

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MATEMAATIKA- JA LOODUSTEADUSKOND
Meresüsteemide Instituut

Rain Süld

**Keri profileeriv põhjajaam – kirjeldus, andmete analüüs ja
rakendused.**

Juhendaja: Urmas Lips

Maa-teadused

Tallinn 2016

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus. Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud. Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Autor : Rain Süld

Allkiri:

Kuupäev:

Juhendaja: Professor Urmas Lips

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

Allkiri:

Kuupäev:

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Nimi:

Allkiri:

Kuupäev:

Resümee

Keri saarest umbes 2 km kaugusele põhja poole paigaldati 2016. aastal põhjajaam. Profileeriv põhjajaam annab väga hea võimaluse saada aastaringselt merekeskkonna andmeid kogu veesamba ulatuses olenemata lainetest, tuulest või jääoludest. Jaam registreerib ja edastab reaalajas temperatuuri, soolsuse, lahustunud hapniku, klorofüll *a* fluorestsentsi, fükotsüaniini ja hägususe profiile. Kuna Keri põhjajaam on kaabliga ühendatud, on võimalik tema tööd juhtida praktiliselt reaalajas ning programmeerida jaama profileerima kindlatel kellaaegadel ja kindlates sügavuste vahemikes. Keri põhjajaamast pidevalt saadavad andmed annavad ka hea võimaluse võrrelda mõõtmisandmeid Copernicuse mereteenuse mudeli andmetega. Copernicuse mudeli lähimast punktist, mis on 80 meetri sügavune, saadud andmete ajaline lahutus on 1 tund. Võrreldes mõõdetud temperatuuri, soolsuse ja tiheduse (σ_t) andmeid mudeli samade parameetritega vertikaalsete jaotustega, siis on selgelt näha üsna suured erinevused, eriti Soome lahe soolsuse ja tiheduse osas. Mõõtmisandmete ja mudeli tulemuste võrdlusest tuleb ka välja, et kuigi lühiajaliste muutuste osas tulemused erinevad, siis pikaajalised (1 kuu või rohkem) on muutused sarnased. Kuna statsionaarsed veesamba profileerijaid on Läänemeres vähe, siis on ka mudelite valideerimiseks vähe võimalusi.

Põhjajaam, Põhja profileerija, Keri jaam,

ABSTRACT „Keri bottom-mounted profiling station –description, data analysis and applications“

In 2016 about 2 km north from Keri island bottom mounted profiling station was constructed and mounted. Bottom mounted station gives a good opportunity to get measurements of vertical sea profiles. Keri bottom station is connected with Keri Island by a cable. The cable gives to possibility to programme the station to measure profiles in specific depths and times. Bottom mounted station in not affected by string wings, waves or ice. Station can measure profiles all year long. Keri stations stationary location gives a good opportunity to compare the measured data to Copernicus model data. A Copernicus model nearest point is 80 meters deep and has data with a 1 h time resolution. Comparing temperature, salinity and sigma-t measurements to the model data then it is clearly visible that the model is off. Because of there are only few stationary profilers in the Baltic Sea the Copernicus model is not without flaws. Copernicus model data and the measured data do not match, but in both seasonal changes are clearly visible. Because of the accuracy and the time resolution of measurements it is well suited to be used in models to make them more accurate and closer to real life.

Bottom-mounted station, Keri station, Bottom-mounted profiling station

SISUKORD

Resüme	3
ABSTRACT „Keri bottom-mounted profiling station –description, data analysis and applications“	4
SISUKORD	5
1. SISSEJUHATUS	7
1.1 Mis eesmärgidel merd on vaja uurida?	7
1.2 Mereuringute meetodid	7
1.3 Mõõtmised, sh kontaktmõõtmised ja platvormid	8
1.4 Autonoomsed seadmed	8
1.5 Töö eesmärk	9
2. AUTONOOMSED VEESAMBA PROFILEERIJAD	10
2.1 Kasutusel olevate veesamba profileerijate tüübid	10
2.2 On-line profileerijad	11
2.3 Eestis kasutatavad profileerivad jaamad	12
2.4 Kaabliga ühendatud püsijaam	13
3. KERI PÜSIJAAM	14
3.1 Asukoht	14
3.2 Mõõdetavad parameetrid	14
3.3 Jaama juhtimine	15
3.4. Andmete haldus ja kvaliteedikontroll	16
4. ANDMETE ANALÜÜS	22
4.1 Mõõtmised 2016. aasta kevadel	22
4.2 Temperatuuri soolsuse ja tiheduse jaotus 2016. aasta kevadel	22
4.3 Võrdlus Copernicus mereteenuse mudeli andmetega	26
Tabel 3. Keri jaamas kogutud mõõtmisandmete ja Copernicus mereteenuse mudeli (HBM) andmete keskmestatud mõõtetulemused 10 m ja 80 m sügavusel perioodil 1. märts kuni 13. mai 2016.	29
Tabel 3. Keri jaamas kogutud mõõtmisandmete ja Copernicus mereteenuse mudeli (HBM) andmete vaheline võrdlus 10 m ja 80 m sügavusel perioodil 1. märts kuni 13. mai 2016.	29
5. ARUTELU	30
KOKKUVÕTE	32

TÄNUVAALDUSED.....	34
VIIDATUD KIRJANDUS.....	35
LISAD.....	38
Lisa 1.....	38
Lisa 2.....	39
Lisa 3.....	40
Lisa 4.....	41
Lisa 5.....	42
Lisa 6.....	43
Lisa 7.....	44
Lisa 8.....	45

1. SISSEJUHATUS

1.1 Mis eesmärkidel merd on vaja uurida?

Ajaloo vältel on olnud väga palju erinevaid põhjuseid, miks merd uurida. Algselt tekitas meri hirmu, kuna ei nähtud silmapiiri taha, hilisemalt, aga taheti ennustada täpsemalt merel olevat ilma. Tänapäeval on suureks probleemiks antropogeenne reostus (HELCOM 2007; Beldowski jt, 2016). Enamik mõõtmisi tänapäeval on suunatud inimtegevuse surve ja selle tagajärjel merre sattunud ainete leviku ja mõju jälgimisele. Veeringluse ookean-atmosfäär-maismaa-ookean tagajärjel uhutakse prügi ja muud ained maismaalt merre. Antropogeenne eutrofeerumine on Läänemeres suur probleem (Lundberg, 2013). Suur hulk maismaal inimtegevuse tagajärjel keskkonda sattunud toiteainetest kantakse merre, mis põhjustab meretaimestiku kontrollimatu vohamise (Nilsson & Jansson, 2002).

1.2 Mereuuringute meetodid

Kõrge resolutsiooniga meres autonoomselt mõõtvad mõõteriistad on vajalikud prognoosimudelite täpsuse parandamiseks. Kahjuks on kontaktmõõtmisi keeruline teostada (Lips jt, 2010). Mereuuringute meetodid on pidevas muutuses (Omstedt jt, 2014). Tehnoloogia arenguga on võimalik saada täpsemaid ja paremaid mõõtmistulemusi. Kui algselt tehti mõõtmisi näiteks rannast või laevadelt, siis tänapäeval on võimalik teha mõõtmisi kasutades autonoomseid poijaamu ja satelliite. Mõõtmistulemusi on oluline jagada ja kasutada otstarbekalt. Tänapäeval kasutatakse modelleerimist selleks, et saada täpsemat pilti ka mõõtmispunktide lähedal toimuvatest protsessidest. Ükski mudel ei ole kunagi sama täpne nagu objekt, mille järgi mudel on tehtud, aga piisava täpsuse juures saab mudelist väga olulist

informatsiooni. Ilma mõõtmisteta ei ole võimalik saada täielikku arusaama merelistest protsessidest (Westerlund & Tuomi, 2016). Mõõtmised, eriti just kontaktmõõtmised, on olulised, kuna kaugseirega on võimalik täpselt jälgida muutusi, aga pole võimalik määrata, mis toimub veepinna all veesambas.

1.3 Mõõtmised, sh kontaktmõõtmised ja platvormid

Uurimislaevu ja uurimisaluseid on Eestis mitmeid. Uurimislaevad annavad võimaluse teadlastel minna ka väga kaugemale merele või väga sügavatesse kohtadesse ning teha kontaktmõõtmisi laevalt. Laevad ning erinevad alused vajavad töötamiseks teadjat meeskonda, hooldust, kütust ning muud. Merel mõõtmiseks mõeldud laevad on väga kulukad, aga ilma uurimislaevadeta näiteks ümber Eesti rannikut tehtavat seiret teha ei saaks. Samuti võimaldab pardal olevad laborid uurimislaevadel teha mõõtmisi, mida muidu teha oleks väga keeruline kui mitte võimatu.

1.4 Autonoomsed seadmed

Autonoomsed seadmed on saanud teadustöö lahutamatuks osaks. Autonoomsus võimaldab odavalt ja suure lahtusega saada väga palju andmeid, mida hiljem on võimalik töödelda. Autonoomsed mõõtmised toimuvad ilma inimese kohalolekuta, mis võimaldab väikeste investeeringutega teha ära suure töö (Carlson, 2013). Kui autonoomsete seadmeteta oleks pidanud inimesed minema välja laevaga mitmeks päevaks, et teha mõõtmisi, siis nüüd on võimalik kõik see töö kokku hoida ja teadlased saavad tegeleda andmete analüüsi ja meres toimuvate protsesside seaduspärasuste tuletamisega. Autonoomsed seadmed vajavad, pärast paigaldamist, inimestelt ainult korrapärast hooldust. Kaugseirega võrreldes autonoomsed seadmed meredes annavad mingist piirkonnast väga täpse ja väga suure ajalise resolutsiooniga

ülevaate (Stramska, 2013). Autonoomsete seadmete miinuseks on esialgne tehnoloogia välja töötlemise suur hind ning tihti saab mõõta ainult ühte punkti meres. See eest kaugseirega on võimalik mõõta väga suuri alasid, kuid mitte kogu veesamba ulatuses.

1.5 Töö eesmärk

Käesoleva töö eesmärk on kirjeldada Eestis, Soome lahes, kasutusel olevat uusimat autonoomset veesamba profileerimiseks ja reaalajas andmete edastamiseks kasutatavat profileerivat põhjajaama ja teostada siiani saadud andmete esmane analüüs ja võrdlus Copernicus mereteenuse mudeli tulemustega.

2. AUTONOOMSED VEESAMBA PROFILEERIJAD

2.1 Kasutusel olevate veesamba profileerijate tüübid

Nüüdisajal kasutatakse väga erinevaid autonoomseid veesamba profileerijaid, igas ookeanis ja ka suuremates meredes. Vertikaalsete, ajas tihedate profileerimistega on võimalik jälgida ka väikese mastaabilisi protsesse (Ostrovskii jt, 2012). Veesamba profileerijad annavad võimaluse teada saada ookeanis toimuvatest protsessidest ja anda edasi see teave maismaale. Põhimõtteliselt võiks kasutusel olevaid autonoomseid veesamba profileerijaid jaotada liikuvateks ja liikumatuteks.

