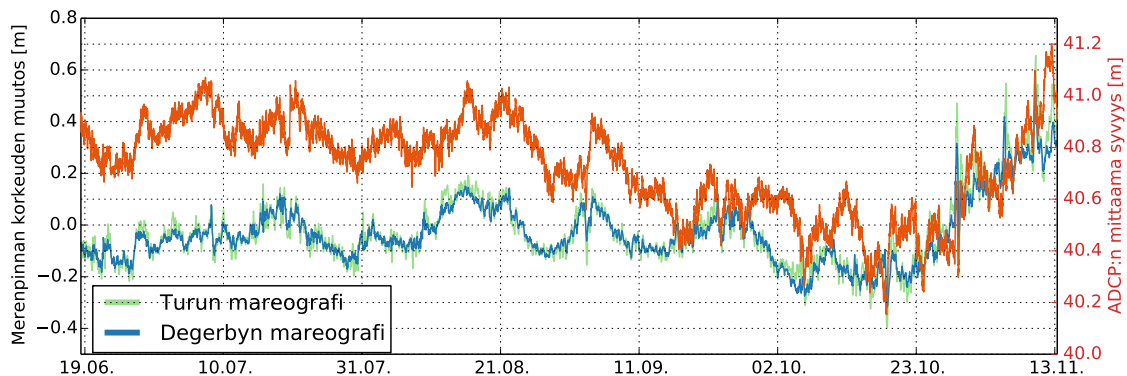


(b) Lövskärin risteys

Kuva 4.1: Karttoihin on merkitty käytettyjen mittalaitteiden sijainnit ja Lövskärin risteuksen sijainti on merkitty Saaristomerien karttaan punaisella suorakulmiolla. Alemmassa kartassa näkyy lähialueen pohjanmuodot. Numeroarvot kartassa kuvaavat merikortteihin merkittyjä syvyysarvoja metreinä. Saaristomerien kartassa hyödynnettiin Euroopan ympäristökeskuksen tarjoamia ranta-
viivatietoja ja Lövskärin risteys -kuvan tiedot saatiin Liikenneviraston avoimista merikartoista.

koittaa, että asennus oli käynnissä vielä toisen (300. ajanhetken) nopeusratkaisun muodostamisen aikana ja se saattoi vielä vaikuttaa mittaustuloksiin. Asennukseen kuitenkin kuuluu laitteen pohjaan asettamisen jälkeen vielä vapauttimen asettaminen pohjaan jonkin matkan päähän mittalaitteesta. Asennuksesta ei valitettavasti ollut jäänyt asiakirjaa, johon itse mittalaitteen asennusajanhetki oli tallentunut (Tuomo Roine, henkilökohtainen tiedonanto). Mittalaite on kuitenkin tallentanut luottavan näköisiä arvoja toiselta mittaukseltaan, jolloin voidaan melko varmasti olettaa mittalaitteen olleen jo asettunut pohjaan. Kyseiselle mittaushetkelle kuitenkin asetetaan luultavasti hyvän arvon laatuleima, varimmman "hyvän" sijaan (laatuleima 2, selite R).

4.2.2 Merenpinnan korkeus

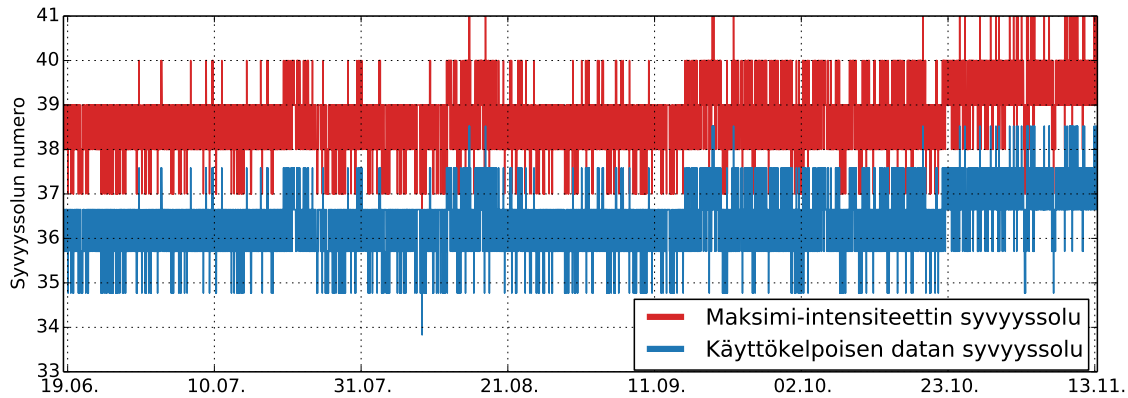


Kuva 4.2: Kahden Saaristomerellä sijainneen mareografin (Kuva 4.1) mitaamat vedenkorkeuden vaihtelut teoreettiseen keskiveteen verrattuna, sekä ADCP:n paineanturin mittaa syvyys (oranssi kuvaaja). Kaikki laitteet ovat havainneet samanlaista ja suuruista merenpinnan vaihtelua alueella. Valtaosan mittausjatksoista merenpinnan muutos on ollut alle 40 cm luokkaa, mutta marraskuussa merenpinta on noussut lähes metrin.

Käytössä olleessa ADCP:ssä oli mukana paineanturi, jonka lukeman ja kaavan 3.1 avulla määritettiin hetkellinen kaukaisin syvyyssolu, joka voidaan sivukeilan häirinnän seuraksena mitata, kuten kappalessa 3.2.2 esitettiin. Alueen vedenpinnan korkeuden vaihtelut olivat kuitenkin mitausten ja lähialueen Ilmatieteen laitoksen

mareografien (sijainti näytetty kuvassa 4.1) mukaan selkeästi laitteen syvyysolun resoluutiota (1 m) pienempiä, joten kyseisessä tilanteessa laitteen maksimisyvyysolu pysyi lähes koko mittausjakson ajan vakiona. Merenkorkeuden ja paineen vaihtelut on havainnollistettu Kuvassa 4.2.

Mittauksissa näkyy lokakuun lopulla ajanjakso, jolloin merenkorkeus nousi voimakkaammin (noin 60 cm). Tämä nousu näkyy myös maksimi-intensiteetin syvyysolujen jakautumisen siirtymisenä yhtä korkeammalle syvyysolulle (Kuva 4.3). Tämä indikoi mahdollisesti yhtä käyttökelposta syvyysolua lisää kyseisenä ajanjaksona.



Kuva 4.3: Kuvajasssa näkyy maksimi-intensiteetin saaneen syvyysolun numeron (punainen) eli todennäköisen merenpinnan sijainnin sekä sen perusteella Kaavalla 2.2 lasketun läheisimmän hyväksyttävän kerroksen (sininen) syvyysolun. Maksimi-intensiteetti hyppii lähinnä 38. ja 39. syvyysolun välillä, mikä indikoi merenpinnan sijaitsevan jossain näiden syvyysolujen keskipisteiden välillä (katso Kuva 2.5) ja 34. syvyysolun olevan pintaa lähin hyväksyttävä syvyysolun. Kuvasta voidaan myös havaita maksimi-intensiteetin kerroksen nousseen yhdellä 23.10. jälkeen, jolloin saadaan yksi tarkastelukerros lisää.

Tarkastelussa havaitaan, merenpinnan olevan noin 38. syvyysolun korkeudella ja tämän yläpuoliset, ilmasta mitatut lukuarvot, poistetaan kokonaan datasetistä. Pinnan läheisyydessä olevat voimakkaan sivukeilan vaikutuksen alaisuudessa olevat syvyysolun merkittiin selkeästi virheellisiksi (laatuleima 4, selite R). Tämän tarkastelun mukaan viimeinen käyttökelpoinen syvyysolun on 34. solu, joka on keskimää-

rin 4 metrin syvyydellä. Seuraavassa kappaleessa tehtävä laaduntarkastus tehdään vain tätä alemmille syvyyssoluille sekä tarvittaessa erikseen 35. syvyyssolun sille ajanjaksolle, kun merenpinnan korkeus oli tavanomaista korkeammalla.

