

**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL**

Matemaatika-loodusteaduskond

Meresüsteemide Instituut

**MERE PINNAKIHI SOOLSUSE MUUTLIKKUSEST  
EESTI MEREALAL U/L SALME  
LÄBIVOOLUSÜSTEEMI ANDMETEL**

Bakalaureusetöö

**Argo Tarkiainen**

Juhendaja: prof. Ürmas Lips, Okeanograafia õppetool

Maa-teadused

Tallinn 2014

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus ning kinnitan, et esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Kinnitan, et antud töö koostamisel olen kõikide teiste autorite seisukohtadele, probleemipüstitustele, kogutud arvandmetele jmt viidanud.

Argo Tarkiainen

(allkiri ja kuupäev)

Juhendaja: prof. Urmas Lips

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

(allkiri ja kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

## Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1. TEOREETILINE OSA .....	6
1.1. FerryBox.....	6
1.2. FerryBox'i projekt.....	7
1.3. FerryBox süsteem.....	8
1.4. Temperatuur ja soolsus.....	9
1.5. Uurimislaeva Salme FerryBox süsteemi kirjeldus .....	13
2. UURIMUSE METOODIKA JA EESMÄRK.....	15
2.1. Uurimuse meetodika .....	15
2.2. Valimi valimise kirjeldus .....	15
2.3. Uurimuse protseduur .....	16
2.4. Andmete analüüs .....	17
3. UURIMUSTULEMUSTE ANALÜÜS .....	18
3.1. Üldandmete analüüs .....	18
3.1.1. Soolsuse kõikumise aastaajaline analüüs.....	18
3.2. Mõõtmistulemuste analüüs.....	20
3.2.1. Sügisene mõõtmine.....	20
3.2.2. Talvised mõõtmised.....	22
3.2.3. Kevadised mõõtmised.....	28
Soolsuse järskude muutuste (frontide) piirkonnad.....	31
Kokkuvõte.....	32
Abstract .....	34
Kasutatud kirjandus.....	36
LISAD .....	37
Lisa 1. SBE 38 Digitaal termomeetri täpsed andmed .....	37
Lisa 2. SBE 45 MicroTSG Termosalinograafi täpsed andmed .....	38

## Sissejuhatus

Läänemeri on maailmas üks ainulaadsemaid sisemeresid, sest tegu on riimveelise veekoguga. Veevahetus Atlandi ookeaniga toimub läbi Taani väinade, mis toob merre soolasemat vett. Soolasem on Läänemeri Taani väinade ja lõuna poolsemas mere osas ja magedam põhja ja ida pool, kus mõjutab soolsust merre voolavate jõgede poolt toodud mage vesi.

Jõgedest tuleb Läänemerre aastas keskmiselt 440 km<sup>2</sup> magedat vett (moodustab 2% kogu Läänemere ruumalast) ning Taani väinade kaudu sama palju soolasemat (15-17‰) vett, seega on vee viibeaeg 20 - 30 aastat. Läänemere avaosa (avamere) ja Soome lahe lääneosa vesi on soolsuse ja tiheduse järgi püsivalt kihistunud. Halokliin (kiht, milles soolsus vertikaalselt järsku muutub) eraldab ülakihi (6-8‰) ning süvakihtide vett (Bornholmi nõos kuni 18‰, Gotlandi nõos kuni 13‰) ning takistab oluliselt nende vertikaalset segunemist. Eesti rannikumere vee soolsus väheneb mere keskosa 6,5-7 ‰-st kuni 4 ‰-ni (Narva lahes). (Eesti Entsüklopeedia)

Antud uurimuse piirkonda kuuluvad Eesti rannikulähedased merealad, peamiselt Soome lahes. Tegemist on suure alaga, siis uurimuses kasutati FerryBox süsteemi poolt teostatud mõõtmiste andmeid. *FerryBox* süsteem on praegusel ajal üks populaarsemaid mereuuringute teostamise vahend. Esimestena lisasid *FerryBox* süsteemi praamile Hurtigruten norralased, tehes mõõtmisis pikki Norra rannikut Bergenist Kirkenesi. Uurimuses on kasutatud U/L Salme peal olevat *FerryBox* süsteemi. Reisipraamidele pigaldatud süsteemide eeliseks on laevade graafikujärgne ja kindlal trassil liikumine, mis võimaldab täpsemalt uurida mõõdetavaid parameetreid trassil. Uurimislaeval paiknev *FerryBox* mõõdab keskkonnaparameetreid kõikides seire- ja teadusreisides.

Bakalaureusetöö eesmärgiks on välja selgitada järsu soolsuse muutusega piirkonnad (soolsuse fronidid) Eesti rannikulähedastes vetes.

Soolsuse muutuste piirkonna täpsete asukohtade määramiseks, tuleks lisaks olemasolevatele *FerryBox* süsteemi marsruutidele paigaldada ka süsteemid teistele marsruutidele. See tagaks Eesti merealal ühtlasema andmetevoogu, mis omakorda võimaldab paremini määrata meres toimuvaid protsesse.

Sellest lähtuvalt on püstitatud järgmised uurimisülesanded:

- luua teemakohasele kirjandusele tuginedes bakalaureusetöö teoreetiline baas;
- soolsuse järskude muutuste piirkondade määramine;
- analüüsida tulemusel, formuleerida kokkuvõtlikud järeldused.