Liikuvatest on kõige enam levinud Argo triivpoid. Argo triivpoid on otsekui väikesed sondid, mis on varustatud GPS-i, sidevahendite ja erinevate anduritega. Argo triivpoid on võimelised liikuma vees ainult vertikaalselt üles-alla, muutes oma ruumala. Argo triivpoide liikumine horisontaalselt on mõjutatud hoovuste poolt. Argo triivpoide miinuseks on see, et sondi sees olev aku toimib ainult mõned aastad, pärast seda jääb poi lihtsalt vette. Plussideks võib lugeda võimet sukelduda väga suurtesse sügavustesse ja kuna neid on ookeanides 3918 tükki seisuga 21.05.2016 siis on kaetud kogu maailmaookean väga tihedalt täpsete ja sügavate profiilidega. (Argo 2016)

Liikuvatest autonoomsetest veesamba profileerijatest oleks oluline ära mainida veel gliderid ehk veealused autonoomsed liugurid. Gliderid kasutavad ära vee tihedust ja muutes enda ruumala vastavalt suuremaks või väiksemaks, et liikuda vees üles või alla. Gliderite eeliseks Argo triivpoide ees on suurem liikuvus, mis võimaldab vees üles-alla liikudes ka juhtida ennast ühest geograafilisest punktist teise. Glider on võimeline vees suunda valima tänu tiibadele, kiilule ja stabilisaatorile. Vastavalt glideri tootjatele, on ka erinevaid disaine ja erinev hulk kontrollpindu. Gliderit on võimalik programmeerida ja talle ette anda täpne kursus. Glider, vastavalt veekogule, suudab üksi tegutseda nädalatest kuni mõne kuuni. (Seaglider fabrication center, 2016)

Liikumatuses autonoomsetest jaamadest on üks levinuimaid pinnapealne poijaam. Vajalik on ainult korralik ankur, millega saab jaama merepõhja kinnitada. Kommunikatsioon sõltub süsteemi konfiguratsioonist, aga enamasti on see kahepoolne, ning mõni jaam on võimeline saatma ka SMS-i, kui mingi muutus peaks juhtuma (Flydog Marine, 2015). Kommunikatsiooniks ja mõõtmise operatsioonideks saab poijaam energia päikeselt või patareidelt, mida tuleb vahetamas käia. Miinuseks on poijaamal liikumatus ja samuti talvel jäätulekuga peab jaama veest välja tõstma. Jaama veest välja tõstmisega suurenevad kulud nii laeva kasutamise kui ka tööjõuga seotult kui ka hoiustamisel maismaal. Plussiks on võime saada informatsiooni koheselt, kuna saatja ei ole pikka aega vee all. (National Data Buoy Center, 2008)

Liikumatuses autonoomsete profileerijate alla läheb samuti ka põhjas paiknev profileeriv jaam. Põhjajaamale on oluline ühenduvus maismaaga, kuna päikeseenergiat pole võimalik kasutada ja energiakulu operatsioonidel on nii suur, et akude vahetamisega läheks logistilised kulud liiga suureks. Suureks plussiks on sellel jaamal see, et meie kliimas saab seda aastaringselt sees hoida. Jää tulekuga pole ohtu jaamale, kuid kaablile siiski oht on. Seal kus kaabel tuleb maismaale võib talvel jää kaabli lõhkuda. Samuti on võimalik, et põhjajaama lõhutakse traalide poolt (Prien jt 2016). Kaabliga ühendatud põhjajaam saab energia maismaalt, kus läbi kaabli laetakse aeglaselt jaama akusid, mis omakorda võimaldavad vintsil sondi üles ja alla liigutada. Mõõda sama kaablit liigub ka informatsioon, mis maismaal tugijaamast saadetakse edasi või salvestatakse seal (vt lisa 6)

2.2 On-line profileerijad.

„On-line“ profileerija mõõdab vees hoovuseid või veeomadusi kogu veesamba ulatuses, isegi kuni 5000 meetri sügavuseni. Põhilised pardal olevad instrumendid on CTD andur temperatuuri, soolsuse ja rõhu mõõtmiseks, aga võib lisada ka teisi andureid, näiteks Doppleri akustiline hoovusemõõtja ja palju teisi. Nii

kauda, kuni huvi globaalse kliimamuutuste vastu kasvab, tõuseb ka vajadus pikema aegsete ookeaniprotsesside uurimise tarvis. (Ocean Instruments, 2016)

„On-line“ tähendab seda, et poi on mandriga ühenduses infovahetuse eesmärkidel. Sõna „On-line“ võib kasutada nii pinnapealsete kui ka veepõhjas olevate jaamade kohta, samuti viidata poidele, mis on juhtmega ühendatud maismaaga. Pinnapoid, mis on „on-line“, võivad kasutada näiteks GSM-i või satelliite, et serveri ja teadlastega ühenduses olla. (Ocean Instruments, 2016)

Kui pinnapealsed poid saavad ära kasutada päikeseenergiat päikesepaneelide abil, siis põhjajaamade energia probleemi samamoodi lahendada ei saa. Kui pinnapealsed jaamad saavad ära kasutada kas satelliite või GSM võrku ühenduses püsimiseks, siis põhjajaamad neid meetodeid kasutada ei saa. Kuna põhjajaamad peavad olema kindlasti maismaaga ühenduses oma akude laadimiseks, siis on võimalik seda sama kaablit ära kasutada ka informatsiooni edasi saatmiseks. Kaablit mööda jõuab informatsioon veelusest jaamast tugijaama, kus kasutatakse GSM võrku või satelliite. (Ocean observatories initiative, 2016)

2.3 Eestis kasutatavad profileerivad jaamad

Eesti vetes on hetkel kolm profileerijat. Esimest korda kasutati profileerivat poiijaama aastal 2009 (Liblik & Lips, 2012). Esimene jaam on toodetud Itaalia firma Idronaut poolt, millele lisati Eestis pinnapoi ja paigaldamise vahendid. Energia saamiseks kasutatakse vahetatavaid patareisid, mis oma massi tõttu on olulised ka poi stabiilsuse tagamiseks. Pärast profileerimist saadab jaam saadud info automaatselt serverile, kus on võimalik sellele arvuti abil ligi pääseda. Profileerija ei ole kogu aeg kättesaadav, vaid võimaldab pärast info ära saatmist, mingi teatud aja möödumisel, enda süsteemile ligi pääseda. Profileerija registreerib temperatuuri, soolsuse ja klorofüll *a* fluorestsentsi vertikaalseid profiile kuni 50 m sügavuseni.

Teine profileerija on Eestis ehitatud (firma Flydog Solutions LCC poolt). Energia saamiseks kasutab jaam poile paigaldatud päikesepaneele. GSM abil on võimalik selle profileerijaga võtta ühendust alati ehk see jaam on kogu aeg „on-line“. Ühendust võttes on võimalik teha süsteemi ja selle komponentide staatuse kontrolli ning samuti võimalik programmeerida täpselt aegu ja sügavusi, kust tahetakse profiile saada. Jaam on varustatud sondiga, mis registreerib temperatuuri, soolsuse, klorofüll *a* fluorestsentsi, lahustunud hapniku, fükotsüaniini ja hägususe vertikaalseid profiile kuni sügavuseni 100 m.

Kolmas jaam on põhjajaam Keri saarest mõne kilomeetri kaugusel. Seda jaama kirjeldab järgmine peatükk

2.4 Kaabliga ühendatud püsijaam

Kaabliga ühendatud jaamad tehakse maismaast nii kaugele, et oleks võimalik veel maismaalt kaabli abil jaamaga sidet pidada. Kaabliga ühendatud püsijaamad vajavad maismaale tugijaama, mis võtab vastu süsteemi abil saadud mõõtmisandmeid ja saadab need edasi. Tugijaam peab kaabli kaudu laadima ka süsteemi akusid. Kuna põhjajaamani minev kaabel ei ole piisavalt suure läbimõõduga võimaldamaks anda edasi piisavalt palju energiat selleks, et oleks võimalik otse maismaalt ära toita profileerija liigutamiseks vaja minevat mootorit, siis peab olema jaama pardal akud. Põhjajaama akusid laetakse tugijaamast tuleva elektri kaudu, mis võimaldab profileerimiste vahele jääva aja jooksul akusid laadida. Profileerimise jaoks kasutatakse akude peal olevat energiat, mis on profileerimiste vahepeal sinna salvestatud. Kui põhjajaama ühendus peaks kaduma, siis töötab jaam edasi akude pealt ning salvestab profileerimistelt mõõdetud andmed pardal olevale kõvakettale. Põhjajaama kätte saamiseks on vaja merre saata akustiline signaal. Jaamas olev vastuvõtja registreerib selle ja vabastab jaama põhjas oleva ankru küljest. Betoonest ankur jääb põhja ja põhjajaam tervenisti tõuseb veest ülesse (vt lisa 5, lisa 6).

3. KERI PÜSIJAAM

3.1 Asukoht

Keri põhjajaam on paigaldatud Soome lahte Keri saarest ligikaudu 2 km kaugusele. Saare olemasolu annab hea võimaluse kasutada põhjajaama võimalikult Soome lahe keskel, ilma et oleks vaja kümnete kilomeetrite pikkust kaablit. Asukoht annab ka hea võimaluse võrrelda saadud andmeid ferryboxi andmetega, mis tulevad Tallinn-Helsingi liinil sõitvalt laevalt. Jaama praeguse asupaiga sügavuseks on 110 meetrit. Jaama täpne asukoht on N: 59,71743°; E: 25,01503° (vt lisa 2, punkt 6). Peab arvestama, et kui jaam üles tõsta, puhastada või hooldada ning hiljem alla lasta, siis päris samasse kohta ei pruugi jaam jõuda. (Vt lisa 2)

Põhjajaam ei saaks töötada ilma tugijaamata, mis on Keri saarel asukohaga N:59,69858°; E:25,02322° (vt lisa 1, punkt 1). Lisaks on saarele paigaldatud jaama ja abiseadmete energiaga varustamise seadmed. Energia saamiseks kasutatakse 8266x725 suurust päikesepaneelide kogu koostöös tuulegeneraatoriga. Tuulest ja päikesest saadud energia salvestatakse Keri tuletorni tehnohoones asuvasse akupanka kilbi sees olevate kontrollerite ja pingemuundurite abil. Tuulegeneraatori asukoht on N:59,69861°; E: 25,023653° (Vt lisa 1, punkt 3).

3.2 Mõõdetavad parameetrid

Jaama küljes olev sond koos lisaanduritega, mõõdab kokku seitset erinevat parameetrit. Ocean seven 316plus sond mõõdab hapniku sisaldust, rõhku, temperatuuri ja elektrijuhtivust. Chelsea Technologies Group-i Trilux optiliste andurite komplekt mõõdab klorofüll *a* fluorestsentsi fükotsüaniini ja hägusust. Sond liigub ülesse üleslükkejõu mõjul, kuna sondi ümber on pandud ujuvast materjalist

ujuk. Sond on kaabli abil nii kinnitatud, et andurid on üles poole ja andmed registreeritakse sondi liikumisel alt üles.

Ocean seven 316plus sond on 100 mm diameetriga ja pikkus on 710 mm ja kaalub õhus 4200 grammi ning tema kere on tehtud plastikust. Rõhku on võimalik mõõta vahemikus 0-1000 db ning täpsus on 0,05% kogu skaala ulatusest. Temperatuuri saab mõõta vahemikus -3 kuni +50°C ning täpsus on 0,002°C. Elektri juhtivust saab mõõta vahemikus 0 kuni 70mS/cm täpsusega 0,003mS/cm. Kõigil ülalpool toodud anduritel on inertsist tingitud ajakonstant 50 ms. Ocean seven sondiga saab mõõta ka hapnikku vahemikus 0-50 ppm täpsusega 0,1ppm ajakonstandiga 3 sekundit. (Idronaut, 2016)

Trilux optiliste andurite komplekt on diameetriga 26,5 mm ja 105 mm pikk (koos pistikuga 140 mm). Kaaluks on õhus 100 grammi ja on võimeline mõõtma kuni 600 meetri sügavusele. Mõõtmise täpsuseks on 0,1% kogu skaala ulatusest. (Chelsea Technologies Group Ltd, 2016)

3.3 Jaama juhtimine

Kõik andmed tulevad läbi interneti jaama jaoks tehtud veebilehe kaudu. Sama veebilehe kaudu saab ka kontrollida jaama ja ette anda ajad ja profiilid, mida tahetakse, et jaam teeks. Esialgse seadistus kohaselt registreeriti vertikaalsed profiilid ajasammuga 6 tundi sügavusvahemikus 4-95 meetrit. Hiljem muudeti maksimaalset sügavust 100 meetrini. Kevadel, kui oli eesmärgiks jälgida kevadõitsengu arengut, siis lisati ööpäeva veel 4 profiili sügavusvahemikus 2,5 kuni 55 meetrit. Põhimõtteliselt on võimalik programmeerida erinevad päevad erinevate profiilerimise vahemike ning ajavahedega. Kõik see annab parema kontrolli mõõta seda, mis on oluline.