4.3 Laaduntarkastus

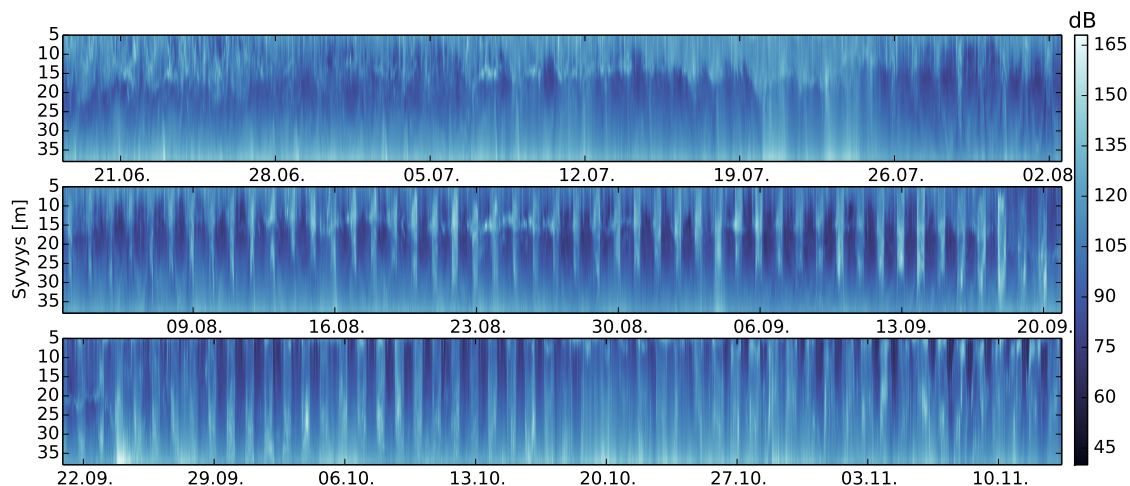
4.3.1 Korrelaatio

Korrelaation perusteella (Kpl 3.3.3) mittauksia hylättiin vain ensimmäiseltä ja viimeiseltä mittausajanjaksolta (asennusajanhetket). Mittalaitteen liikkuminen asennusajanhetkillä heikensi korrelaatiota asennusajanhetkillä.

4.3.2 Kaiku

Kaiun intensiteettiä tarkastelemalla pyrittiin havaitsemaan mahdollisia vääränlaisia sirottajia, kuten kaloja tai vauhdilla liikkuvia eläinplanktoniparvia (Kappale 3.3.4). Book et al. (2007) menetelmän eli yli 20 dB hyppäyksien huomioimisen lisäksi tarkastelin myös voimakkaampia, 30 dB:n, hyppäyksiä aikasarjassa ja tein testin keskiarvon lisäksi myös yksittäisille keiloille. Vertasin näitä testin hylkäämiä ajanhetkiä virtausnopeuksien magnitudeihin, sillä jos kyseessä olisi vääränlaisen sirottajan aiheuttama kaiku sen kuuluisi luoda piikki virtausnopeuteen.

Jos kaiun intensiteetissä oli esiintynyt yli 20 dB:n hyppyjä usemassa kuin kahdessa keilassa virtauksissa näkyi toisinaan piikkejä, mutta kaiken kaikkiaan kyseinen tarkastelu vaikutti ainakin Saaristomeren olosuhteissa lähinnä poistavan suurelta osin kelvollisia mittauksia. Testin havaitseman selkeästi virheelliset mittaukset rajautuvat pois datasetistä myös muiden laaduntarkistusmenetelmien myötä, joten päätin jättää kyseisen laaduntarkistusmenetelmän käyttämättä tälle datasetille.



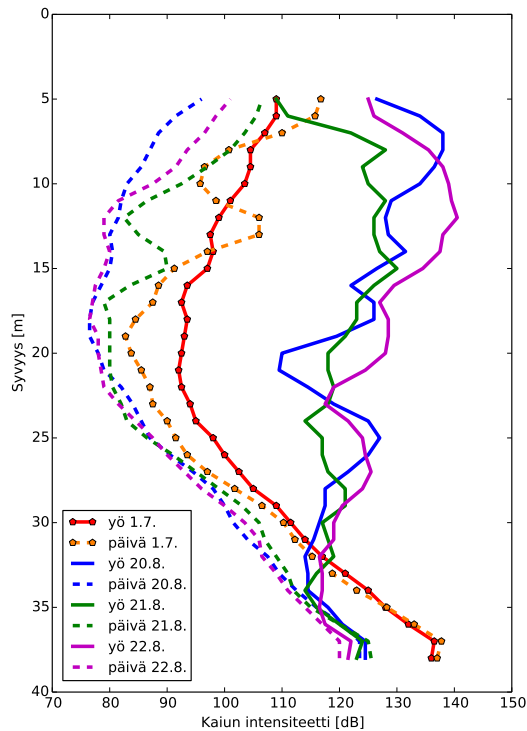
Kuva 4.4: Kaiun intensiteetin jakauma mittausjakson aikana. Mittauksen aikasarja on jaettu kolmeen osaan ja y-akseli kuvaa syvyyslolin syvyyttä merenpinnasta. Termokliini noin 15 m syvyydellä voimistaa hieman signaalia. Heinäkuun lopussa datassa alkaa näkyä voimakasta vuorokausivaihtelua.

Vuorokausivaihtelu

Kaiun voimakkuus on vesipatsaassa suurimmillaan lähellä mittalaitetta ja pintaa, jossa kaiku taas pinnan voimakkaan sivukeilan heijastuksen myötä kasvaa. Lisäksi voimakkaammat tiheydenmuutoskerrokset, kuten termokliini saattavat näkyä intensiteetissä kasvavina arvoina.

Lövsjärin mittauksissa alkaa kaiun intensiteetissä näkyä voimakasta vuorokausivaihtelua heinäkuun lopun tienoilla (Kuva 4.4). Yön voimakkaampi intensiteetti alkaa kesän edetessä levenemään aina mittauksen loppuun asti. Kyseinen ilmiö on selitettävissä yksivuotisen eläinplanktonin vuorokausi- ja vuosisyklillä (Harri Kuosa, henkilökohtainen tiedonanto). Kuva 4.5 esittelee muutaman ajanjakson kaiun intensiteetin jakaumia vesipatsaassa. Niistä nähdään päivisin intensiteetin käyttäytyvän perinteiseen tapaan, mutta öisin koko vesipatsaan intensiteettijakauma muuttuu homogeenisemmaksi ja voimakkaammaksi. Heinäkuun alussa vastaavaa eroa ei yön ja päivän välillä ole vielä havaittavissa.

Tämän käytöksen ei havaittu vaikuttavan merkittävästi mittauksen laatuun,



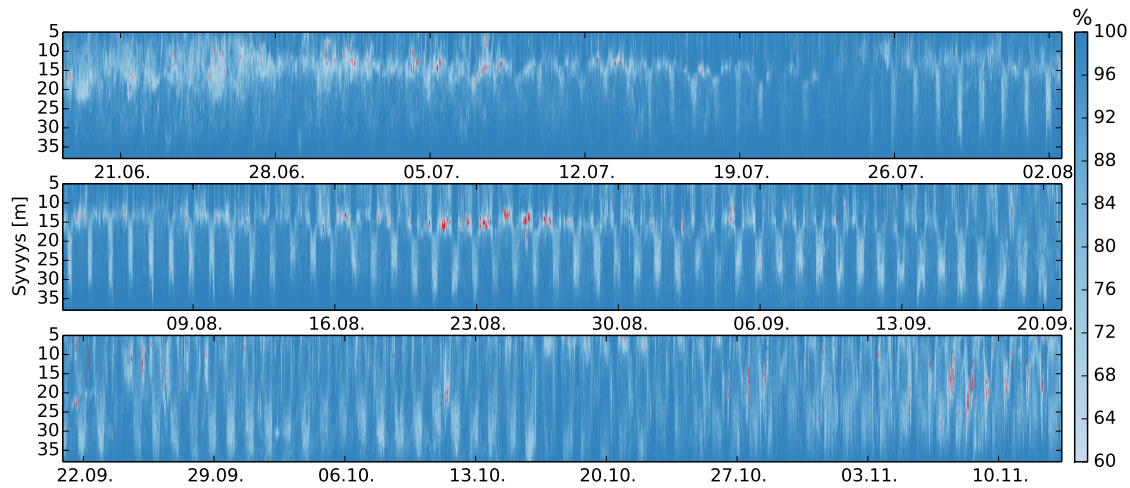
Kuva 4.5: Intensiteetin syvyysprofileja eri päivinä. Profilit ovat tunnin keskiarvoja keskiyön ja -päivän (UTC) ympäristössä. Elokuun profileissa näkyy öisin sirottajien lisääntymisen vuoksi poikkeava voimakkaampi ja tasainen intensiteettijakauma, kuten myös Kuvassa 4.4 nähdään. Kesäkuussa vastaavaa eroa vuorokaudenajan mukaan ei havaita.

vaikkakin kaiun myötä vastaava vuorokausivaihtelu heijastui myös prosentuaalisiin arvoihin (Kpl 4.3.3). Esimerkiksi nopeusratkaisu saatiin öisin noin 70 - 90 prosentista signaaleista kun taas päivisin arvo oli yleisesti lähempänä 100 prosenttia. Eläinplanktonin vertikaalisuuntainen liike suurina massoina saattaa myös vaikuttaa laitteen sisäiseen laaduntarkkailuun ja siten tarjoaa virheellisiä vertikaalinopeuksia mittauksissa. Tämä ilmiö on havaittu myös esimerkiksi Bender ja DiMarco (2008) -raportissa. Tämä ilmiö tulee muistaa huomioida vertikaalinopeuksia tarkastellessa.