Käesoleva bakalaureusetöö uurimusküsimusteks on:

- 1) Millistes Eesti mereala uuritavates piirkondades asuvad soolsuse fronidid?
- 2) Millised looduslikud tegurid mõjutavad soolsust sügisel, talvel ja kevadel?

Käesolev bakalaureusetöö koosneb teoreetilisest osast (ptk. 1), kahest uurimuslikust osast (ptk. 2-3), kokkuvõttest, resümeest ja lisadest.

Teoreetilisest osast selgitatakse lahti mõõteseadmed, millega teostati mõõtmised, mõõdetavad parameetrid. Uurimuse osast määratakse soolsuse muutuste piirkonnad ja analüüsitakse neid.

# 1. TEOREETILINE OSA

## 1.1. FerryBox

Mitu aastakümnet on võimalikke laevu, nagu praamid kasutatud hüdrograafiliste andmete mõõtmiseks ranniku lähedastes kui ka ookeanilistes vetes. 1930-datel võtsid norralased kasutusele praami Hurligruten, mis sõitis Bergenist mööda Norra rannikut kuni Kirkenesini, et koguda soolsuse ja temperatuuri andmeid regulaarselt. 1930-ndate keskel Suurbritannias alustas Alistair Hardy esimeste katsetustega kogumaks regulaarselt andmeid zooplanktoni jaotuse ja kalade vastsete kohta Põhjameres, kasutades tema enda poolt arendatud CPR-süsteemi (CPR- Continuous Plankton Recorder). Need vaatlused jätkuvad tänaseni Põhjameres ja Põhja-Atlandi ookeanis, loomaks kõige pikemat bioloogilist andmeterida. Euroopa Liidu *FerryBox* süsteemide alguspunktiks olid mitmed arendused viimase aastakümne jooksul. EuroGOOS'i raportid märkisid, et oleks võimalik kasutada enam kui 800 regulaarselt töötavaid parvlaeva liini Euroopa vetes. Need varustatakse mitmete anduritega mõõtmaks olulisi füüsikalisi, keemilisi ja bioloogilisi parameetreid, mis on piisavalt testitud ja töökindlad, et koguda neid operatiivselt.

Läänemeres tegi esimesed mõõtmised Soome Mereuuringute Instituut kasutades regulaarseid praami põhiseid mõõtmisi vetikate vohamise, jaotuse ja keemiliste toitainete kontsentratsiooni kohta Alg@line projekti raames. Alg@line annab hoiatusi (mürgiste) vetikate vohamise kohta Soome lahes ja Läänemeres laiemalt.

Seega on olemas kindel vajadus täiustada vaatluste võimekust; mitte ainult standardsetel parameetritel nagu temperatuur ja soolsus, vaid ka keemilistel (toitained) ja bioloogilistel (fütoplankton, zooplankton) parameetritel. See aitaks avastada ökosüsteemi parameetrite trende ranniku meredes. Seda võib kasutada mudelite kinnitamiseks ja kalibreerimiseks ja võib olla seotud vaatlustega, mis on läbi viidud satelliitide või lennukite poolt (kaugseire), et määrata nähtuste mastaapi.

Seega on võimalik merega seotud protsesse nii ajalises kui ka ruumilises skaalas paremini lahendada ja mõista. (Peterson et al., 2007)

## 1.2. *FerryBox*'i projekt

Üheks oluliseks sammuks *FerryBox* mõõtmiste levikul ja koordineeritud kasutamisel Euroopas oli *FerryBox* projekt. Selle projekti eesmärgid olid nii tehnoloogilised kui ka teaduslikud.

Tehnoloogilised eesmärgid:

- *FerryBox* süsteemi kasutamine operatiivselt üheksal parvlaeva liinil üle kogu Euroopa vähemalt üks aasta;
- Erinevate läbivoolu süsteemide (*FerryBox*'ide) võrdlemine operatiivsuse, usaldusväärsuse ja pikaajalise stabiilsuse suhtes;
- Erinevate saadaolevate temperatuuri, soolsuse, hägususe ja klorofüll *a* florestsens sensorite testimine ja võrdlemine kõikidel liinidel.

Teaduslikud eesmärgid

Erinevused Euroopa ranniku ja šelfi merede vahel peaks olema iseloomustatud mõõdetavate parameetrite alusel. Valides erinevate veekogude vahel Euroopa kontinendil, erinevad vee liigid, varieerudes suletud süsteemidest, nagu Läänemeri, kuni tõusu ja mõõna poolt mõjutatud veteni nagu Wadden'i meri, ja šelfi ja rannikumeredeni nagu Iiri meri ja Põhjameri ja sügavad ookeani veelised Biskaia laht ja Vahemeri, olid hõlmatud.