Lisaks profileerimise režiimile saab valida veebilehel ka jaama paigaldamise/hoolduse režiimi, mis võimaldab jaama otse juhtida. Andurite hooldamiseks peab laevaga minema merele jaama asupaika, ning paigaldamise/hoolduse režiimis saab jaamale anda käskluse kaablit välja anda, mis võimaldab sondi pinnale tulekut. Seda kasutatakse, kui on vaja sondi andureid puhastada või kalibreerida või muuks hoolduseks. Sondi anduritega on võimalik juhtida ka mingile teatud sügavusele. Parkimise sügavuseks kasutatakse praeguste sätete puhul 50 m sügavust. Sondi on võimalik parkida ka sügavamale, näiteks kui on teada, et piirkonnas traalitakse.

The screenshot shows the 'Flydog Marine' web interface. The 'Profiling' tab is active. Under 'General', the following settings are visible:

Water depth (m)	Min. winch depth (m)	Max. winch depth (m)	Stand-by depth (m)	Cable length (m)	Warm-up delay (s)	Profiling start
113.0	2.0	100.5	50.0	135.0	30	19 Nov 2015

Under 'Day 1', there is a table of measurement profiles:

Profile type	Measurement time	Depth range (m)	Stand-by depth (m)	Speed (cm/s)	Est. start	Est. end	
Single p	00:00	55.0 - 2.5	52.0	10.0	N/A	N/A	Remove
Single p	03:00	100.0 - 4.0	52.0	10.0	N/A	N/A	Remove
Single p	06:00	55.0 - 2.5	52.0	10.0	N/A	N/A	Remove
Single p	09:00	100.0 - 4.0	52.0	10.0	N/A	N/A	Remove
Single p	12:00	55.0 - 2.5	52.0	10.0	N/A	N/A	Remove
Single p	15:00	100.0 - 4.0	52.0	10.0	N/A	N/A	Remove

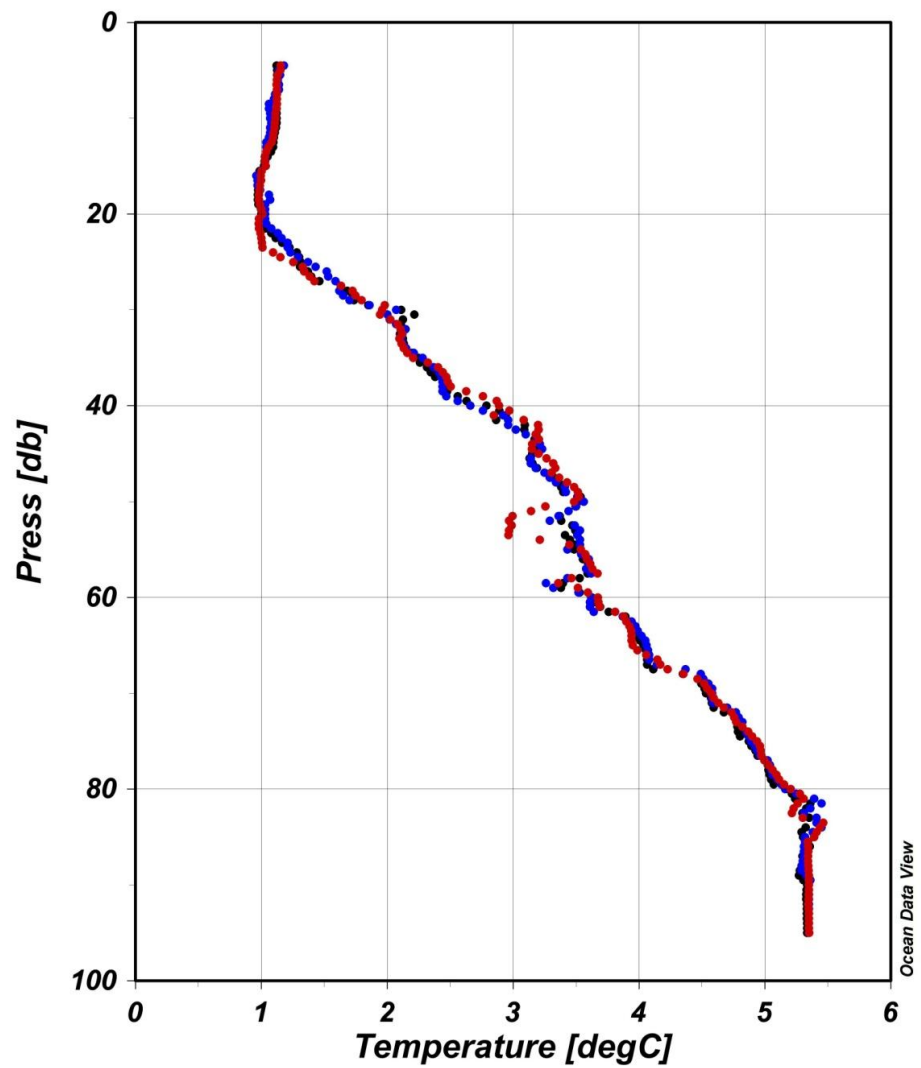
Joonis 1 Veebileht, mille kaudu saab Keri põhjajaama juhtida

3.4. Andmete haldus ja kvaliteedikontroll

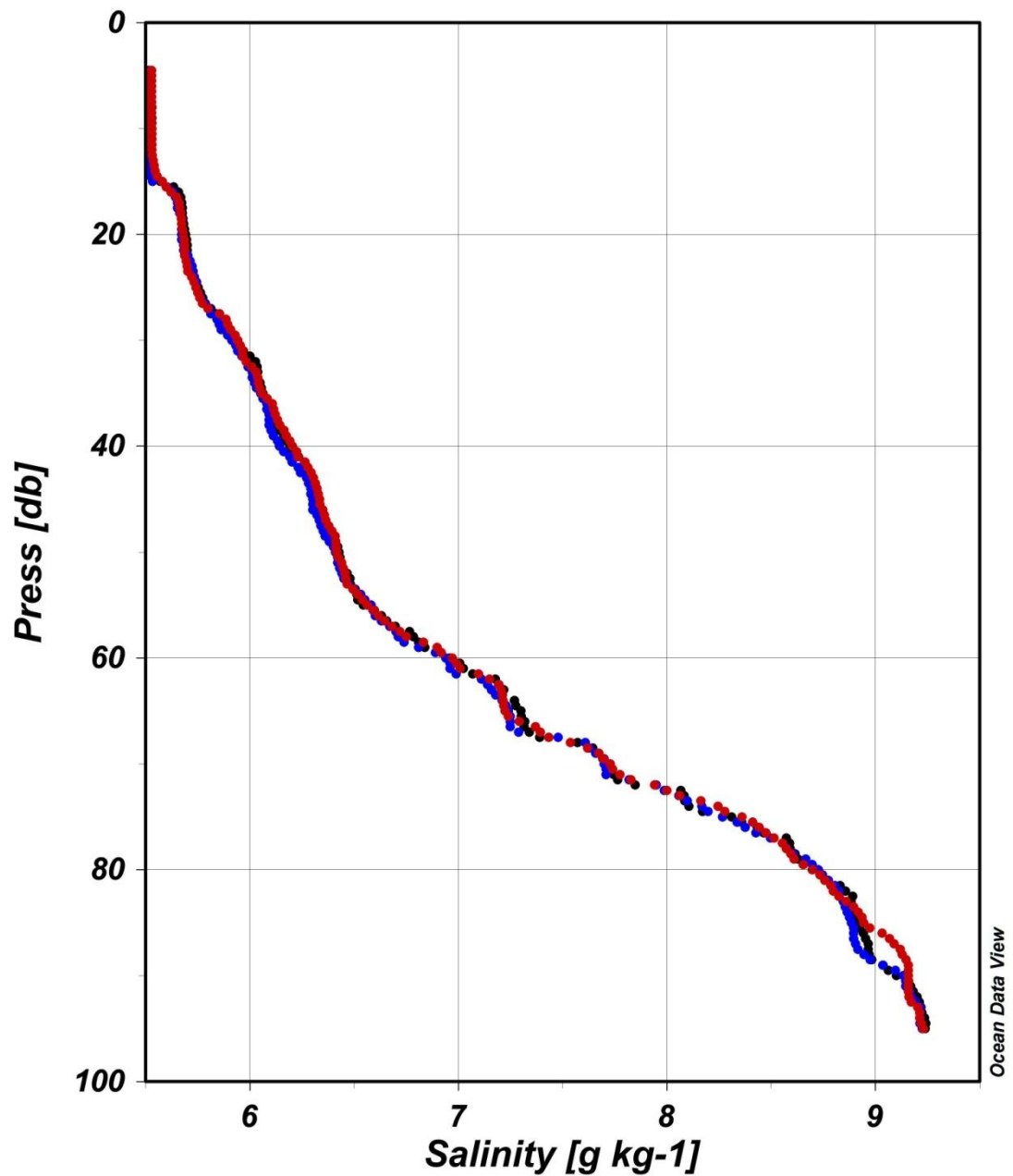
Profileerides salvestab jaam andmed sagedusega 9-10 korda sekundis. Pärast profileerimist edastatakse andmed serverisse, kus teostatakse andmete esialgne töötlus. Esialgne töötlus sisaldab ka andmete kvaliteedikontrolli. Kvaliteedikontrolli käigus võrreldakse, et kahe järjestikuse mõõtmistulemuse erinevused ei ületaks etteantud väärtust. Esmane töötlus arvestab ka temperatuuri ja hapnikuanduri

inertsiga ning kõik mõõtmistulemused interpoleeritakse mingi kindla rõhusammuga andmeteks. Keri saare jaama andmed on töödeldud programmiga, mis valmistab kõik parameetrid ette 0,5 db sammuga.