4.3.3 Prosentuaaliset arvot

Lövsjärin mittauksissa prosentuaalisesti hyvät arvot (Kpl 3.3.5) vaihtelivat kaiun intensiteetin tavoin voimakkaasti vuorokaudenajan mukaan. Kuvasta 4.6 nähdään, että mittausjakson alussa yksittäiset signaalit epäonnistuivat mittauksissaan lähinnä termokliinin alueella esimerkiksi 23.8. aikoihin. Vuorokausivaihtelun alkaessa näkyä kaiussa, termokliinin alaiset mittaukset muuttuvat osin vähemmän luettaviksi, kun taas kaiun intensiteetistä poiketen vastaava ilmiö näkyy päivisin termokliinin ylä-

puolella. Mittauksista pystytään siis havaitsemaan useampien erilaisten eläinplanktonien liikehdintää (Kpl 4.3.2). Kuva 4.7 havainnollistaa tarkemmin yksittäisen vuorokauden prosentuaalisia laatukertoimia. Siitä nähdään mittausten laadun olleen huonompaa lähinnä öisin termokliinin alapuolella ja iltaisin termokliinin yläpuolella sekä mittausten prosentuaalisen onnistumisen yleinen jakautuminen.

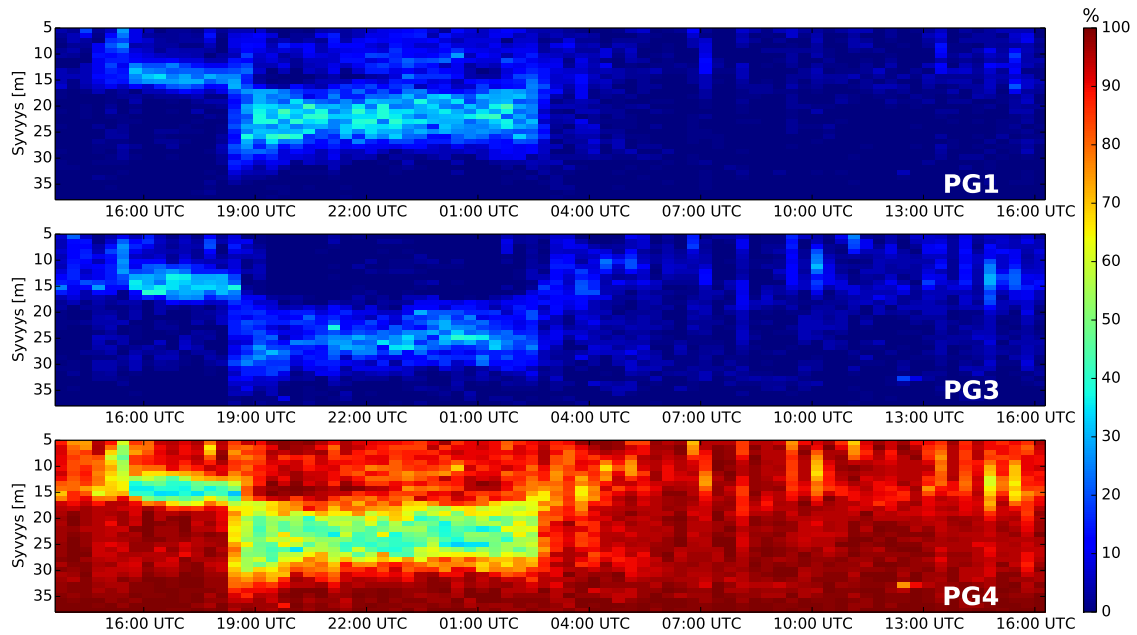


Kuva 4.6: Prosentuaalinen osuus yksittäisistä mittauksista, joilla laite pystyi laskemaan nopeusratkaisun (PG1+PG4). Alle 60 % arvot hylättiin laatuleimalla 3 ja ne näkyvät kuvaajassa sinisinä arvoina. Vihreät arvot kuvaavat lähes täydellisesti onnistunutta mittausjaksoa, vaaleammat arvot hieman vähemmän onnistuneita, mutta silti riittävän luotettavia mittauksia.

Tässä testissä laatuleimalla 4 (< 35 % yksittäisistä mittauksista onnistui) hylättiin korrelaation tavoin arvoja ensimmäisestä ja viimeisestä mittauksesta. Muutoin epäluottavia mittauksia (laatuleimalla 3) saatiin lähinnä termokliinin läheisyydestä ja loppusyksystä.

4.3.4 Virhenopeus

Lövsjärin datasetin keskihajonta oli 12,4 mm/s, joten virhenopeuden perusteella yksittäiselle nopeusratkaisulle annettiin laatuleima 3, jos sen virhenopeuden arvo ylitti 62 mm/s ja laatuleima 4, mikäli arvo oli yli 124 mm/s (Kpl 3.3.6). Epäluotettavat nopeusratkaisut ovat sijoittuneet melko takaisesti eri puolelle datasettiä.



Kuva 4.7: Kolme eri prosentuaalista arvoa yhdeltä vuorokaudelta (5.-6.9.2013). PG1 arvot kuvaavat osuutta mittauksista, jotka suoritettiin 3 keilaa käyttäen, PG3 osuuksia, joilla nopeusratkaisua ei pystytty saavuttamaan ja PG4 arvot optimitilannetta, jossa mittaukset pystyttiin suorittamaan kaikilla neljällä keilalla.

4.4 Mittalaitteen liike

ADCP tarkistaa joka signaalin yhteydessä laitteen asennon meressä, jolla se korjaa virtausten suunnat maakoordinaatistoon ja tarkistaa eri keilojen syvyyssojujen osuvuuden (Kpl 2.6 ja 3.4). Lopulta laite tallentaa tiedon nopeusratkaisun tavoin keskiarvostettuna lukuarvona.

Tarkastelemalla Lövskärin asennuksen liikkeitä (Kuva 4.8) huomataan, ettei mittauksissa ole laitteen kompassin virheellisen toiminnan aiheuttavaa systemaattista virhettä (Kuva 4.8, ylin kuvaaja) tai ajautumista johonkin suuntaan. Kallistuskulmissa näkyy useita 1-2 asteen muutoksia. Mittaukset on suoritettu käyttäen uudempaa ohjelmistoa, joten kallistuskulman aiheuttamat ongelmat eri keilojen syvyyssojujen sijainneissa on korjattu laitteen toimesta. Esimerkiksi kahden asteen kallistus ADCP:ssä aiheuttaa kahden eri keilan 35. syvyyssojujen todellisessa syvyys-

dessä lähes 90 cm eron, joten keilat olisivat ilman korjausta verranneet paluusignaaleja lähes metrin verran väärältä syvyydeltä. Nämä tilanteet kuitenkin heikentävät pinnan läheisten syvyyssolujen laatua.