Peamised projekti teaduslikud küsimused oli uurida:

- Eutrofeerumise protsesse;
- Veemasside stabiilsust ja transporti;
- Setete transporti;

Teiseks teaduslikuks eesmärgiks oli tugevalt seostada *FerryBox*'i andmed numbrilisse (ökosüsteem) mudelitesse ja merepinna kaugseirega. (FerryBox, 2007)

### 1.3. FerryBox süsteem

Reisi- ja kaubalaevu ning ka teisi kommertsaluseid kasutatakse platvormidena mereuuringuteks. Nendele paigaldatud automaatseid mõõtesüsteeme nimetatakse *Ferrybox*'ideks. Merevett, mis pumbatakse läbi mõõtesüsteemi laeva pardal, võetakse umbes 4-5 m sügavuselt. Tavaliselt kuuluvad süsteemide koosseisu ka automaatsed proovikogumisseadmed veeproovide võtmiseks ja edasiseks laboratoorseks analüüsiks (nt kahjulike vetikate esinemise seireks). *Ferrybox*'ide kasutamise eelisteks on laevade graafikujärgne kindlal trassil liikumine, mis võimaldab teostada mõõtmisi regulaarselt, piisava sagedusega ja annab mereala hea katvuse võrreldes mõõtmistega ühes punktis; süsteemide hooldust saab teostada kui laevad on sadamas; laevadel on seadmedkaitstud välismõjude eest ja tavaliselt on olemas piisavalt energiat; andmeid saab koguda väikeste kuludega, sest reeglina võimaldavad laevakompaniid süsteemide paigaldamiseks vajaliku ruumi tasuta. Kirjeldatud seiremeetodi peamiseks puuduseks on mõõtmiste teostamine ja proovide kogumine vaid mere pinnakihist. Seega ei ole võimalik kirjeldada sügavamal toimuvaid protsesse.

Soome lahel Tallinna ja Helsingi vahelisel merealal käivitusid regulaarsed mõõtmised reisiparvlaevadele paigaldatud aparatuuriga 1997. aastal. Kuni 2013. a jaanuari lõpuni oli mõõtmisüsteem paigaldatud AS Tallink Grupp parvlaev Baltic Princess pardale, praegu töötab süsteem parvlaev Silja Europa pardal. Pärast iga ülesõitu ja naasmist Tallinna sadamasse edastatakse kogutud andmed (temperatuuri,



soolsuse ja klorofüll *a* fluorestsentsi väärtused) TTÜ Meresüsteemise Instituudi serverisse.

Kord nädalas kogutakse automaatse proovikogujaga veeproove edasisteks laboratoorseteks analüüsideks. Veeproovidest analüüsitakse klorofüll *a* ja toitainete sisaldust ning määratakse fütoplanktoni liigiline koosseis ja biomass. Aastast aastasse teostatud autonoomsed mõõtmised ja regulaarsed veeproovide analüüsid võimaldavad teadlastel jälgida keskkonnaparameetrite sesoonset ja aastatevahelist muutlikust, hinnata mere keskkonnaseisundit ning eristada looduslikku varieerumist inim mõjust tingitud muutustest. Näiteks on Tallinn-Helsingi liinil kogutud informatsiooni abil tuvastatud, et tsüanobakterite massvohamise intensiivsus sõltub lisaks talvisele toitainete sisaldusele (sh N:P suhtele) suvisest päikesekiirguse intensiivsusest, vee temperatuurist ja varasuviste apvellingute esinemisest, mis toovad mere ülakehti täiendavalt fosforiühendeid. (Lips & Lips, 2013)

#### **1.4. Temperatuur ja soolsus**

Vee tihedus on füüsikaline parameeter, mis mängib väga olulist rolli voolu dünaamikas šelfi meredes. Kuni 1960'ni tiheduse määramine ookeanides oli suurelt baseerunud mõõtmiste kombineerimisele, kasutades spetsiaalset elavhõbeda termomeetrit, et mõõta temperatuuri ja kogutud vee proove, mis võimaldaksid määrata vee soolsust (soola sisaldust) tiitrimise teel või laborites mõõta vee elektrijuhtivust. Need meetodid olid suhteliselt täpsed, temperatuuri määrati  $\sim \pm 0.01^\circ\text{C}$  ja soolsust  $\sim$  üks osa 3000'st, aga need olid küllaltki keerukad ja tööjõudu nõudvad. (Simpson & Sharples, 2012)

Merepinna temperatuuri (SST – Sea surface temperature) vaatlused on aluseks paljudele okeanograafilistele ja meteoroloogilistele rakendustele. Suurem osa SST andmetest pärineb infrapuna satelliitide vaatlustest. Passiivsete satelliitide

vaatlusandmed on piiratud pilvkatte poolt ja statistilisi meetodeid tuleb tihti peale kasutada, et interpoleerides täita andmelüngad. (Høyer & She, 2007)

Läänemere termiline "mälu" on umbes 2-3 kuud. Kuigi veehulk on väike, siis tugevad hooajalised tsüklid võimaldavad salvestada palju soojust veekogudesse suvel, mis vabaneb talvel. Sügise ja talve tingimustes, suurtel laiuskraadidel asuvaid meresid iseloomustavad tugevad kuid mõõdukad varjatud soojus vood atmosfääri nii kaua kuni mere pind on jäävaba ja sooja õhu transport madalamatelt laiuskraadidelt intensiivsete tsüklonite abil. See transport mõjub eriti tugevalt Kesk- ja Põhja-Euroopat, kuna Põhja-Atlandi hoovus toob sooja vett ja suurendab atmosfääri eralduvat soojust hulka.