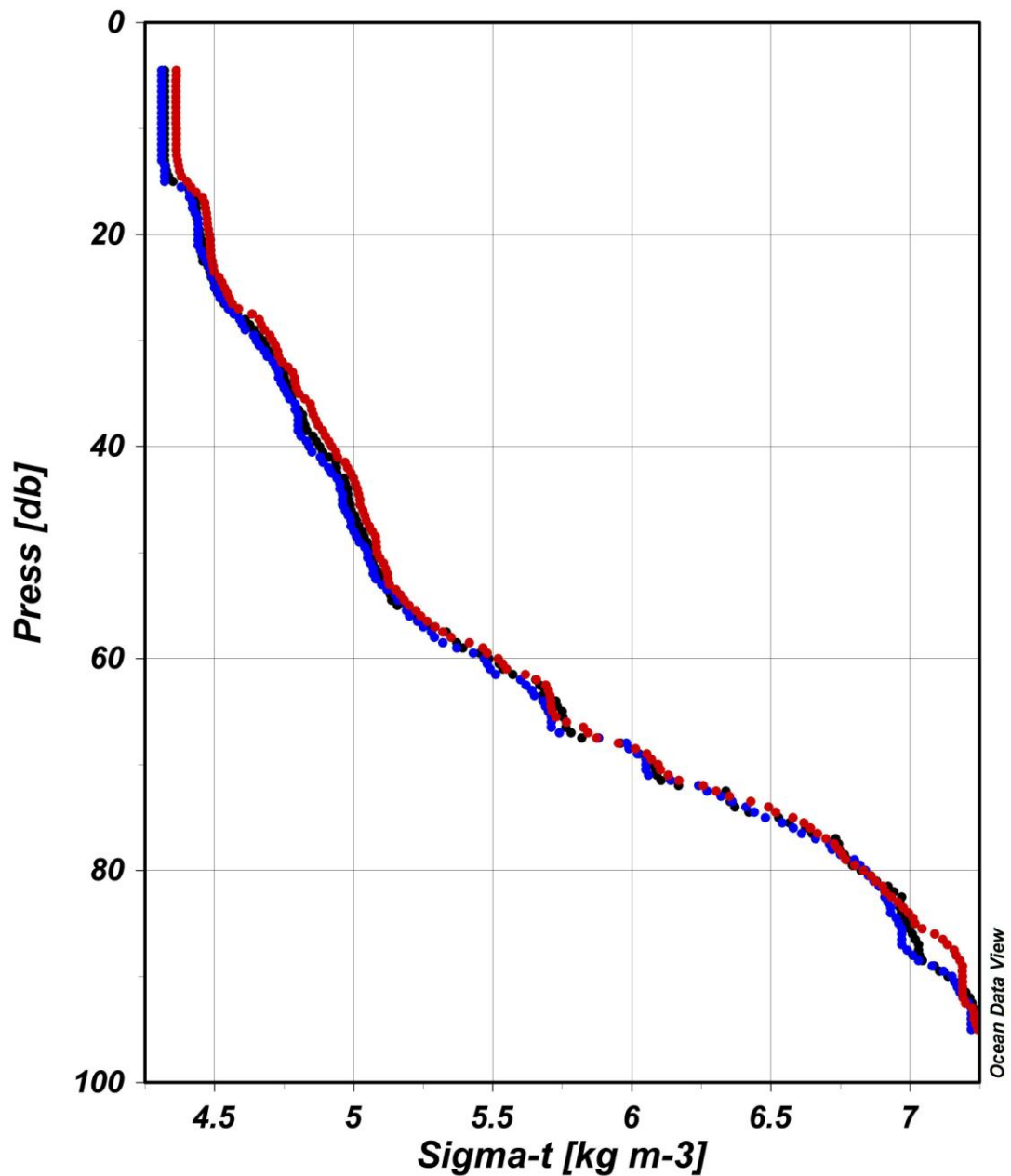
Lisaks tehakse samas asukohas kontrollmõõtmisi uurimislaevalt CTD sondidega. Käesoleva aasta kevadel on vastavad mõõtmised teostatud uurimislaeva Salme reise käigus 15. märtsil, 5. aprillil ning 4. mail. Need reised on olnud jaama töö kontrollimiseks. Lisaks on jaama juures teostatud mõõtmisi ja kogutud veeproove Eesti riikliku seirereisi käigus (vt joonis 2, joonis 3, joonis 4). Perioodil 1. märts kuni 13. mai ei jäänud ükski etteantud profiil tegemata, süsteemi töökindlus oli 100%. Aastate 2009-2012 pinnapoiga ühendatud profileerija töökindluseks oli veidi üle 80% (TTÜ Meresüsteemide Instituudi andmetel). Parem töökindlus tuleneb tõenäoliselt põhjas olevast stabiilsest aluspinnast.



Joonis 2. Temperatuuri vertikaalsed profiilid Soome lahes Keri põhjajaama asukohas 15. märtsil 2016 Mustade punktidega on toodud Keri põhjajaama, sinisega OS320 sondi ja punasega SBE19 sondi mõõtmistulemused. Viimased kaks profiili on mõõdetud uurimislaevalt Salme.



Joonis 3. Soolsuse vertikaalse profiilid Soome lahes Keri põhjajaama asukohas 15. märtsil 2016. Mustade punktidega on toodud Keri põhjajaama, sinisega OS320 sondi ja punasega SBE19 sondi mõõtmistulemused. Viimased kaks profiili on mõõdetud uurimislaevalt Salme.



Joonis 4. Tiheduse ($\sigma\text{-t}$) vertikaalsed profiilid Soome lahes Keri põhjajaama asukohas 15. märtsil 2016. Mustade punktidega on toodud Keri põhjajaama, sinisega OS320 sondi ja punasega SBE19 sondi mõõtmistulemused. Viimased kaks profiili on mõõdetud uurimislaevalt Salme.

Temperatuuri soolsuse ja tiheduse vertikaalsete profiilide võrdlus näitab, et kõikide sondide andmed kattuvad omavahel suhteliselt hästi. Esineb erinevusi mingites väikestes osades ja SBE19 sondi temperatuuri ja soolsuse andmetest arvutatud

tihedus on veidi suurem, kui teistel sondidel. Profiilide keskmised parameetrite väärtused on toodud tabelis 1.

Sond/parameeter	Temperatuur (°C)	Soolsus (g kg ⁻¹)	Sigma-t (kg m ⁻³)
Keri	3,189	6,909	5,426
OS320	3,199	6,888	5,408
SBE19	3,187	6,914	5,457

Tabel 1. Keskmised temperatuuri, soolsuse ja sigma-t väärtused üheaegsete mõõtmiste põhjal Keri jaamas ja uurimislaevalt Salme kasutades sonde OS320 ja SBE19 15. märtsist 2016.

4. ANDMETE ANALÜÜS

4.1 Mõõtmised 2016. aasta kevadel

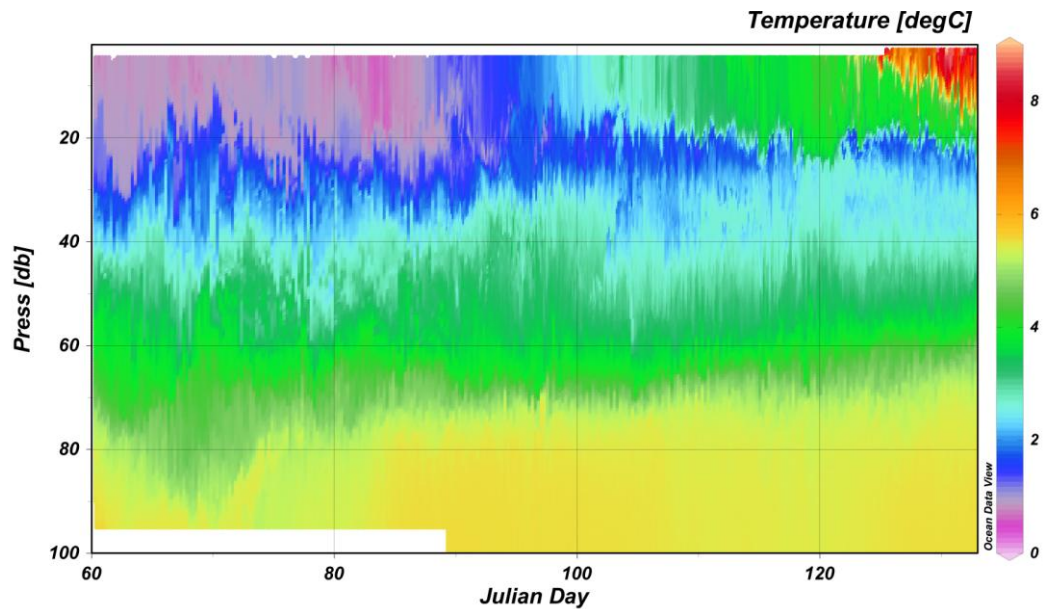
Keri põhjajaam paigaldati 29. veebruaril 2016 ja regulaarseid mõõtmisi alustati alates 1. märtsist 2016. aastal. Mõõtmisi tehti vahemikus 4 kuni 90 m 1. märtsist kuni 30. märtsini. Alates 30. märtsist registreeritakse 4 profiili sügavusvahemikus kuni 100 m ja 4 profiili sügavusvahemikus 2,5 kuni 55 m. Kuni 29. märtsini tehti mõõtmisi kell 04.00, 10.00, 16.00 ning 22.00 (aeg UTC). Alates 30. märtsist tehti mõõtmisi kell 00.00, 03.00, 06.00, 09.00, 12.00, 15.00, 18.00 ning 21.00. Viimastest kogu pikkuses profileerimised tehti kell 03.00, 09.00, 15.00 ning 21.00, teistel aegadel profileeriti pinnast kuni 55 m sügavuseni. Neljal juhul (7. märts kell 10.00, 17. märts kell 10.00, kell 16.00 ning 22.00) profileerimise käigus ei jõutud 4 m sügavuseni, kuna hoovus oli liiga tugev ning vedas sondi horisontaalselt veesambas. Kui põhjajaam annab kaablit välja rohkem kui 135 meetrit, siis sondeerimine peatatakse.

4.2 Temperatuuri soolsuse ja tiheduse jaotus 2016. aasta kevadel

Antud lõputöös on kasutatud andmeid ajavahemikust 01.03.2016 kuni 13.05.2016. Esmane töötlus on teostatud kasutades Matlab-is koostatud töötlusprogrammi ja joonised andmete esitlemiseks on tehtud programmiga Ocean Data View 4.

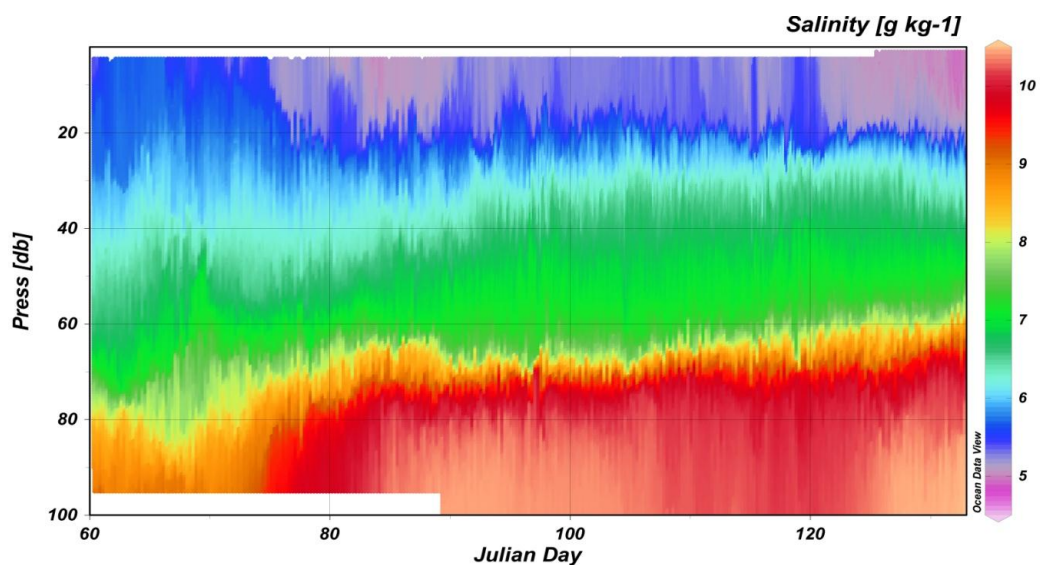
Jooniselt 5 on näha, et Soome lahes on selgelt eristatav kihistumine. Kevadel-suvel on tavaliselt termokliin ehk hüppeline temperatuuri muutus ligikaudu 10-20 meetri sügavusel ning halokliin ehk soolsuse hüpe ligikaudu 65-70 meetri sügavusel (Lips jt, 2011). Temperatuuri vertikaalse jaotuse graafikult on näha, et

märtsis oli pinnakihi vesi veel külmem kui sügavamad veekihi. Aprilli algusest hakkas pinnakihi vesi soojenema.