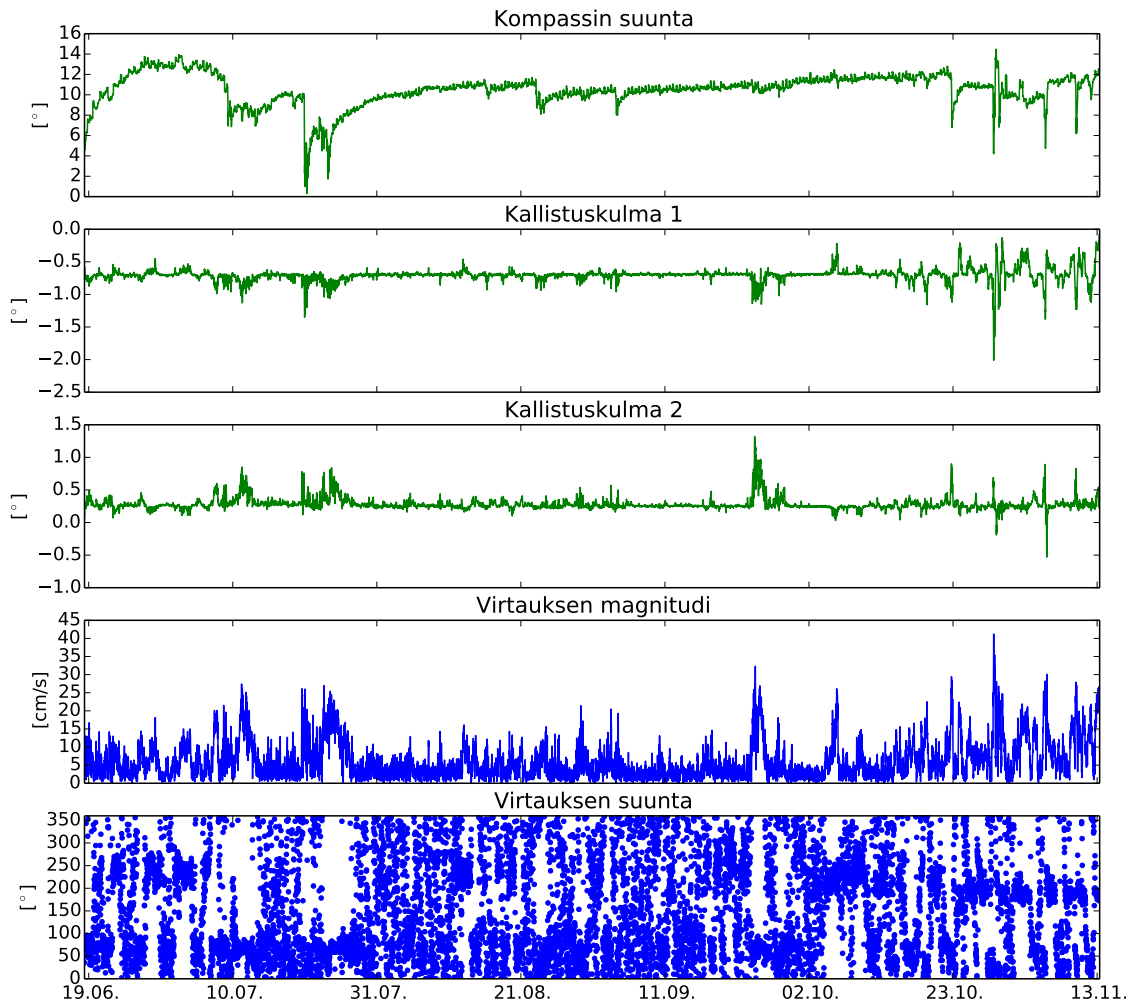
Vertaamalla laitteen asennon muutoksia laitteen läheisimmän syvyyssolun mittauksiin, jotka suoritettiin noin 3,5 metrin etäisyydeltä asennusalueelta (Kuva 2.3) huomataan, että voimakkaampi liikehdintä sijoittuu juuri voimakkaampien virtausjaksojen ajalle, jolloin liikkeet näyttäisivät olevan virtausten ajamia. Käytetyn asennusalueen pyöreä muoto (Kuva 2.2b) auttoi hieman hillitsemään pintamittauksia häiritseviä kallistuksia.

Myös kompassin suunta eli kokee voimakkaita muutoksia kovempien virtausolosuhteiden vallitessa, eli laite pyörii myrskyisemmissä olosuhteissa. Muun muassa Book et al., 2007 mainitsee myrskyt mahdollisiksi laitteen pyörintää aiheuttaviksi tekijöiksi. Laitteen pyöriminen akselinsa ympäri ei itsessään haittaa mittauksia, mutta erityisen äkilliset hyppäykset (kuten Kuvan 2.3 ajanhetken 20.7. mittaus) merkitään laatuleimalla 2 (luultavasti hyvä, selite L).

4.5 Laaduntarkastuksen koonti

Lövsjärin datasetti oli testien perusteella erittäin hyvälaatuista. Mittauksissa ei ole ole suuria aukkoja, ja ainoastaan elokuun loppupuoliskolla (23.8. aikoihin) on pitempi ajanjakso, jolloin termokliinin läheiset mittaukset onnistuivat useampaan otteeseen huonosti (Kuva 4.6).

Taulukko 4.1 näyttää eri perusteiden hylätyn datan määrän suhteessa kaikkiin mittauksiin. Kappaleessa 4.2.2 hylättyjä kerroksia ei otettu mukaan käsittelyyn. Sivukeilan ja asennusajan hylkäysten jälkeen datasetistä karsiutui epäilyttävinä ja virheellisinä mittauksia pois ainoastaan prosentuaalisten testien ja virhenopeuden perusteella. Prosentuaaliset testit hylkäsivät heidän enemmän arvoja, mutta kyseiset arvot sijoittuivat lähinnä termokliinin alueelle, jossa on runsaasti aktiivisia sirot-



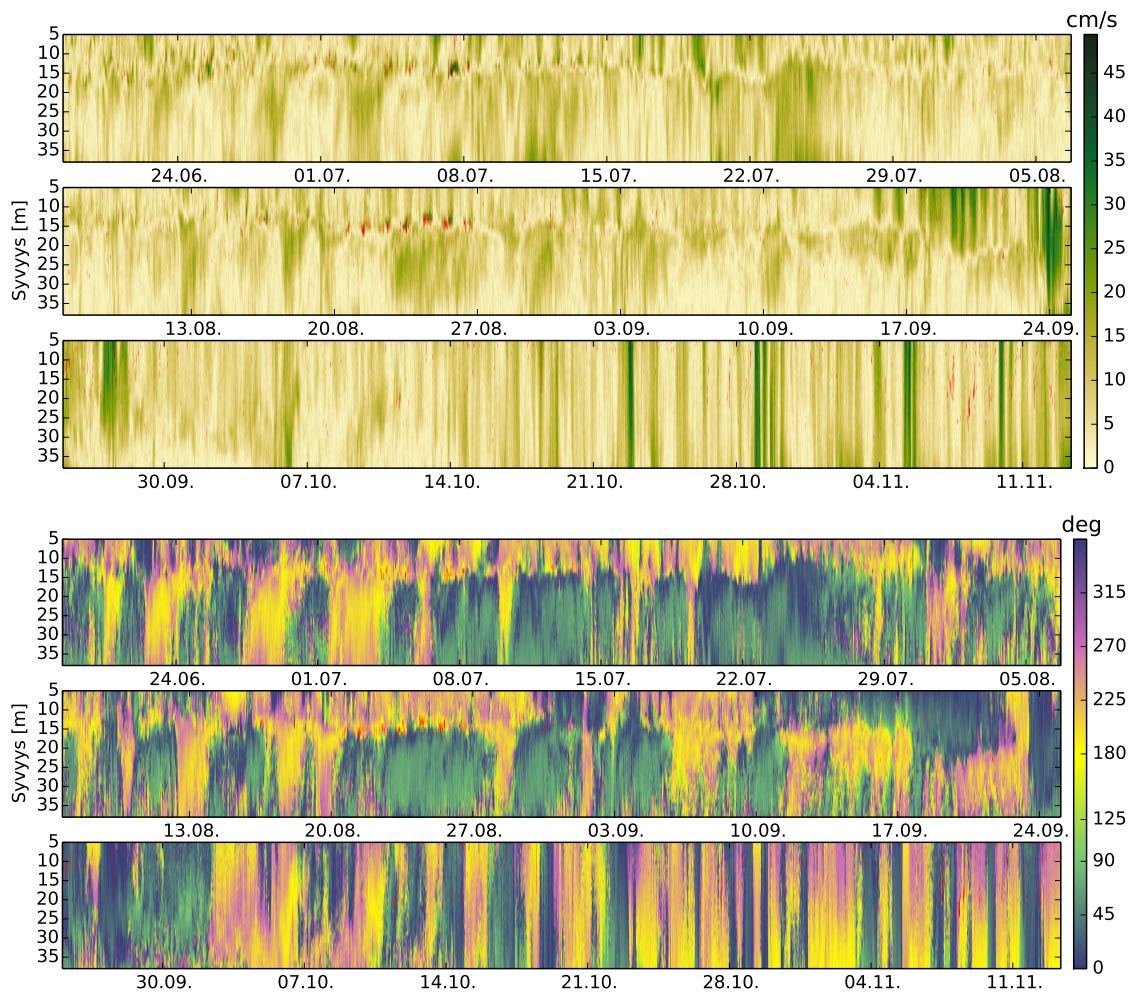
Kuva 4.8: Mittalaitteen tallentama suunta (heading) ja kallistuskulmat (pitch ja roll), sekä pohjan läheisimmän, ensimmäisen syvyysolun, virtauksen voimakkuus ja suunta (siniset kuvaajat). Virtausmittaukset ovat keskimäärin 3,5 metrin etäisyydellä mittalaitteesta.

tajia, joiden liike häiritsee homogeenisuuden oletusta mittauksissa. Virhenopeuden perusteella hylätyt arvot ovat jakautuneet tasaisemmin. Kyseiset testit hylkäsivät saman mittauksen 21 tapauksessa, eli yhteensä tältä alueelta hylättiin 1136 arvoa, mikä on noin 0,31 % mittauksista.