Läänemeres võib temperatuuri vertikaalses jaotuses eristada kahte kihti, mille struktuur on määratud soolsuse järgi. Ülemist kihti mõjutavad sesoonsed tsüklid, mis on põhjustatud kiirguse tasakaalust ja õhu-mere vahelisest soojusvahetusest, kuid alumine kiht ei ole seotud atmosfääri jõududega, vaid on tingitud adveksiooniga Põhjamerest. Soe hooajaline pinnakiht tekib suvel hooajalise termokliiniga ülemises kihis. Läänemere põhja-poolsemas osas võib vastupidine termokliin tekkida talvisel ajal; temperatuur on pinnakihis külmumispunktis ja tõuseb sügavamale minnes, kuni maksimaalse tiheduseni (2°C - 3°C). Dikotermaalne kiht tekib suvel ülemise kihi alumisse ossa, sest vee massi soojendatakse ülalt ja külm vesi jääb veel allapoole. Seda külma kihti kutsutakse ka "talve veeks".

Temperatuuri sesoonne areng Läänemeres on väga erinev ülemises ja alumises kihis. Tänu suurtele sesoonsetele energia bilanssi varieerumistele mere pinnakihis, pinnakihi vee temperatuur jõuab maksimumini suvel ja miinimumini talvel – ja talvel vähemalt osa merest jäätub. Hooajalised temperatuuri varieerumised alumistes kihtides on väikesed. Suurimad muutused on täheldatud lõuna poolsemas Läänemere osas, kus alumise kihi temperatuur sõltub suuresti adveksioonist Põhjamerest läbi Taani väinade. Kui vee massid liiguvad põhja poole vajuvad nad allapoole, kuna nende soolsus on suurem võrreldes ümbritseva veega. Sellepärast on sügavamad

veekihid võrdlemisi soojemad: tüüpiline Gotlandi basseinis on põhja temperatuur 4°C - 6°C, samas Soome lahes, Riia lahes ja Botnia lahes on 2°C - 4°C.

Kevadel, peale jää sulamist, õhuke ülemine kiht soojeneb tänu päikesekiirgusele. Pinnavesi jõuab ruttu maksimaalse tihedusega temperatuurini  $T_m$  (1.5°C - 3°C). Läänemere lõunapoolsemas osas võib talvine veepinna temperatuur jääda alla  $T_m$ . Kui temperatuur tõuseb üle  $T_m$ , siis pinnavesi muutub kergemaks, kui vee massid selle all. Seega konvektsioon peatub ja tekib termokliin, mis eraldab sooja pinna kihti ja märkimisväärselt külmemat vett all pool. Tuule – ja päikesekiirguse hulk, mis on neeldunud pindmisesse kihti mõjutab termokliini sügavust. Termokliini paksus on tavaliselt 5 – 10 meetrit ja selle kuju varieerub väga palju.

Suvel pinnakiht ja termokliin asuvad ülemise kihi peal. Pinnakiht ei ole alati homogeenne, aga võib omada sügavamate kihtide struktuuri, mis koosneb väiksematest termokliinidest. Hästi segunenud pinnakiht tihti defineeritakse nii, et vertikaalne temperatuuri muut ei ületa mõnda kindlaks määratud suurust, näiteks 0.1°C/m. Suvel asub hooajaline termokliin 15 – 30 meetri sügavusel kõikides Läänemere basseinides. Hooajalise termokliini teke algab lõuna poolsemast Läänemere osast mai alguses ja Botnia lahes kuu aega hiljem. Termokliini sügavamale liikumine tänu sügisesele temperatuuri langemisele algab põhja poolsemas Läänemere osas augusti lõpus ja lõuna poolsemas osas kuu aega hiljem. (Leppäranta & Myrberg, 2009)

Läänemeres, soolsus enamasti määrab vee masside kihistumise. Sissevoolavad vee massid sisenevad Läänemerele, liikudes kaugemale vajuvad põhja ja täidavad süvavee basseinid. Tulemuseks on see, et Läänemeres on püsivalt kahekihiline struktuur: ülemine kiht ja alumine kiht, mis on eraldatud halokliiniga. Halokliin asub tavaliselt 40-80 meetri sügavusel, aga madalamates Läänemere edela osas asuvatel vesikondadel on see isegi väiksem. Ülemine kiht on homohaliin, kui alumine kiht on püsivalt kihistunud. Halokliini sügavus muutub väga vähe aja jooksul, välja arvatud Taani väinades. Seal on soolsuse kihistumine erinev kui see on Gotlandil. See on

kiilu kujuline ja selle struktuur muutub seoses valitsevate tuulte tingimustes. Halokliini paksus on umbes 10-20 meetrit. Halokliinist all pool olevatel vee massidel ei otsest kokkupuudet tuule mõjudega ja konvektiivsed segunemist, mis piirdub homohaliini ülemistes kihtides.