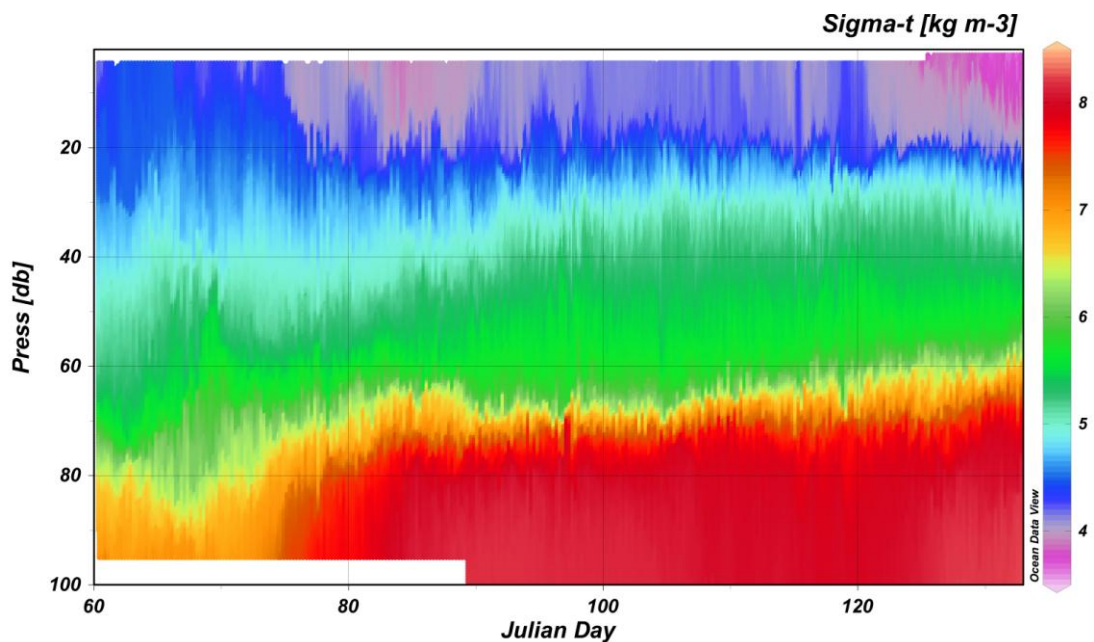
Joonis 5. Temperatuuri vertikaalse jaotuse ajalised muutused Soome lahes Keri põhjajaama andmetel ajavahemikus 1. märts kuni 13. mai 2016.

Nagu graafikult näha, siis märtsis oli temperatuur kuni 20 meetri sügavuseni nulli ringis: hiljem hakkas pinnakihi vesi soojenema. Valged osad graafikul on andmete puudumine, kuna kohe ei hakatud sondeerima 2,5 meetrist 100 meetrini, kuna oldi algselt selle uue tehnoloogia kasutamisega ettevaatlikumad.



Joonis 6 Soolsuse vertikaalse jaotuse ajalised muutused Soome lahes. Keri põhjajaama andmetel ajavahemikus 1. märts kuni 13. mai 2016.

Soolsuse jaotuse ajaliste muutuste graafikult (Joonis 6) on väga hästi näha halokliini tugevnemine ja tõusmine ülespoole alates märtsi lõpust. Enne seda (märtsi esimeses pooles) oli halokliin suhteliselt nõrk. Pinnakihi soolsus on märtsi algusest mai keskpaigani vähenenud. Halokliini tugevnemine ja pinnakihi soolsuse vähenemine on tinginud ka soolsusest tingitud vertikaalse stratifikatsiooni tugevnemise.



Joonis 7. Tiheduse (sigma-t) vertikaalse jaotuse ajalised muutused Soome lahes. Keri põhjajaama andmetel ajavahemikus 1. märts kuni 13. mai 2016.

Tiheduse (sigma-t) jaotuse ajaliste muutuste graafikult (Joonis 7) väga hästi näha tiheduse hüppekihi tugevnemine ja tõusmine ülespoole alates märtsi lõpust. Enne seda (märtsi esimeses pooles) oli tiheduse hüppekiht suhteliselt nõrk nagu seda on ka soolsusel. Pinnakihis on tihedus märtsi keskpaigast alates langenud.

Soolsuse väärtuseks mõõdeti 1. märtsil 5 m sügavusel 5,339 g/kg ning 13. mail 4,938 g/kg, ehk soolsus on vähenenud 0,461 g/kg võrra. Süvakihis 80 m sügavusel mõõdeti soolsuseks 1. märtsil 8,323 g/kg ning 13. mail 10,346 g/kg, ehk soolsus on tõusnud 2,023 g/kg võrra.

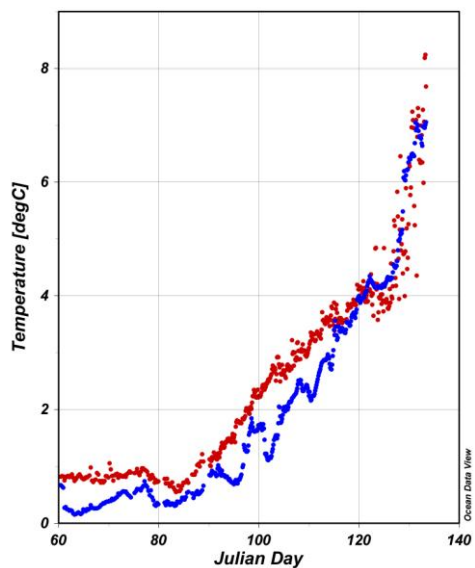
Tihedus (sigma-t) oli 1. märtsil 5 m sügavusel $4,157 \text{ kg/m}^3$ ning 13. mail samal sügavusel $3,619 \text{ kg/m}^3$, ehk tihedus on vähenenud $0,538 \text{ kg/m}^3$ võrra. Süvakihis oli 80 m sügavusel 1. märtil tiheduseks $6,515 \text{ kg/m}^3$ ning 13. mail $8,111 \text{ kg/m}^3$, ehk tihedus on kasvanud $1,596 \text{ kg/m}^3$.

4.3 Võrdlus Copernicus mereteenuse mudeli andmetega

Analüüsitakse Copernicuse mereteenuse raames kasutatava mudeli (*HBM – HIROMB-BOOS model*) poolt arvutatud parameetreid kõige lähedasemas punktis Keri põhjajaamale, mis võimaldab saada andmeid kuni 80 meetri sügavuseni ajasammuga 1 tund. Copernicus on mereteenuse prognoosmudel, mis modelleerib Läänemerd, sammuks 1–meremiilise horisontaalselt ja vertikaalselt kuni 25 eri kihina (CMEMS, 2016). Eesmärk on võrrelda Keri jaama mõõtmisi mudeli mõõtmistulemustega ja välja selgitada missugused on mudeli ning mõõtmisandmete erinevused. Püsijaamad võimaldavad operatiivse mudeli tulemusi valideerida tunduvalt paremini, kui seda on võimalik teha näiteks kuus korda aastas mõõdetud seireandmetega. Kuus korda aastas mõõdetud andmetega ei ole võimalik analüüsida mudeli täpsust lühiajaliste (päevad-nädalad) protsesside kirjeldamisel.

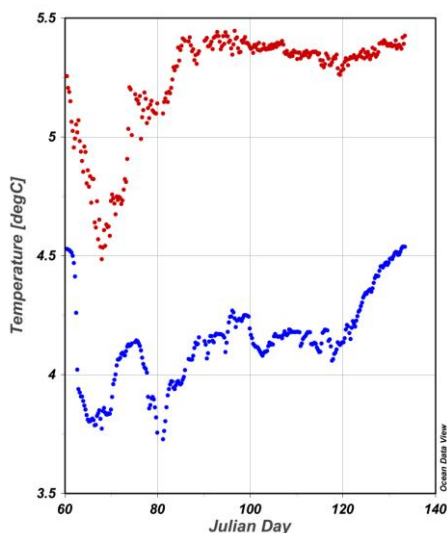
Mõõtmisandmete ja mudeli tulemuste võrdlemiseks on välja võetud 10 m ja 80 m andmed sama ajalise lahutusega Ülemise horisondi (10 m) andmed on välja võetud mõõtmisperioodi alguses 6 tunnise ja hiljem 3 tunnise sammuga. Sügavama horisondi (80 m) andmed on kogu perioodi jooksul võetud 6 tunnise ajalise lahutusega. Et mõõtmisandmed vastaksid mudeli vertikaalsele lahutusele 5 m, on mõõtmisandmed nimetatud sügavuste ümbruses 5 meetrises kihis keskmistatud. See tähendab, et 10 m jaoks on keskmistatud mõõtmistulemused vahemikus 7,5 kuni 12,5 m ja 80 m jaoks vahemikus 77.5 kuni 82.5 m.

Mudelit ja mõõtmisandmeid võrreldes on selgelt näha, et mudelis ei kajastu ajaliselt lühikesed sündmused väga hästi. Kui mõõtmisandmetes on kõikumised ka ööpäeva jooksul, siis mudeli andmed on palju ühtlasemad. Mudel ei erine mõõtmistest ainult lühikeste muudatuste kirjeldamisel, vaid ka üleüldiselt eksisteerib süstemaatiline erinevus mudeli ja mõõtmisandmete vahel. (Vt lisa 4, lisa 5)



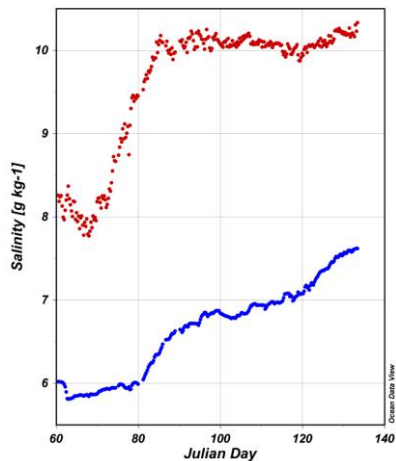
Joonis 8. Temperatuuri muutus 10 m sügavusel Copernicuse mereteenuse mudeli andmetel (sinine joon) ning Keri põhjajaama andmetel (punane joon) ajavahemikus 1. märts kuni 13. mai 2016

Analüüsitud andmetest oli mudeli ja mõõtmiste vahel kõige suurem korrelatsioon temperatuuri andmetes 10 meetri sügavusel. Mudeli ning mõõtmisandmete vaheline korrelatsioonikordaja oli 0,96. Mõõtmiste ja mudeli põhjal saadud temperatuuri muutlikkus 80 meetri sügavusel nii hästi kokku ei lähe (joonis 9)

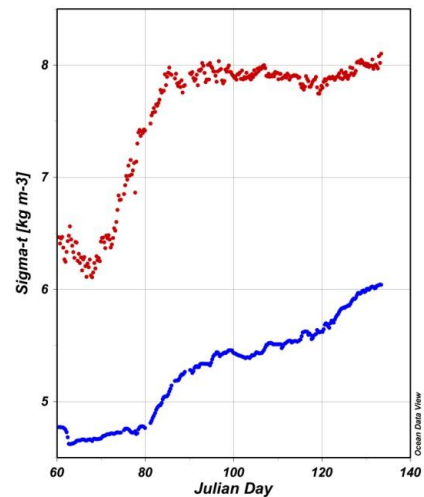


Joonis 9. Temperatuuri muutus 80m sügavusel Copernicuse mereteenuse mudeli andmetel (sininejoon) ning Keri põhjajaama andmetel (punane joon) ajavahemikus 1. märts kuni 13. mai 2016.

Korrelatsioon 80 meetri sügavusel mudeli ning mõõtmisandmete vahel oli ainult 0,58. Mudel suutis paremini 80 meetri sügavusel kirjeldada soolsuse ning tiheduse (sigma-t) ajalist muutlikkust. Mudelist ja mõõtmistest saadud soolsuse korrelatsioonikordajaks oli 80 meetri sügavusel 0,80 ning tihedusel 0,63.