Taulukko 4.1: Hylättyjen pisteiden lukumäärä ja osuus datasetissa, josta on jätetty kappalleessa 3.2: "Rajaaminen" hylätyt arvot tarkastelun ulkopuolelle. Myöskään marraskuun 35. syvyysolun arvoja ei ole lisätty. Kaikenkaikkiaan osuudet laskettiin $N = 362\,270$ arvosta. Testien kynnyсарvot on esitetty taulukossa 3.3.

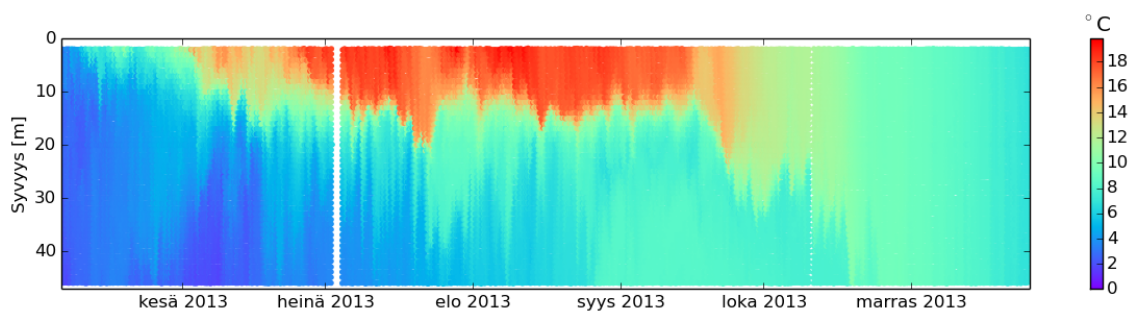
Laatuleima	3	4
BIT	0 % (N = 0)	Ei määritellä
Korrelaatio	0 % (N = 0)	0 % (N = 0)
Kaiku	Ei käytetty datasetille	
Prosentualiset arvot	0,19 % (N = 705)	0,001 % (N = 4)
Virhenopeus	0,12 % (N = 447)	0,0003 % (N = 1)

5. Lövskärin virtaukset



Kuva 5.1: Aikasarja Lövskärin ristin virtausten voimakkuuksista ja suunnista. Aika-akselilla näkyy päivämäärä ja kuukausi ja y-akselilla syvyys merenpinnasta. Värikartta kuvaan virtauksen voimakkuutta tai suuntaa. Punaisella merkityt arvot ovat laaduntarkkailussa hylättyjä alueita. Kuvaajasta on havaittavissa voimakas kaksikerrosrakenne 23.9. asti.

Lövsjärin risteys (Kuva 4.1) sijaitsee kahden syvän uoman risteämässä Saaris-
 tomeren sisäosissa. Koko vesipätsaassa virtaukset ovat 74 % ajasta alle 10 cm/s ja
 mittausjakson keskimääräinen virtausnopeus on 7,5 cm/s. Alueen virtausnopeus-
 sa on kuitenkin suurta vaihtelua nolasta lähes 50 cm/s nopeuksiin (Kuva 5.1). Suu-
 rimmat nopeudet havaittiin pääosin syksyllä. Virtausnopeudet ja niiden vaihtelu on
 samaa luokkaa 70-luvulla Saaristomerellä Airiston seudulla tehtyyn laajaan virtaus-
 tutkimukseen, jossa mitattiin 4 vuoden ajan toukokuusta marraskuuhun virtauksia
 useilla eri asemilla (Virtaustutkimuksen neuvottelukunta, 1979). Mittauksiin ei siis
 sisältynyt arvoja talvelta. Yksi Virtaustutkimuksessa käytetyistä mittausasemista
 sijaitsi nykyisen Seilin aseman lähellä. Tässä pisteessä voimakkaimmat virtaukset
 mitattiin keskimäärin heinä-elokuussa ja ne olivat pääasiassa 30 cm/s luokkaa. Vir-
 tausnopeuden kuukausikeskiarvo vaihteli kaikilla mittaussyvyyksillä 1-10 cm/s vä-
 lillä.



Kuva 5.2: Seilin automaattisen vedenlaadun seuranta-aseman lämpötilamittaukset.

Lövsjärin virtaukset ovat vahvasti kerrostuneet alueella vallinneen voimak-
 kaan termokliinin vaikutuksesta 23.9. asti. Mittauspisteessä ei tehty muita kuin vir-
 tausmittauksia, joten varmistaakseni kerrostuneisuuden yhteyden termokliinin si-
 jaintiin tarkastelelin noin 10 km etäisyydellä sijainneen Seilin poijun (O. Loisa ja
 Kääriä, 2017) lämpötilamittauksia (Kuva 5.2)¹. Vertailemalla lämpötilamittausten
 termokliinin sijaintia ja muutosta ajassa virtausten kerrostuneisuuden muutoksiin,

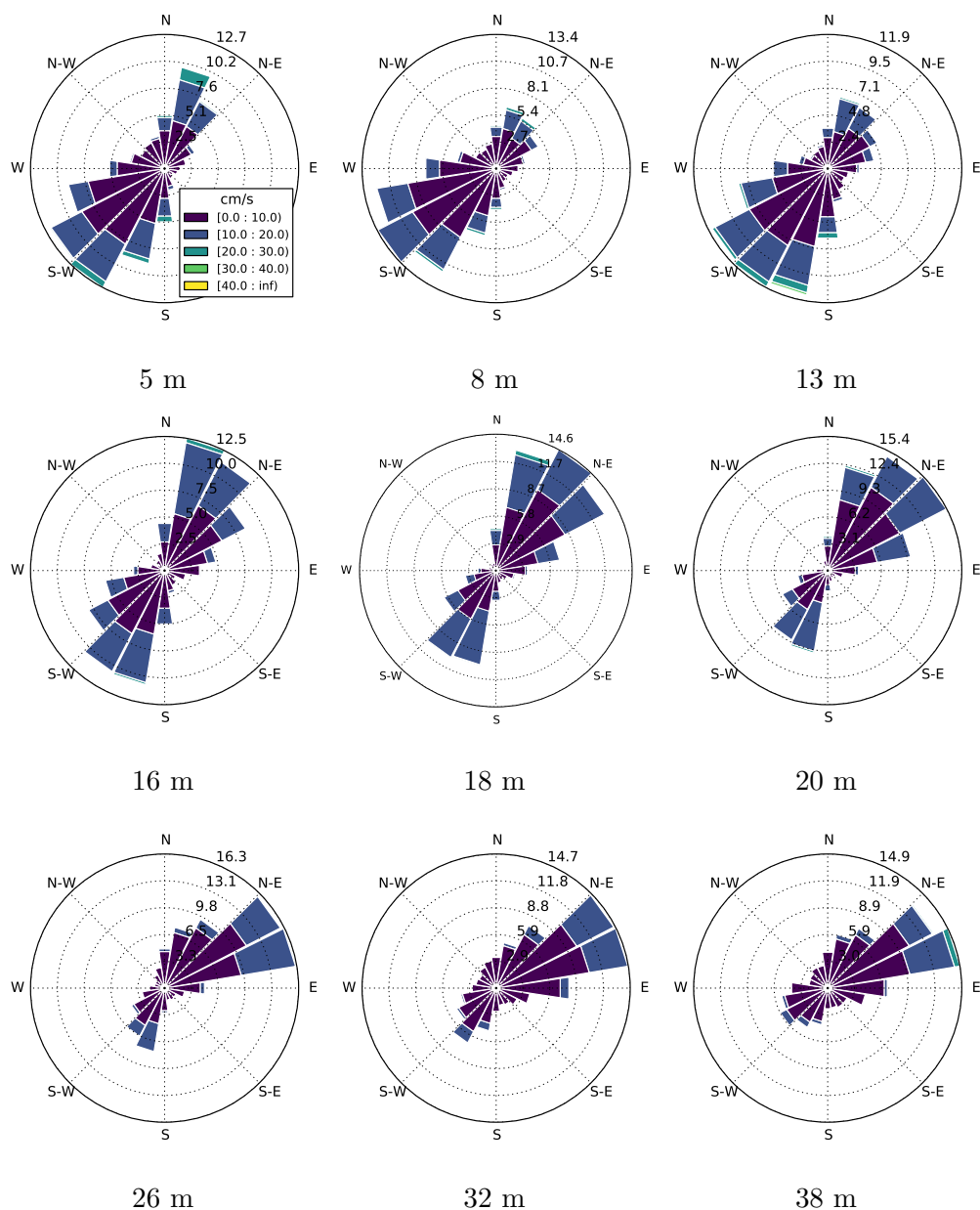
¹Tarkastelussa hyödynnetyt Seilin lämpötilamittaukset on suoritettu Seilin automaattisella ve-
 denlaadun mittausasemalla profiloivalla ODAS-pojjulla. ODAS (Ocean Data Acquisition Systems)

voidaan havaita niillä olevan selkeä yhteys. Lämpötilakuvaajasta nähdään muun muassa, että termokliinin sijaitsee virtauksia voimakkaasti jakavan kerroksen tapaan keskimäärin 15 metrin syvyydellä heinä-syyskuun ajan. Myös syyskuun 24. päivän voimakas sekoittuminen syvemmälle vesipatsaaseen on havaittavissa molemmissa dataseiteissä. Syyskuun lopussa termokliinin kadottua virtauskenttä on vertikaalisesti huomattavasti homogeenisempi.