Soolsuse kihistumisel on samuti aastaajalised muutused, aga need on palju väiksemad kui seda on temperatuuril. Soolsuse miinimum pinnakihtides on kevadel tänu mageda vee juurde voolule jõgedest. Soolsuse miinimum on tavaliselt 0.5 soolsuse ühikut (väljendatakse ühikutes kas ‰, PSU või g/kg; viimase ühiku kasutamine on soovituslik alates 2012.a.) -madalam kui talvine maksimum. Seal on ajavahe soolsuse minimaalse ja maksimaalse jõe äravoolu vahel. Stabiilse suvise kihistumisega, kuid nõrga vertikaalse segunemise tagajärjel on soolsuse maksimum alumistes kihtides. Sügisel ja talvel on segunemine tugevam ja soolsuse erinevus ülemiste kihtide ja alumiste kihtide on väiksem. Selline areng on omapärane ranniku lähedal, kus halokliini ei pruugi eksisteerida. (Leppäranta & Myrberg , 2009)

## 1.5. Uurimislaeva Salme FerryBox süsteemi kirjeldus

Uurimislaev Salme peal kasutatavasse FerryBox süsteemi tuleb vesi 2 meetri sügavuselt. Sellega mõõdetakse temperatuuri (kasutatakse 2 andurit, üks anduritest on vee sisenemise ava juures), soolsust, klorofüll *a* fluorestsentsi, hägusust ja hapniku sisaldust. Antud süsteem võimaldab veekeskonna parameetrite registreerimist mere pinnakihist kogu laeva liikumise ajal, andes informatsiooni keskkonnaparameetrite jaotuse kohta erinevate merealade pinnakihis. Kasutatakse SBE 38 Digital Thermometer, SBE 45 MicroTSG Thermosalinograph, mis on elektrijuhtivuse ja temperatuuri andur.

SBE 38'e ei avalda suurt mõju löögid ja vibratsioon, tänu sellele on anduril kõrge täpsus ja stabiilsus mõõtmistel, ning on kergesti kasutatav. Anduri mõõteraadius on -5 kuni +35°C. Absoluutne täpsus on parem kui 0.001° ja lahutusvõime on umbes 0.00025°C. Iga sensor omab sertifikaati, mis näitab et sensori kõrvalekalle on vähem kui 0.001°C kuue kuu jooksul (Lisa 1).

SBE 45 MicroTSG on välise toitega, kõrge täpsusega, elektrijuhtivuse ja temperatuuri andur, mis on disainitud laevapardal mere pinnakihi elektrijuhtivuse ja temperatuuri määramiseks. Temperatuuri mõõteulatus on -5°C kuni +35°C ja täpsus on 0.002°C, ning lahutusvõime on 0.0001°C. Antud anduril on kõrvalekalde suurus vähem kui 0.002°C aastas. Elektrijuhtivuse skaala on 0 kuni 7 S/m, mille täpsuseks on 0.0003 S/m, ning lahutusvõime on 0.00001 S/m ja kuine kõrvalekalle on 0.0003 S/m. Soolsuse andmete puhul on täpsuseks 0.005 PSU-d, kõrvalekalle on 0.003 PSU-d ja lahutusvõime on 0.0002 PSU-d (Lisa 2). Kasutaja saab valida kolme erineva režiimi vahel:

- **Küsitud mõõtmine** – Käsu peale teostab MicroTSG ühe mõõtetsükli ja saadab andmed arvutisse;

- **Autonoomne mõõtmine** – Enne programmeeritud intervallide tagant teostab MicroTSG mõõtettsükli ja saadab saadud andmed arvutisse. MicroTSG ei lähe "une" režiimi proovide vahel;
- **Jada mõõtmine** – Andurile saadetakse impulss kui on vaja proovid võtta, mille tulemusena läheb MicroTSG tööle, võtab proovid ja läheb tagasi "une" režiimi.

MicroTSG kasutab võimast Windows 2000/XP tarkvara Seasoft V2, mis sisaldab:

- **Seaterm** – terminaalsel programmi kergemaks suhtlemiseks ja andmete kättesaamiseks, samuti saab saata MicroTSG-le käsklusi, mis võimaldavad staatuse kuvamist ekraanile, andmete kogumise seadistust, andmete kuvamist ekraanile ja kogumist ja diagnostilist testi teha;
- **Seasave V7** – programm andmete kogumiseks, salvestamiseks ja esitamiseks nii reaalaajal kui ka juba kogutud andmete jaoks;
- **SBE Data Processing** – programm, mis arvutab ja kogub andmeid elektijuhtivuse, temperatuuri kohta ning andmeid, mis on lisa andurite muutujad nagu soolsus ja heli kiirus.

## **2. UURIMUSE METOODIKA JA EESMÄRK**

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida Eesti ranniku lähedastes vetes soolsuse muutlikust pinnakihis.

### **2.1. Uurimuse meetodika**

Antud uurimus põhineb andmetel, mis on kogutud ajavahemikul 20.11.2013 kuni 11.04.2014, kasutades uurimislaev Salme peal oleva FerryBox süsteemi. Antud süsteem teeb mõõtmisi kogu laeva liikumise ajal. Soolsuse gradiendi arvutamiseks valisin ajaintervalli neli minutit. Kui laeva liikumise kiirus on umbes 9 sõlme, siis läbib laev nelja minuti jooksul umbes ühe kilomeetri. FerryBox süsteemi andmed sain TTÜ Meresüsteemide Instituudist *Microsoft Excel*'i tabelitena.

TTÜ Meresüsteemide Instituudi poolt antud andmed koosnesid mõõdetud punktide koordinaatidest, tehtud mõõtmise kuupäev ja kellaaeg minuti täpsusega, ning FerryBox süsteemi poolt mõõdetud parameetritega (hapnik, klorofüll, soolsus, temperatuur, elektrijuhtivus ja hägusus).