Joonis 10. Soolsuse muutus 80 m sügavusel Copernicus mereteenuse mudeli andmetel (sinine joon) ning keri põhjajaama andmete (punane joon) ajavahemikus 1. märts kuni 13. mai 2016



Joonis 11. Temperatuuri muutus 80 m sügavusel Copernicus mereteenuse mudeli andmetel (sinine joon) ning Keri põhjajaama andmetel (punane joon) ajavahemikus 1. märts- kuni 13. mai 2016

Joonisel 10 ja 11 on näha, et mudelid (sinisega) on sarnasemad mõõtmistulemustega, kui temperatuuri joonisel 9. Kui võtta aluseks näiteks 10 meetri sügavusel, siis on temperatuuri ja soolsuse omavahelise kattuvuse graafikutel selgesti näha, et mudeli temperatuuri andmed ja mõõtmistulemuste temperatuuri andmetega erinevad küll teineteisest, kuid siiski ei ole erinevus nii suur, kui soolsuse mudelis ning mõõtmistulemustes. Süstemaatiline erinevus sügavamal on ka suurem, ehk mudeli andmed erinevad rohkem mõõtmisandmetest suurematel sügavustes.

Sügavus	Parameeter	Keskmine mõõtmisest	Keskmine mudelist
10 m	Temperatuur	3,303	2,523
	Soolsus	7,054	5,252
	Sigma-t	5,548	4,164
80 m	Temperatuur	3,305	2,524
	Soolsus	7,056	5,253
	Sigma-t	5,544	4,165

Tabel 3. Keri jaamas kogutud mõõtmisandmete ja Copernicus mereteenuse mudeli (HBM) andmete keskmestatud mõõtetulemused 10 m ja 80 m sügavusel perioodil 1. märts kuni 13. mai 2016.

Sügavus	Parameeter	Korrelatsioon	Keskmine erinevus
10 m	Temperatuur	0,96	-0,39 °C
	Soolsus	0,44	-0,98 g/kg
	Sigma-t	0,47	-0,73 kg/m ³
80 m	Temperatuur	0,58	-1,09 °C
	Soolsus	0,83	-2,95 g/kg
	Sigma-t	0,83	-2,25 kg/m ³

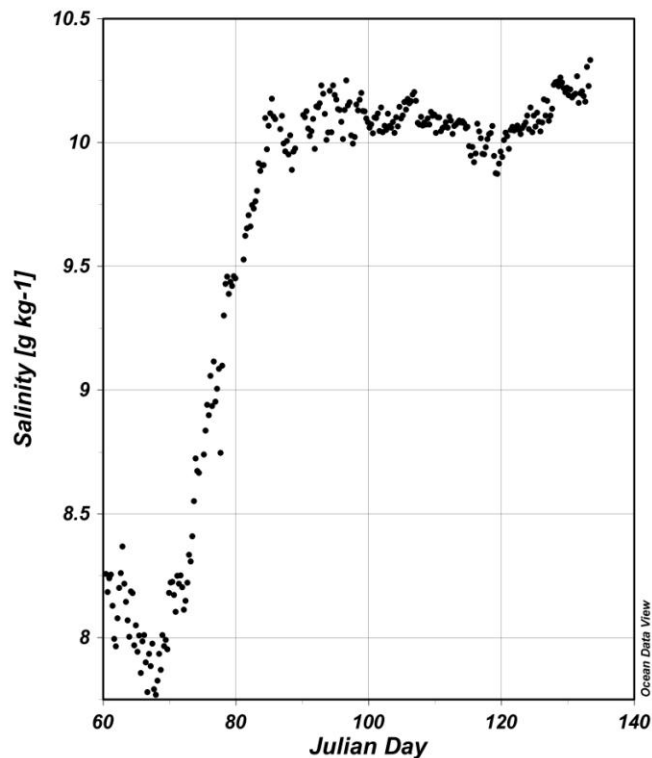
Tabel 3. Keri jaamas kogutud mõõtmisandmete ja Copernicus mereteenuse mudeli (HBM) andmete vaheline võrdlus 10 m ja 80 m sügavusel perioodil 1. märts kuni 13. mai 2016.

5. ARUTELU

Keri põhjajaam annab suure täpsusega ning hea ajalise resolutsiooniga andmeid keskkonnaparameetrite vertikaalse jaotuse kohta veesambas. Keri profileeriv põhjajaam võimaldab teha mõõtmisi ka jääga, mis oli varem võimatu. Võime saada profileerimise andmeid terve aasta jooksul võimaldab kalibreerida, arendada ning täpsemaks muuta Läänemere prognoosimudeleid.

Kuna mõned sündmused Soome lahes on ainult mõned päevad pikad ja ainult mingis mere kihis, siis programmeeritav põhjajaam annab võimaluse neid kõiki sündmuseid jälgida. Üheks olulisemaks sündmuseks Soome lahes on iga aastane vetikate vohamine, mis on põhjustatud liiga suurest toiteainete hulgast meres.

Käesolevas töös võrreldi mõõtmisandmeid Copernicuse mereteenuse mudeli andmetega. Võrdlusest on näha, et Copernicuse mudel jälgib küll pikaajalisemaid trende mere muutustes, kuid lühemate sündmuste täpse modelleerimisega kahjuks hakkama ei saa (vt joonis 11 ja tabel 3). Mõõtmisandmetega on võimalik kontrollimisele ja võrdlusele lisaks teha ka mudeli kalibreerimist ning täpsustamist. Keri põhjajaama asupaik ja töö on hea võimalus teha Copernicuse laadseid mudeleid täpsemaks ning paremaks.



Joonis 12. Soolsus 01.03.2016-13.05.2016 Keri põhjajaamas.

Võrreldes Keri põhjajaamast saadud mõõtmisandmeid 15-16.03.2012 mõõdetud andmetega siis 80 meetri sügavusel aastal 2012. mõõtmisandmetes on soolsus ligikaudu 9,3 g/kg ning samal aastal 08.05 on mõõdetud soolsuseks ligikaudu 9,5 g/kg (Liblik jt, 2013). 2014 aastal tehtud uuringust näeb, et 4-5 märts oli sellel sügavusel halokliin. Soolsus ligikaudu 7 g/kg, 3-4 aprilli aga soolsus ligikaudu 9,2 g/kg. Kuu aega hiljem 5-6 mail tehtud mõõtmistel on aga saadud soolsuseks ligikaudu 9,5 g/kg (Lips jt, 2016). Võrreldes 2012. aasta andmetega on Keri jaamast saadud märtsi alguses väiksemad tulemused ligikaudu soolsusega 8 g/kg. Alates aprillist on soolsus püsinud ligikaudu 10,1 g/kg juures. Keri põhjajaama ajavahemiku 01.03.2016-15.05.2016 andmete põhjal oli algselt halokliin nõrk, ning see hakkas tugevnema ligikaudu 70 meetri sügavusel märtsi teisest poolest. (vt joonis 12). Seega on soolsus Soome lahe keskosas suurenenud, mida võib seostada soolasema vee sissevooluga lahe süvakihti Läänemere avaosast.

KOKKUVÕTE

Keri profileerivas põhjajaamas on teostatud mõõtmisi alates 01.03.2016. Keri põhjajaam on ainuke omasugune terves Läänemeres, ning annab ainulaadse võimaluse profileerida kogu veesammast terve aasta jooksul. Bakalaureusetöö eesmärk oli tutvustada põhjajaama, ning näidata, kuidas on võimalik kasutada põhjajaamast tulevaid andmeid näiteks operatiivse prognoosimudeli valideermiseks. Käesolevas töös on kasutatud ajavahemikul 01.03.2016 kuni 15.05.2016 kogutud andmeid temperatuuri, soolsuse ja tiheduse (sigma-t) kohta.

Keri põhjajaam on paigaldatud 2 km Keri saarest põhja poole ligikaudu 110 meetri sügavusele. Põhjajaam on ühendatud kaabliga Keri saarega, kust on võimalik laadida jaama pardal olevaid akusid ja saata jaamast kogutud andmeid interneti vahendusel serverisse. Keri põhjajaam tuleb toime ainult tuule- ning päikeseenergiat kasutades. Eelised teiste mõõtesüsteemide ees on põhjajaamal tema töökindlus, lihtsus ning hind. Võime olla terve aasta meres vähendab oluliselt ka püsikulusid.

Läänemeres toimuvad protsessid, millest mõnede ajamastaabiks on ainult mõned päevad. Kui varem pidi uurimisläve ning teadlastega minema mitmeks päevaks merele, et neid jälgida, siis Keri põhjajaama abil on võimalik saada mõõtmisandmed kätte ilma merele minemata. Keri põhjajaama on võimalik programmeerida interneti vahendusel, et põhjajaam teeks profiile vastavalt uurimisteema eesmärgile. Võimalik on programmeerida kindlad kellaajad, kui ka kindlad sügavuste vahemikud, mida tahetakse täpsemalt uurida. Käesolevas töös on kasutatud andmeid 80 meetri sügavuselt ajasammuga 6 tundi terves ulatuses ning 10 meetri sügavuse andmetel algselt 6 tunnise ajasammuga ning alates aprillist on tehtud profileerimised 3 tunnise ajasammuga.

Püsiva asupaigaga mõõtmisseade Läänemeres võimaldab meres toimuvaid protsesse simuleerivaid numbrilisi mudeleid valideerida ja seeläbi neid täpsemaks muuta. Käesolevas töös võrreldakse mõõtmistulemusi Copernicuse mereteenuse

raames kasutatava operatiivse prognoosimudeliga. Võrdluses võeti 10 m ja 80 m andmed nii mudelist, kui mõõtmistulemused Keri põhjajaamast. Võrdlusest saab järeldada, Copernicuse mudeli ning mõõtmistulemuste parim kokkulangevus on temperatuuri parameetriga 10 meetri sügavusel. 80 meetri sügavusel on kokkulangevus palju väiksem. Soolsuses esineb mudelis süstemaatiline erinevus mõõtmistega: pinnakihis ligikaudu 1 g/kg ja süvakihis ligikaudu 3 g/kg.

TÄNUAVALDUSED

Bakalaureusetöö autor tahab tänada kõiki, kes bakalaureusetöö kirjutamisega seoses aitasid. Suured tänud ka oma juhendajale professor Urmas Lipsule nõuannete ning juhendamise eest. Samuti tänan TTÜ Meresüsteemide Instituuti aktiivse abi ning andmete edastamise eest.

VIIDATUD KIRJANDUS

Argo. How argo floats work. [www] http://www.argo.ucsd.edu/How_Argo_floats.html (10.05.2016)

Beldowski, J., Szubska, M., Emelyanov, E., Garnaga, G., Drzewinska, A., Beldowska, M., Vanninen, P., Östin, A., Fabisiak, J., 2016. Arsenic concentration in Baltic Sea sediments close to chemical munitions dumpsites. Deep sea research part II: Topical Studies in Oceanography, 128, 114-122.

Carlson, F. C., Ostrovskii, A. G., Kebkal, K. G., Glidor, H., 2013. Moored automatic mobile profilers and their application. ResearchGate.

Chelsea Technologies Group Ltd. Trilux background [www] <http://www.chelsea.co.uk/trilux#background> (10.05.2016)

CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service), 2016. Product data sheet, Balticsea_analysis_forecast_phys_003_006

Flydog marine. Introducing profile buoy „Mona“. [www] <http://www.flydogmarine.com/wp-content/uploads/2015/03/Profiler-Buoy.pdf> (18.05.2016)

HELCOM, 2007. HELCOM Baltic Sea Action Plan, HELCOM Ministerial Meeting Krakow, Poland, 15 November 2007

Idronaut. Ocean Seven 316 Plus CTD for Oceanography. [www] <http://www.idronaut.it/cms/view/products/multiparameter-ctds/oceanographic-ctds/ocean-seven-316iplusi/s310> (24.05.2016)

Liblik, T., Lips, U., 2012. Variability of synoptic-scale quasi-stationary thermohaline stratification patterns in the Gulf of Finland in summer Ocean science, 8, 603-614.