Lövsjärin virtaukset kulkeutuvat merialueen pohjan topografian ajamana kahteen pääsuuntaan: koilliseen ja lounaaseen (Kuva 4.1). Tarkastellessani virtaus suunnan muutoksia erilaisissa virtausolosuhteissa jaoin datasetin kerrostuneisuuden perusteella kesään (18.6.–18.9.2013), kun mittaukset olivat selkeästi kerrostuneet ja käännöskerros pysyi melko tasaisesti samalla syvyydellä, ja syksyyn (14.10.–13.11.2013), kun kerrostuneisuus oli jo täysin kadonnut. Kesällä pintakerroksessa vallitsevin virtaussuunta oli lounaaseen (Kuva 5.3). Termokliinin, eli 16 metrin syvyydellä, virtaukset ovat jakautuneet melko tasaisesti tyypillisiin pääsuuntiin. Tämän jälkeen virtaukset kuitenkin kääntyvät voimakkaammin koilliseen. Syvyyden kasvaessa koillisen virtaukset kääntyvät termokliinin seudun pohjoiskoillisesta enemmän itäkoilliseen. Syksyn pintavirtaukset ovat kesän tapaan pääosin lounaan suuntaan, mutta valtaosa voimakkaista, yli 30 cm/s virtauksista, ovat pohjoiskoillisen suuntaan (Kuva 5.4). Ylipäänsä syksyllä esiintyi huomattavasti enemmän ajankohdita, jolloin virtaukset saivat suuria arvoja. Yleisesti virtausjakauma vastasi syksyllä kesän termokliinin yläpuolisen kerroksen jakaumaa, mutta lähestyessä pohjaa suuntajakauma kaventuu ja kääntyy vallitsevasta länsilounaasta pohjoislounaaseen.

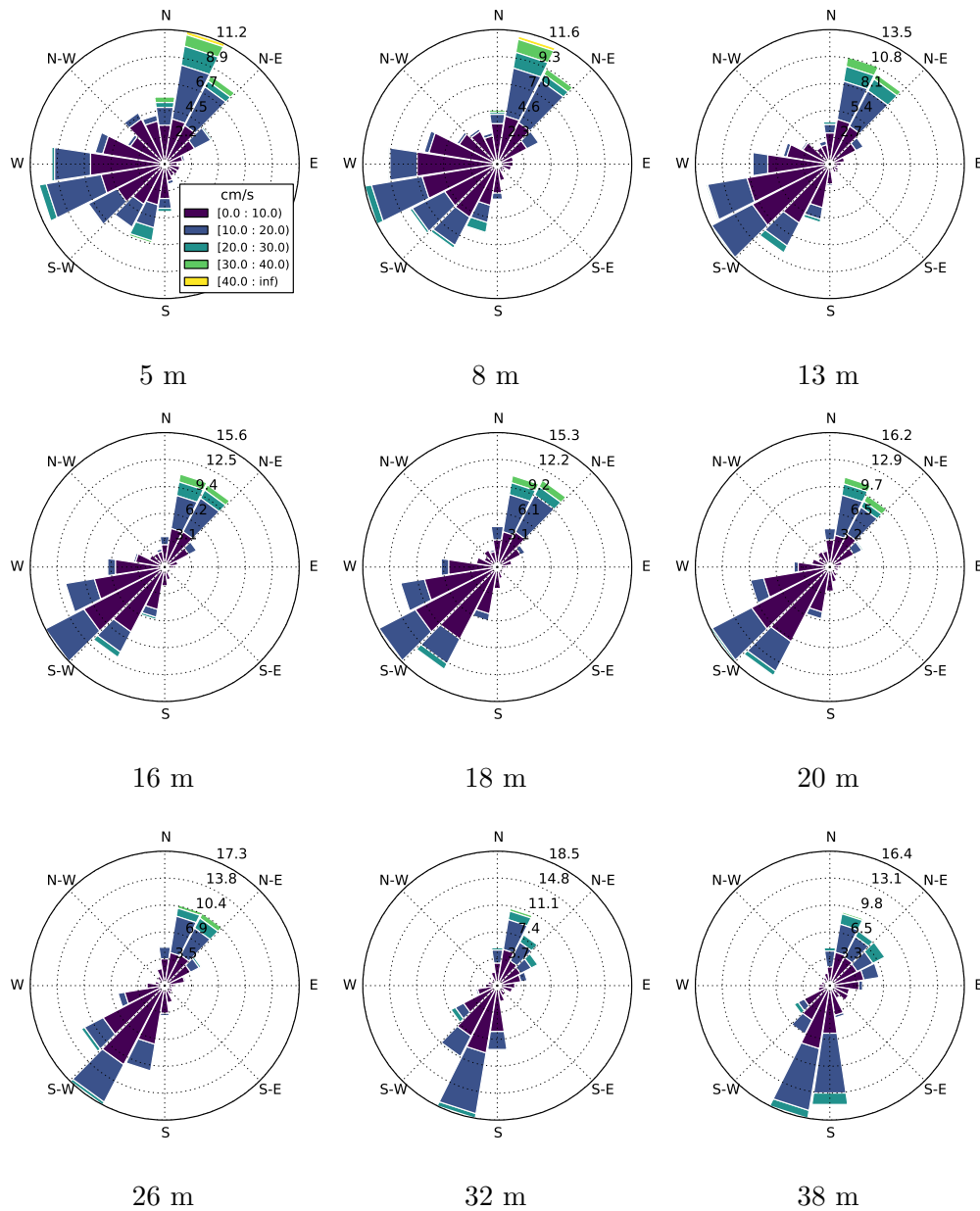
Kerrostuneisuus vaikuttaa lisäksi yleisiin virtausprofiilien muotoon vesipatsaassa. Voimakkaan termokliinin aikaisten virtausprofiilit saavuttavat toisen maksimin termokliinin seudulla (Kuva 5.5a), kun taas myöhemmin vastaavaa profilia ei

-poijun seuranta toteutetaan yhteistyössä Turun ammattikorkeakoulun, Turun yliopiston Saaristomeren tutkimuslaitoksen, Ilmatieteen laitoksen ja muiden FINMARI-yhteistyökumppaneiden kanssa. Työssä käytetty prosessoitu data saatiin käyttöön Turun Ammattikorkeakoululta.



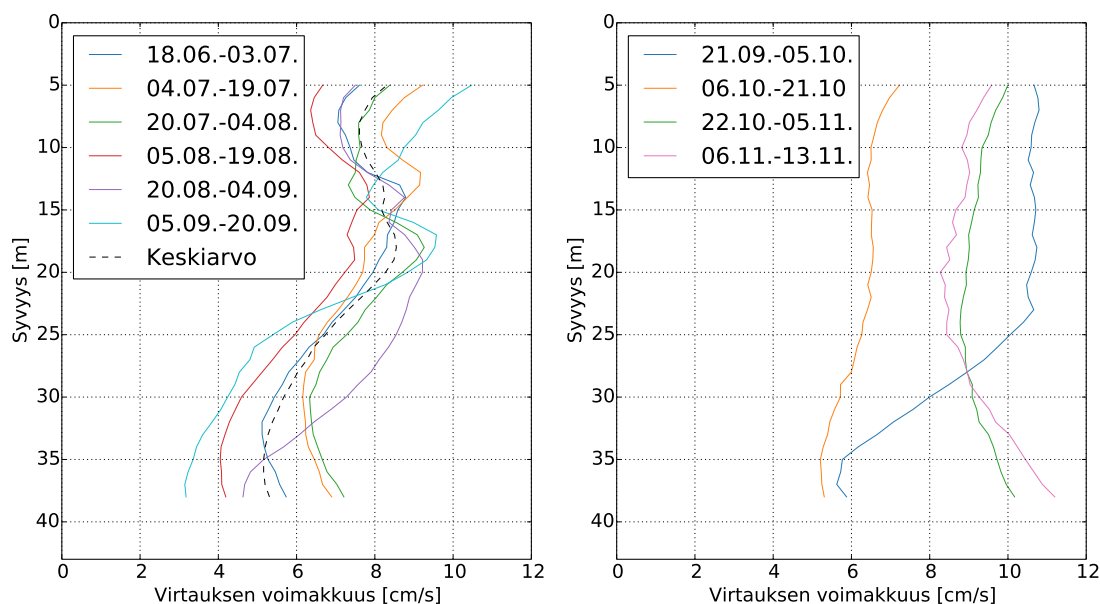
Kuva 5.3: Kesän (18.6.–18.9.2013) virtausruusut eri syvyyksillä vesipatsaassa. Termokliinin jälkeän (n. 16 m syvyydessä) virtauksen suunta kääntyy pohjalla vallitsevasta itäkoillisesta pinnalla vallitsevaan lounaaseen.