### **2.2. Valimi valimise kirjeldus**

Antud uurimuse valimisse on võetud uurimislaev Salme peal oleva FerryBox süsteemi poolt tehtud mõõtmised ajavahemikul 20.11.2013 - 11.04.2014. Selle aja jooksul tehti mõõtmisi kuues reisis.

Antud valim võimaldas uurida andmeid erinevatel aastaagadel (sügis, talv ja kevad) ning vaadelda soolsuse frontide muutusi erinevatel aastaagadel. Andmete analüüsi tulemusena on võimalik näha frontide liikumisi antud perioodil.

Soome lahe uurimine pikki telge korduvatest uuringutest selgus, et ülekaalus on juhuslikud jaotunud mesomastaapsed soolsuse frondid (*upwelling* fronte ei arvestatud) ja poolpüsivad soolsuse frondid lahe läänepoolsemas osas. Keskmine soolsuse frontide erinevused olid vastavalt  $0.31 \pm 0.04$  ja  $0.53 \pm 0.12$ . Mõlema frondi ligikaudne laius oli 2 – 5 kilomeetrit. (Pavelson, 2005)

Vastavalt ülaltoodud soolsuse frontide keskmistele parameetritele on käesolevas töös valitud frondi esinemise kriteeriumiks, et nelja minutilise ehk ühe kilomeetrise pikkusel lõigul oli soolsuse muutus suurem kui 0.1 PSU-d.

### **2.3. Uurimuse protseduur**

Uurimuseks vajalike andmete saamiseks pöördusin TTÜ Meresüsteemide Instituudi poole. Sealt saadus andmed olid esitatud *Microsoft Excel*'i tabelitena, kus ma arvutasin kõigepealt välja soolsuse gradiendid, mille seast sorteerisin kasutades funktsiooni *Filter* välja kõik suurused, mis olid suuremad kui 0.1 PSU'd.

Välja sorteeritud punktid salvestasin ümber teksti failideks, mis võimaldasid antud punktid ja nende informatsiooni kasutada programmis *Ocean Data View*. Antud uurimuses oli vaja välja tuua kõik punktid, kus soolsuse muutused olid suuremad kui 0.1 PSU'd, avasin kõigepealt need punktid, mis vastasid antud kriteeriumile. Seejärel eksportisin antud jaamade punktid eraldi failina välja. Antud uurimuses oli vaja näidata antud punkte kõikide punktidega koos, siis avades kõik punktid programmis *Ocean Data View* lisasin kõigile mõõdetud punktidele ka need punktid, mille puhul soolsuse gradient on suurem kui 0.1 PSU'd. Selleks tuli kasutada käsklust *Add Graphics Objects from File*.



## **2.4. Andmete analüüs**

Andmete analüüsimiseks kasutasin *Microsoft Excel* it ja *Ocean Data View*'d. Andmed on esitatud joonistena ja tabelitena.

### 3. UURIMUSTULEMUSTE ANALÜÜS

#### 3.1. Üldandmete analüüs

##### 3.1.1. Soolsuse kõikumise aastaajaline analüüs

Ajavahemikul 20.11.2013 – 11.04.2014 teostatud mõõtmistulemused näitavad kolme aastaaja soolsuse muutusi. Selle aja jooksul teostati mõõtmisi kuuel korral.

Antud perioodi soolsuse maksimumid, miinimumid ja keskmised on esitatud allolevas tabelis.

Tabel 1. Soolsuse maksimum, miinimum ja keskmine

	Soolsus	Soolsuse gradient
MAX	6,86	0,27
MIN	3,32	0,00
Keskmine	5,80	0,10

Tabelis 1 ilmneb soolsuse maksimum on 6.86 PSU'd. Minimaalne väärtus, mis on 3.32 PSU'd võib mõõdetud olla Narva jõe suudme lähedal.

Soolsuse maksimumid erinevates reisisid jäid 6.11 PSU ja 6.86 PSU vahele. Miinimumid jäid 3.32 PSU ja 5.49 PSU vahele. Kõige suurem soolsuse kõikumine oli talvel, kus maksimaalne soolsus on 6.86 PSU'd ja minimaalne 3.32 PSU'd. Talvine maksimum, miinimum ja keskmine on näidatud alljärgnevas tabelis.

Tabel 2. Talvine maksimum, miinimum ja keskmine.

TALV	Soolsus	Soolsuse gradient
MAX	6,86	0,14
MIN	3,32	0,00
Keskmine	5,98	0,07

Nagu tabelist ilmneb, et kõige väiksemad gradiendid olid talvel. Selle põhjuseks on merevee ühtlasem temperatuur ja seega soolsuse segunemine on intensiivsem.

Antud perioodil oli kõige väiksem kõikumine sügisel, kus maksimum oli 6.24 PSU'd ja miinimum 5.49 PSU'd. Sügisene soolsuse maksimum, miinimum ja keskmine on avaldatud all olevas tabelis.

Tabel 3. Sügisene maksimum, miinimum ja keskmine.