Liblik, T., Laanemets, J., Raudsepp, U., Elken, J., Suhhova, I., 2013. Estuarine circulation reversals and related rapid changes in winter near-bottom oxygen conditions in the Gulf of Finland, Baltic Sea, Ocean Science, 9, 917-930,

Lips, U., Lips, I., Liblik, T., Kikas, V., Altoja, K., Buhhalko, N., Rünk, N., 2011. Vertical dynamics of summer phytoplankton in a stratified estuary (Gulf of Finland, Baltic Sea) Ocean Dynamics DOI 10.1007/s10236-011-0421-8.

Lips, U., Laanemets, J., Lips, I., Liblik, T., Suhhova, I., Suursaar, Ü., 2016. Wind-driven residual circulation and related oxygen and nutrient dynamics in the Gulf of Finland (Baltic Sea) in winter. 2013-14. Estuarine, Coastal and Shelf Science . submitted.

Lips, U., Kikas, V., Liblik, T., Lips, I., 2016. Multi-sensor in situ observations to resolve the sub-mesoscale in the stratified Gulf of Finland, Baltic Sea Ocean Science Discussions, DOI:10,5194/os-2016-5.

Lundberg, C., 2013. Eutrophication, risk management and sustainability. The perceptions of different stakeholders in the northern Baltic Sea. Marine Pollution Bulletin 66, 143-150.

National Data Buoy Center. Moored Buoy Program. [www]
<http://www.ndbc.noaa.gov/mooredbuoy.shtml> (18.05.2016)

Nilsson, P., Jansson, M., 2002. Hydrodynamic control of nitrogen and phosphorus turnover in an eutrophicated estuary in the baltic. Water research, 36, 4616-4626.

Ocean Instruments. Moored profile. [www]
<https://www.whoi.edu/instruments/viewInstrument.do?id=10978> (19.05.2016)

Ocean observatories initiative. Coastal Profiler Moorings [www]
https://www.whoi.edu/ooi_cgsn/coastal-surface-profilers (10.05.2016)

Omstedt, A., Elken, J., Lehmann, A., Leppäranta, M., Meier, H.E.M., Myrberg, K., Rutgersson, A., 2014. Progress in physical oceanography of the Baltic Sea during the 2003-2014 period. Progress in Oceanography, 128, 139-171.

Ostrovskii, A. G., Zatsepin, A. G., Soloviev, V. A., Tsibulsky, A. I., Shvoev, D. A., 2013. Autonomous system for vertical profiling of the marine environment at a

moored station. ISSN 0001-4370, *Oceanology*, 53, (2) 233-242. Pleiades Publishing, Inc.

Prien, R.D., Schulz-Bull, D.E., 2016. GODESS—A profiling mooring in the Gotland Basin. *Ocean Science Discussions*. DOI: 10.5194/os-2016-11.

Seaglider fabrication center. Seaglider. [www]
<http://seaglider.washington.edu/story/Seaglider.html> (10.05.2016)

Stramska, M., 2013. Temporal variability of the Baltic Sea level based on satellite observations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 133, 244-250.

Westerlund, A., Tuomi, L., 2016. Vertical temperature dynamics in the Northern Baltic Sea based on 3D modelling and data from shallow-water Argo floats. *Journal of Marine Systems*. 158, 34-44.

LISAD

Lisa 1

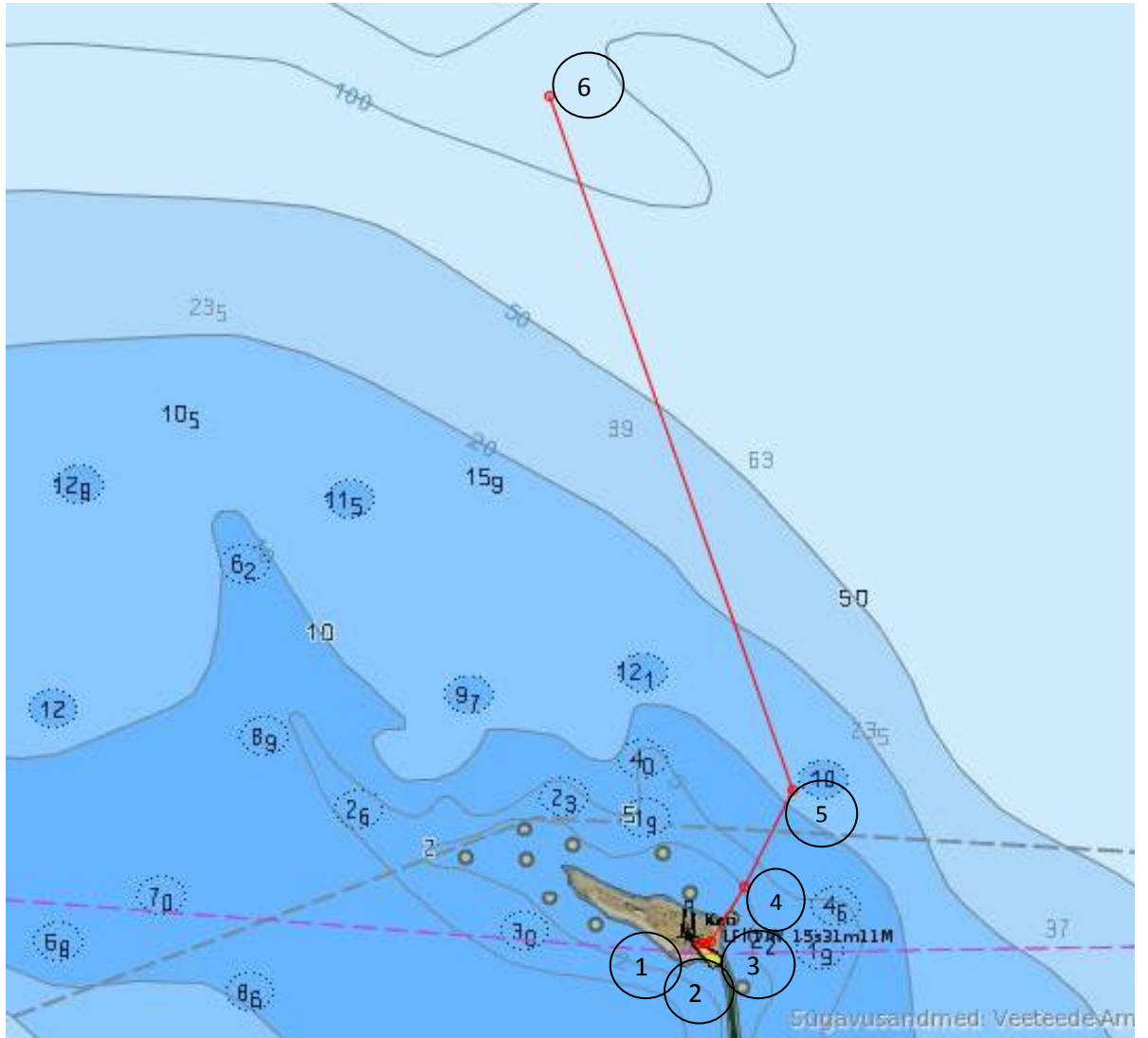
Keri saare põhjajaama tugijaam.



(„Põhjaprofileerija merekaabli ja side ja toitetechnika paigaldus“ Juhendist)

Lisa 2

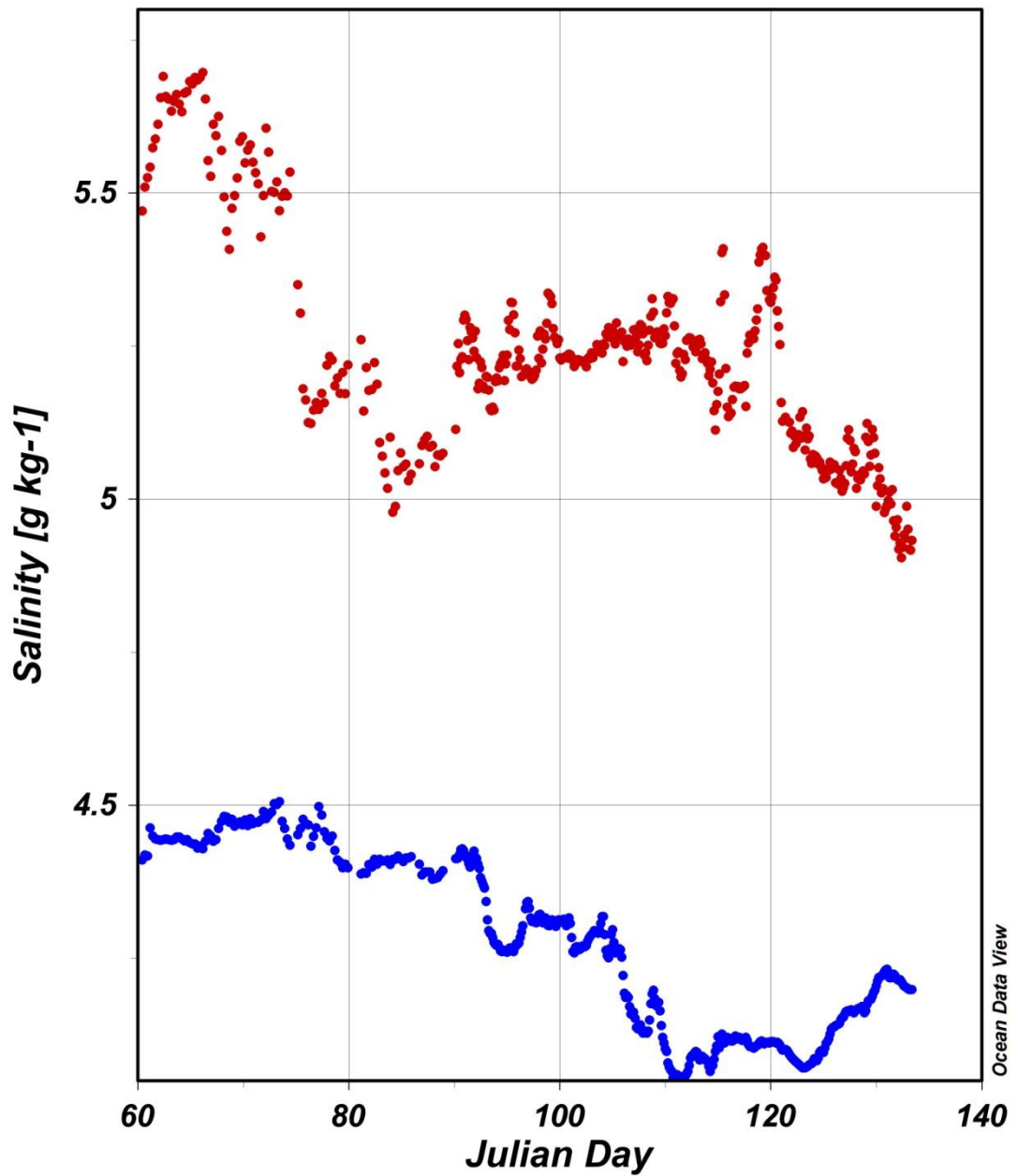
Keri põhjajaama, põhjajaama kaabli ning tugijaama asukohad.