ole havaittavissa (Kuva 5.5b). Aikavälin 21.9 –5.10. profiili käyttäytyy poikkeavasti, sillä se sijoittuu hetkeen, kun termokliini äkisti sekoittui huomattavasti syvemmälle vesipatsaaseen (Kuva 5.2). Profileista havaitaan myös virtausten tyypillisesti hie-



Kuva 5.4: Syksyn (14.10.–13.11.2013) virtausruusut eri syvyyksillä vesipatsasta. Kerrosrakenteen poistuttua virtausten vallitseva suunta ei näe käänny voimakkaasti vesipatsaan syvyyden mukana, kuin kesällä. Virtausten hallitseva suunta on länsilounaan ja etelälounaan välillä, mutta voimakkaimmat virtaukset esiintyivät lähes poikkeuksetta pohjoiskoilliseen.

man kasvavan lähestyttäessä pohjaa.



(a) Kerrostuneisuuden aikaiset profiilit

(b) Myöhemmät profiilit

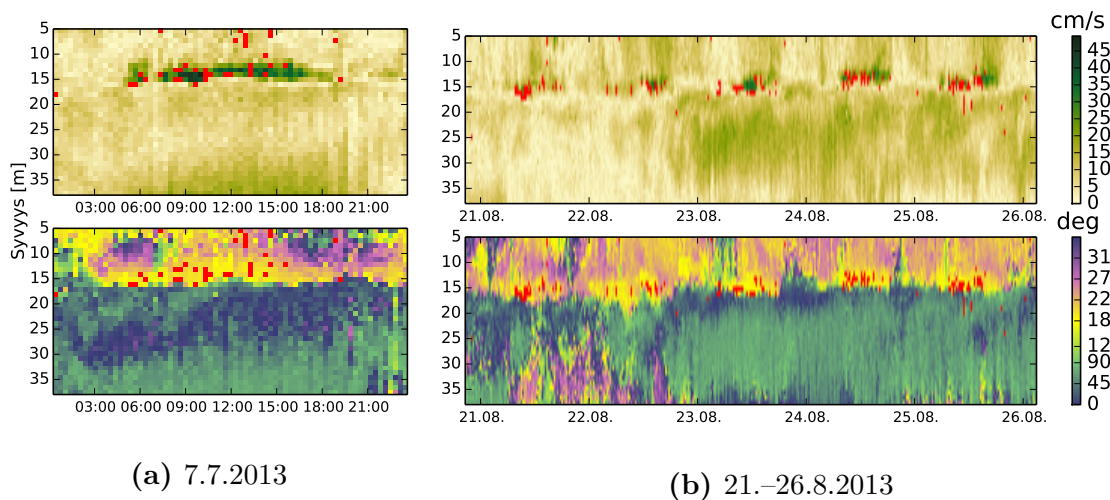
Kuva 5.5: Virtausnopeuksien syvyysprofiilit esitettynä kahden viikon keskiarvoina. Voimakkaan kerrostuneisuuden aikaan virtausnopeudet saavat toisen maksimin noin 15 metrin syvyydellä. Kerrostuneisuuden kadottua vastaavaa ilmiötä ei ole havaittavissa. Virtaukset vaihtelevat ajassa suuresti, joten myöhemmille profileille ei laskettu keskiarvoista virtausprofiilia.

5.0.1 Virtausnopeusmaksimit

Mittausajanjaksolle on osunut 5 ajanjaksoa, jolloin virtaukset ovat laaja-alaisemmin saaneet yli 40 cm/s nopeuksia. Ensimmäinen (noin 5 tuntia kestävä) voimakas virtausjako esiintyi 7. heinäkuuta virtauskerrosten rajapinnassa, noin 15 metrin syvyydellä (Kuva 5.6a). Loput neljä voimakkainta virtaustapahtumaa alkavat pinnasta ulottuivat lähes koko vesipatsaaseen (Kuvan 5.1 tummanvihreät alueet). Voimakkain ja pitkäjaksoisin virtauspiikki esiintyi 23.–24.9. (yli 40 cm/s virtauksia esiintyi 15 tunnin aikavälillä) ja se vaikuttaa sekoittaneen vesipatsaan lähes täysin. Myöhemmin vastaavia lyhempijaksoisia voimakkaita virtauksia esiintyi 22. ja 28. päivä lokakuuta sekä 5. marraskuuta. Yli 25 cm/s virtauksia esiintyi huomattavasti useammin, mutta ne kattavat kuitenkin alle 2 % koko mittausajasta.

Heinäkuun 7. päivän termokliinin läheistä virtausmaksimia (Kuva 5.6a) vas-

taavia heikompia tapauksia on havaittavissa myös 23.–26.8. välisinä aikoina (Kuva 5.6b). Näinä ajanhetkinä ADCP on havainnut ikäänkuin linssin voimakkaampia etelään suuntautuvia virtauksia, jotka toistuvat syklonisesti usean vuorokauden ajan. Alueiden mittauksista moni arvo on kuitenkin laaduntarkastuksessa hylätty, mikä herättää epäilyä, josko mitatut suuret mittausnopeudet olivat vain termokliinissä aktiivisesti liikkuneiden eläinplanktonien tai muiden eliöiden aiheuttamaa häiriötä, joita automaattiset laaduntarkastustestit eivät tunnista. Näiden voimakkaiden virtausten ajanhetket erottuvat yleisesti myös prosenttitestissä hieman huonompina arvoina (Kuva 4.6). Virtauspiikit voitaisiin leimata datasta helposti huonommiksi tiukentamalla kyseisen testin kriteerejä termokliinin seudulla. Mutta koska tarkkaa syytä ei tiedetä ja kyseinen ilmiö vaikuttaa fysikaalisesti niin epätodennäköiseltä (Pekka Alenius, henkilökohtainen tiedonanto), niin merkitsin nämä termokliinin läheiset voimakkaasti virtaavat alueet laatuleimalla 3 (selite M).



Kuva 5.6: Lyhytaikaiset virtausmaksimit termokliinissä. Kuvassa (a) on esitetty 7.7. ADCP:n mittaama voimakas virtaus termokliinin alueella (n. 15 m syvyydellä). Aika on esitetty kyseisen vuorokauden tunteina (UTC). Kuva (b) näyttää vastaavia mitattuja voimakkaita virtauksia elokuun lopulla suurinpiirtein samalla syvyydellä. Suuri osa tällä alueella saaduista mittauksista on hylätty (punaiset pisteet kuvaaajissa), mikä viittaa mitattujen virtausten mahdollisesti olleen ADCP:n virheellisesti mittaamaa eläinplanktonin liikettä.

6. Johtopäätökset

Tein työssä laaduntarkastusmenetelmät pohjaan ankkuroidulle Teledyn RD Instrument'sin Workhorse Sentinel ADCP:lle. Menetelmän lähtökohtana ovat laitteen mittausprosessista tallentama tieto. Annetut laatuleimat perustuvat SeaDataNetin ohjeistamiin käytäntöihin. Jotta mittaukset olisivat laadullisesti hyviä, tulee mittausalueen olosuhteiden olla horisontaalisesti homogeeniset. Tämän ehdon varmistamiseksi tarkasteltiin mittalaitteen kaikilta mittaussyvyyksiltä tallentamia tietoja yksittäisten signaalien välisestä korrelaatiosta, paluukaiun intensiteetistä, luotettavien paluusignaalien prosentuaalisista määristä ja samanaikaisten horisontaalinopeuksien erotuksista (virhenopeuksista). Lisäksi kunakin mittaukset ajanhetkenä tarkistetaan, ettei mittauksissa esiinny huomattavia poikkeavuuksia asennusalueen liikkeissä tai laitteen kunnossa. Kullekin muuttujalle on määritelty kynnyksiarvot, joiden avulla mittaus on luokiteltu joko hyväksi, luultavasti huonoksi tai varmasti huonoksi.