SÜGIS	Soolsus	Soolsuse gradient
MAX	6,24	0,18
MIN	5,50	0,00
Keskmine	5,91	0,09

Sügiseseid gradiendid kõiguvad suhteliselt palju, kuna sügisene mõõtmine toimus novembris, siis merevesi oli juba jahtunud suuremas osas. Esines ka piirkondi, kus vesi oli veel päris soe. See tõi endaga kaasa ka soolsuse ebaühtlasema jaotuse.

Kevadise perioodi maksimaalne soolsus on 6.12 PSU'd ja minimaalne soolsus antud perioodil 4.93 PSU'd. Andmed antud perioodi kohta on toodud all olevas tabelis.

Tabel 4. Kevadine maksimum, miinimum ja keskmine.

KEVAD	Soolsus	Soolsuse gradient
MAX	6,12	0,27
MIN	4,93	0,00
Keskmine	5,51	0,13

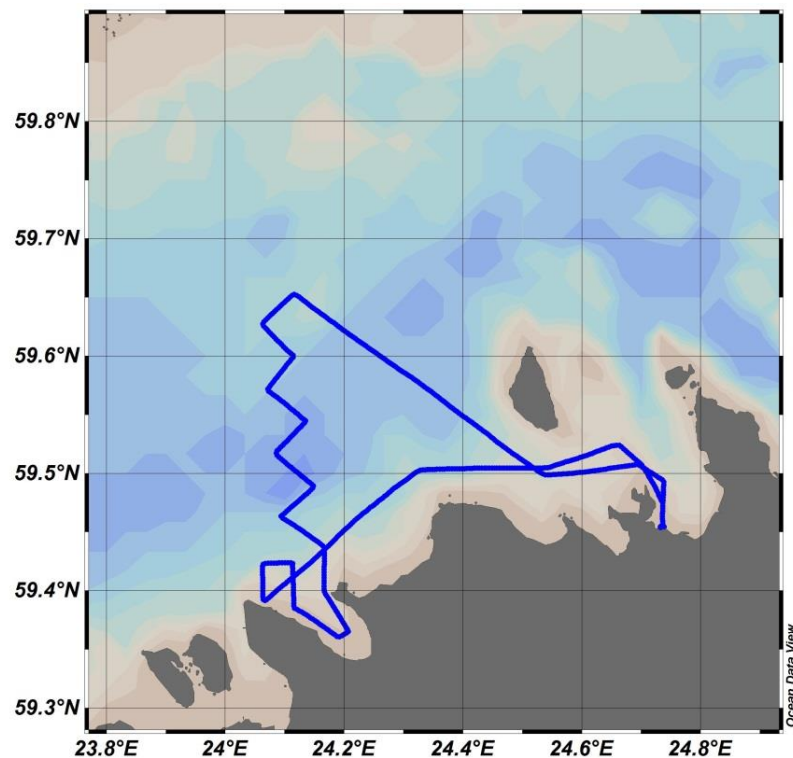
Kevadised soolsuse gradientide puhul on märgata, et tegemist on kõige suurema kõikumisega. Selle tulemuse põhjuseks võib-olla magevee suur juurdevool merevette, mille tagajärjel soolsus merevee pindmises kihis langes. Vastavalt sellele võis mere ülemises kihis tekkida soolsuslik vertikaalne kihistatus, mis omakorda suurendas frontide tekkimise tõenäosust.

### 3.2. Mõõtmistulemuste analüüs

Uurimusse on valitud kuus erinevat seirereisil teostatud mõõtmistulemused Soome lahe lõunapoolses osas. Valitud mõõtmised toimusid perioodil 20.11.2013 kuni 11.04.2014. Kuna kõik mõõtmistulemused ei ole mõõdetud samal marsruudil, uurisin igit marsruuti eraldi.