(„Põhjaprofileerija merekaabli ja side ja toitetechnika paigaldus“ Juhendist)

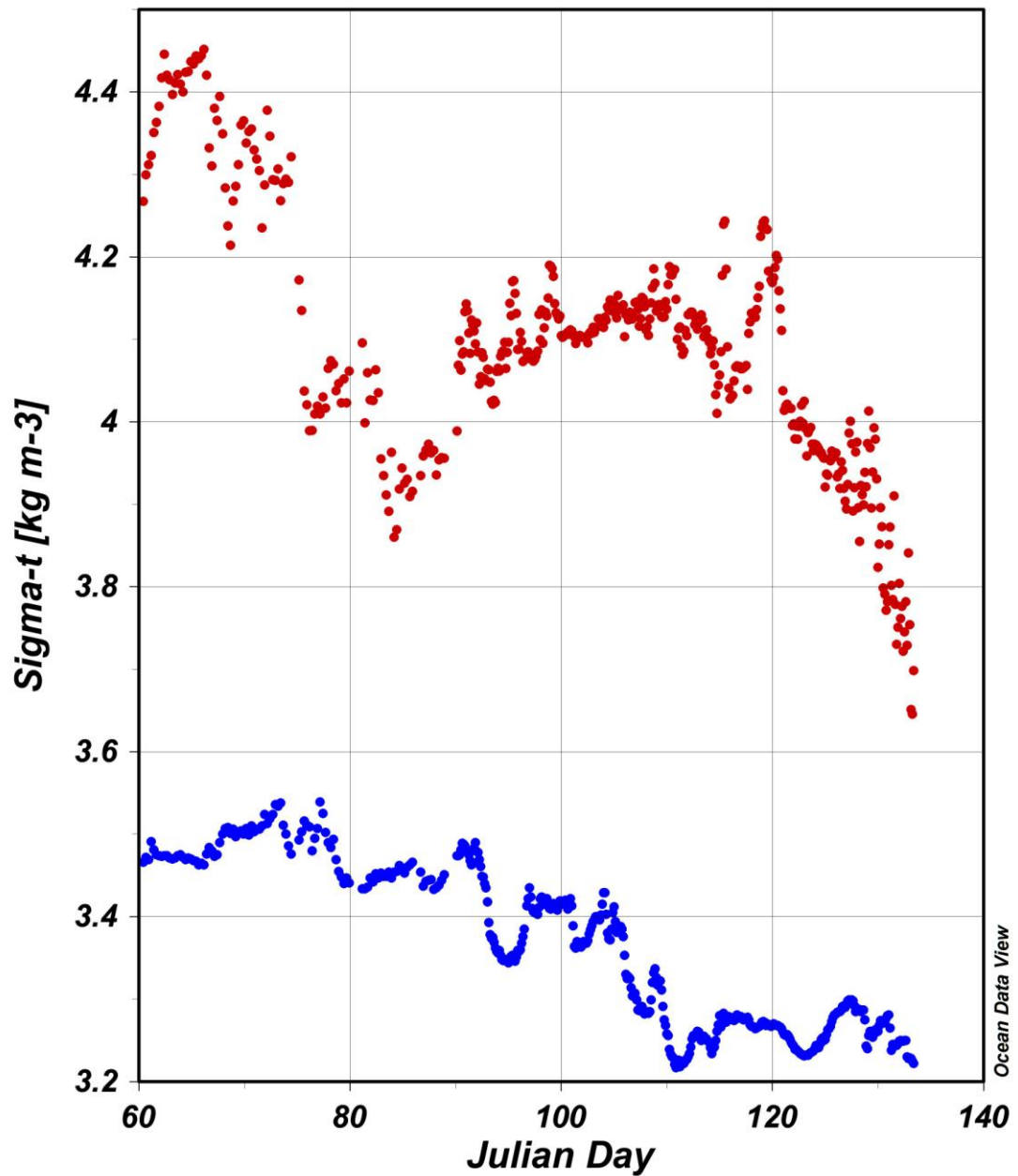
Lisa 3

Soolsus andmed Copernicuse mudelist ning Keri põhjajaamast 10 meetri sügavusel. Sinisega mudel ja punasega mõõtmisandmed



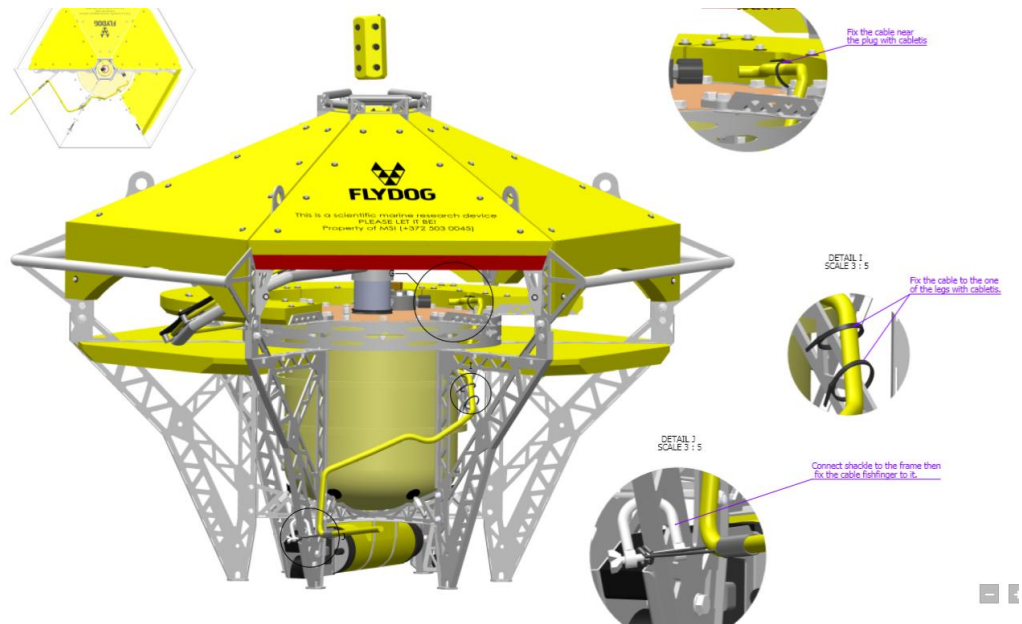
Lisa 4

Tihedus (sigma-t) andmed Copernicuse mudelist ning Keri põhjajaamast 10 meetri sügavusel. Sinisega mudel ja punasega mõõtmisandmed



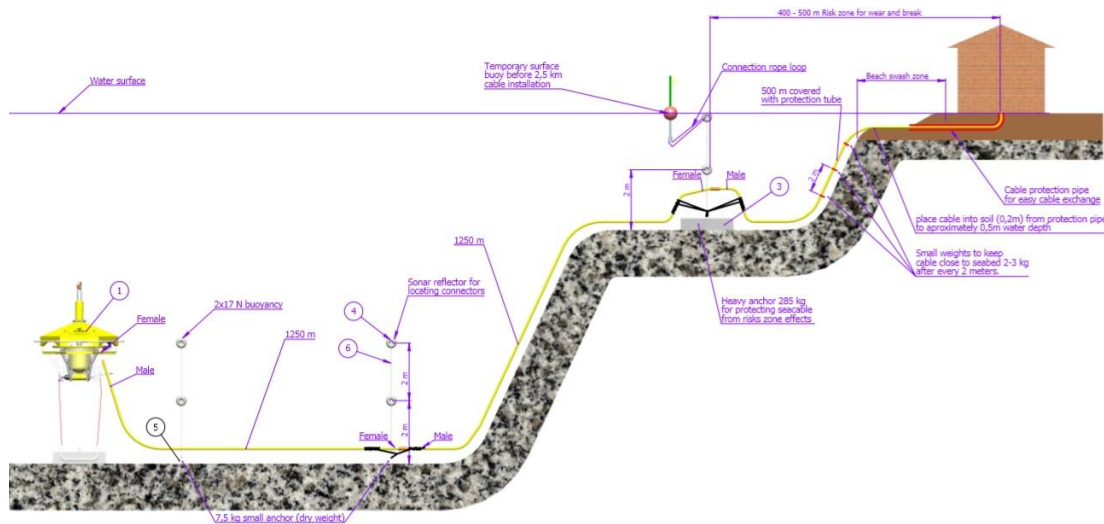
Lisa 5

Keri põhjajaama joonis. Flydog Solutions LCC poolt tehtud joonis.



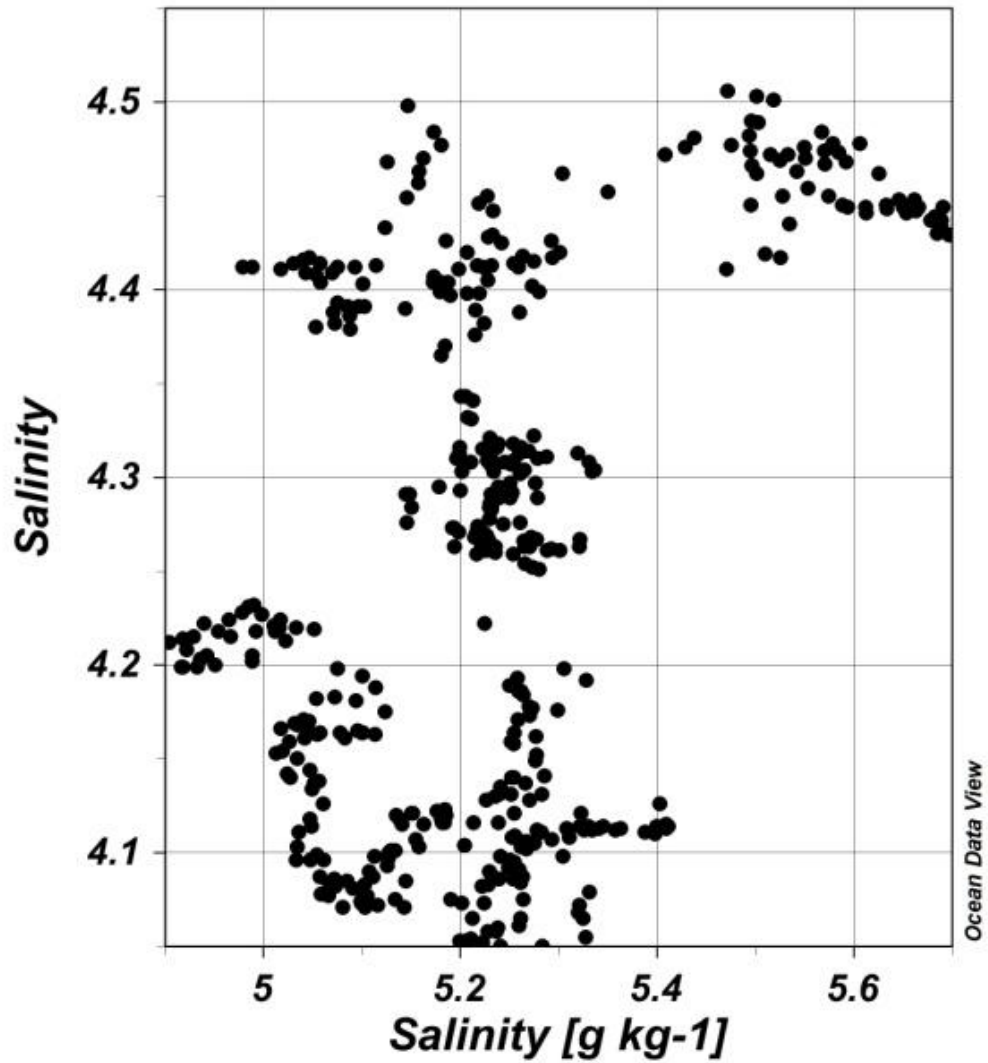
Lisa 6

Keri põhjajaama paigaldamis joonis. Flydog Solutions LCC poolt tehtud joonis.



Lisa 7

Soolsus andmed Copernicuse mudelist ning Keri põhjajaamast 10 meetri sügavusel. Mudel y-teljel, ning mõõtmisandmed x-teljel.



Lisa 8

Soolsus andmed Copernicuse mudelist ning Keri põhjajaamast 10 meetri sügavusel.
Mudel y-teljel, ning mõõtmisandmed x-teljel.