Mikäli ADCP:n signaali kantaa meren pintaan asti, voimakkaan paluusignaalin sivukeila vääristää sen läheisten alueiden paluusignaalin. Tämän tekijä on läsnäollessaan suurin datan hylkäyksen aiheuttaja, sillä se on läsnä aina, kun halutaan mitata pinnan virtauksia läheisiä alueita. Sivukaiku vaikuttaa vähintään 6 % mittaussyvyyksistä ADCP:llä. Ilmiö on helposti havaittavissa laitteen tallentamiosta laatuparametreista, kuten korrelaatiosta ja virhenopeudesta, mutta sen vaikutusalue on myös laskettavissa, kun tunnetaan laitteen ja merenpinnan välinen etäisyys.

Erityisesti signaalin sirottajina toimivan eläinplanktonin liikehdintä häiritsee virtausten mittaamista. Eläinplanktonit muuttuvat lajista riippuen iltaisin ja öisin aktiivisemmiksi, eivätkä enää ajelehdi passiivisesti virtausten mukana. Selkeimmin tästä aiheutunut häiriö näkyy laitteen tallentamissa prosentuaalisissa arvoissa. Laite ei kuitenkaan pysty mittaamaan virtauksia ilman riittävää määrää sirottajia, joista eläinplankton on suuruusluokaltaan optimaalisimman kokoisin. Eläin planktonin hyödyntäminen sirottajina on välttämätöntä.

Työssä käytettiin prosessoinnin esimerkkitapauksena Saaristomeren sisäosissa vuonna 2013 suoritettuja virtausmittauksia. Alueen virtaukset olivat voimakkaan termokliinin aikaan selkeästi kerrostuneet ja mittauspisteessä ilmenee hetkellisesti erittäin voimakkaita virtauksia, jopa 0,5 m/s. Keskimääräinen virtausnopeus alueella oli kuitenkin alueelle tyypillistä suuruusluokkaa (7,5 cm/s). Käytetystä datasetistä jouduttiin hylkäämään sivukeilan aiheuttaman häiriön seurauksena noin 5 m mittauksia meren pinnasta, eli noin 13 % koko mittauslaajuudesta. Lisäksi mittauksissa havaittiin jonkin verran eläinplanktonin liikehdinnän aiheuttamaa häiriötä, joista valtaosa ei kuitenkaan vaikuttanut merkittävästi mittauksen laatuun. Sivukeilan häiriön lisäksi datasetin mittauksista leimattiin epäluotettavaksi 0,31 % mittauksista ja huonoksi vain muutama arvo. Automaattisen laaduntarkastuksen jäljiltä datasettiin kuitenkin jäi fysikaalisesti epäilyttäviä voimakkaita virtaustapauksia termokliinin alaosaan, jotka on tarpeen käsitellä manuaalisesti ja merkitä sopivalla laatuleimalla. Tällaisten epäselvien tapausten tarkempi tutkiminen vaatisi mittauspisteeseen myös muita instrumentteja, kuten lämpötila- ja suolaisuusantureita, jotta epäilyttävät ilmiöt voitaisiin todeta varmemmin todellisiksi tai vain häiriöksi mittausprosessissa.

A. ADCP lisäinfo

Tallenteen numero	LOV13000.000	Akustinen taajuus: 300 kHz	
Laitteen tyyppi	ADCP	Laajakaista /Kapeakaista	
Laitteen sarjanumero	15289	Ylöspäin /Alaspäin	
Sijainti ja tyyppi	60° 13,183' N, 21° 42,800' E GPS		
Alue/Projekti	Saaristomeri, Lövskär		
Luodattu syvyys	45 m	Vastaanottimen etäisyys pohjasta	1,71 m
Mittalaite käynnistetty:		Mittalaite sammutettu:	
Päivämäärä	14.06.2013	Päivämäärä	19.11.2013
UTC aika	05:36:50,40	UTC aika	08:36:50.50
Asetettu veteen:		Poistettiin vedestä:	
Päivämäärä	18.06.2013	Päivämäärä	13.11.2013
UTC aika	08:56:50,40	UTC aika	08:36:50,40
<i>Laitteen konfiguraatio:</i>			
Singaaleja mittauksessa	120	<i>Tallennetut parametrit:</i>	
Syvyyssolun koko	1,00 m	Nopeus	Kyllä /Ei
Syvyyssolujen lukumäärä	50	Koordinaattisysteemi:	Maantieteellinen
Ensimmäinen syvyyssolu	3,21 m	Korrelaatio	Kyllä /Ei
Keskiarvostus aika	20 min	Kaiun intensiteetti	Kyllä /Ei
		Prosentuaaliset arvot	Kyllä /Ei
		Syy datan hylkäämiselle annettu	Kyllä /Ei
Testi ja konfiguraatiodostot: lov13.scl			
Huomautuksia: Vilkaasti liikennöidyn väylän vieressä. Asennus valmis 18.6.2013 09:30 UTC			

Lähdeluettelo

- Alenius, P. (1983): "An example of a velocity jump across the summer thermocline".
Geophysica, 20(1):81–87.
- Bender, L. ja S. DiMarco (2008): *Quality control and analysis of acoustic doppler current profiler data collected on offshore platforms of Gulf of Mexico*. Tekninen raportti. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Mgmt. Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA. OCS Study MMS 2009-010. 63 pp.
- Bjerknes, V. (1898): *Ueber das Bildung von Cirkulations-bewegungen und Wirbeln in Reibungslosen Flüssigkeiten*.
- Book, J. W., H. Perkins, R. P. Signell ja M. Wimbush (2007): *The Adriatic Circulation Experiment Winter 2002/2003 Mooring Data Report: A Case Study in ADCP Data Processing*. Tekninen raportti. DTIC Document.
- Ekman, V. W. et al. (1905): "On the influence of the earth's rotation on ocean-currents."
- Hela, I. (1952): *Drift currents and permanent flow*. Societas scientiarum Fennica.
- Joseph, A. (2014): *Measuring Ocean Currents. Tools, Technologies, and Data*. Elsevier.
- Korhonen, O. (1975): "Alustava selvitys Loviisan Hästholmsfjärdenin virtausmittauksista 1971".
- O. Loisa J. Körber, J. L. ja J. Kääriä (2017): "High-resolution monitoring of stratification patterns in the Archipelago Sea, Northern Baltic Sea, using an autono-

- mous moored vertical profiling system”. *Proceedings of IEEE/MTS OCEANS 2017 – Anchorage*.
- Palmén, E. (1930): ”Untersuchungen über die Strömungen in den Finnland umgebenen Meeren”.
- RD Instruments (2001a): *Workhorse Monitor, Sentinel, Mariner, Rio Grande, Navigator, and Long Ranger ADCPs Commands and Output Data Format*. RD Instruments Acoustic Doppler Solutions.
- (2001b): *Workhorse Sentinel ADCP user’s guide*. RD Instruments Acoustic Doppler Solutions.
- (2002): *Workhorse read this first*. RD Instruments Acoustic Doppler Solutions.
- (2011): *Acoustic Doppler Current Profiler Principles of Operation, A Practical Primer*. Teledyne RD Instruments A Teledyne Technologies Company.
- (2013): *Sentinel ADCP Datasheet*. <http://rdinstruments.com/product/adcp/sentinel-adcp>.
- Rossby, C.-G. ja R. B. Montgomery (1935): *The layer of frictional influence in wind and ocean currents*. Massachusetts Institute of Technology ja Woods Hole Oceanographic Institution.
- Rossby, C.-G. (1938): ”On the mutual adjustment of pressure and velocity distributions in certain simple current systems, II”. *J. mar. Res* 1.3, s. 239–263.
- Sandström, J. W. ja B. Helland-Hansen (1902): ”über die Berechnung von Meeresströmungen”.
- SeaDataNet (2010): *Data quality Control procedures, 6th Framework of EC DG Research*. 2.0. SeaDataNet.
- Sverdrup, H. U., M. W. Johnson ja R. H. Fleming (1942): *The Oceans: Their physics, chemistry, and general biology*. Vol. 7. Prentice-Hall New York.
- Symonds, D. R. (2006): *QA/QC Parameters for Acoustic Doppler Current Profilers*. Teledyne RD Instruments A Teledyne Technologies Company.

- Thomson, R. E. ja W. J. Emery (2014): *Data analysis methods in physical oceanography*. Newnes.
- Virtaustutkimuksen neuvottelukunta (1979): ”Saaristomeren virtaustutkimus”. *Turku*.
- Witting, R. J. (1912a): ”Hydrografis-biologiset merentutkimukset vuonna 1911 -selonteko”.
- (1912b): *Zusammenfassende Übersicht der Hydrographie des bottnischen und finnischen Meerbusens und der nördlichen Ostsee, nach den Untersuchungen bis Ende 1910*. 7. Druckerei der Suomalainen Kansa.