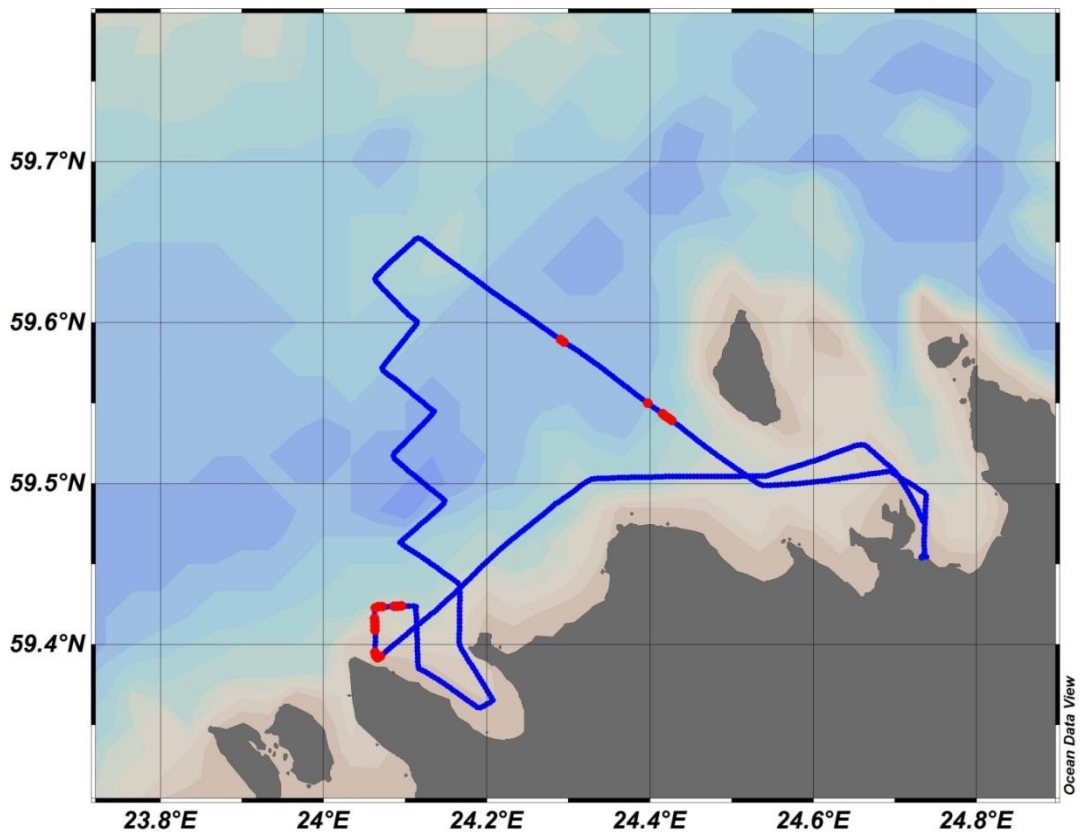
#### 3.2.1. Sügisene mõõtmine

Uurimustulemused soolsuse muutused sügisel perioodil 20.11.2013 teostatud mõõtmiste põhjal. Joonisel on esitatud 20.11. 2013 teostatud mõõtmiste marsruut.



Joonis 1. Sügisene marsruut.

Joonisel 1 on näha, et mõõtmised toimusid ranniku lähedasel alal, kus soolsust mõjutavad väga palju erinevaid faktoreid. Esiteks on merre suubuvad jõed, mis toovad kaasa palju magedat vett. Teiseks oluliseks faktoriks võib olla *upwelling*, mis põhjustab pinnakihi soolsuse suurenemist.

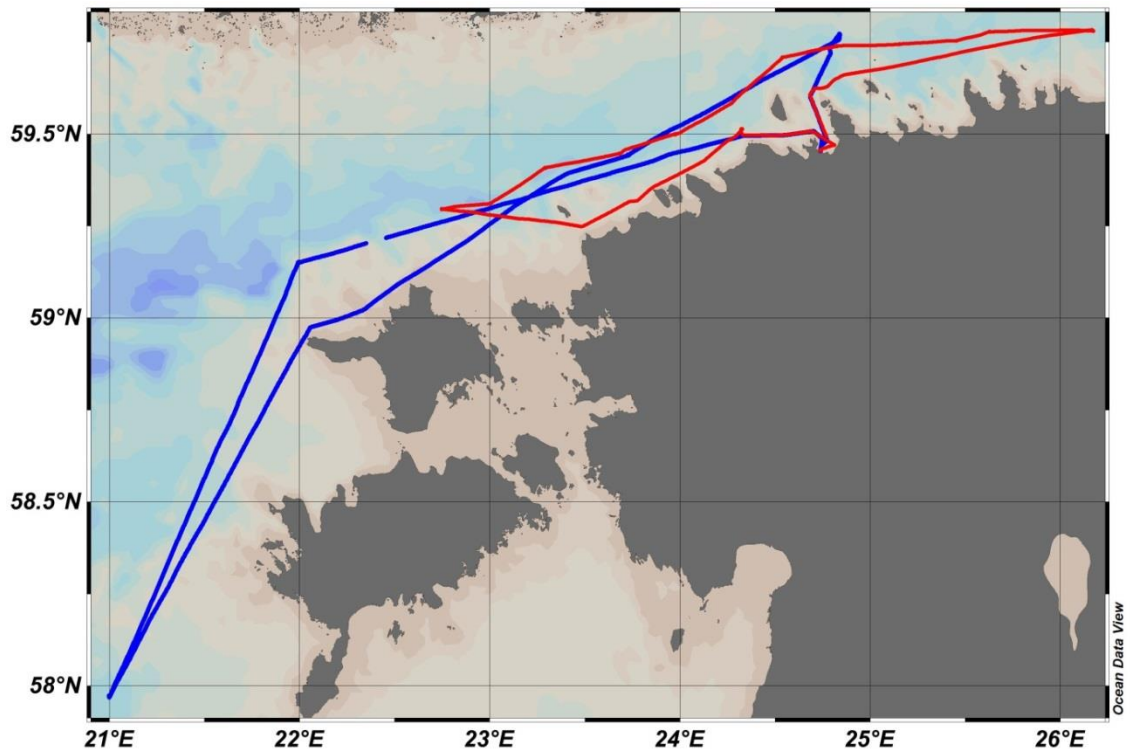


Joonis 2. 21.11.2013 soolsuse muutused.

Antud kuupäeval väga suuri soolsuse muutusi mõõdetud marsruudil ei ole. Väikeseid soolsuse muutusi on näha Naissaare läheduses ja Pakri poolsaare tipust ida poole asuvas Lahepere lahe suudmes. Soome lahe avaosas muutusi ei ole märgata.

### 3.2.2. Talvised mõõtmised

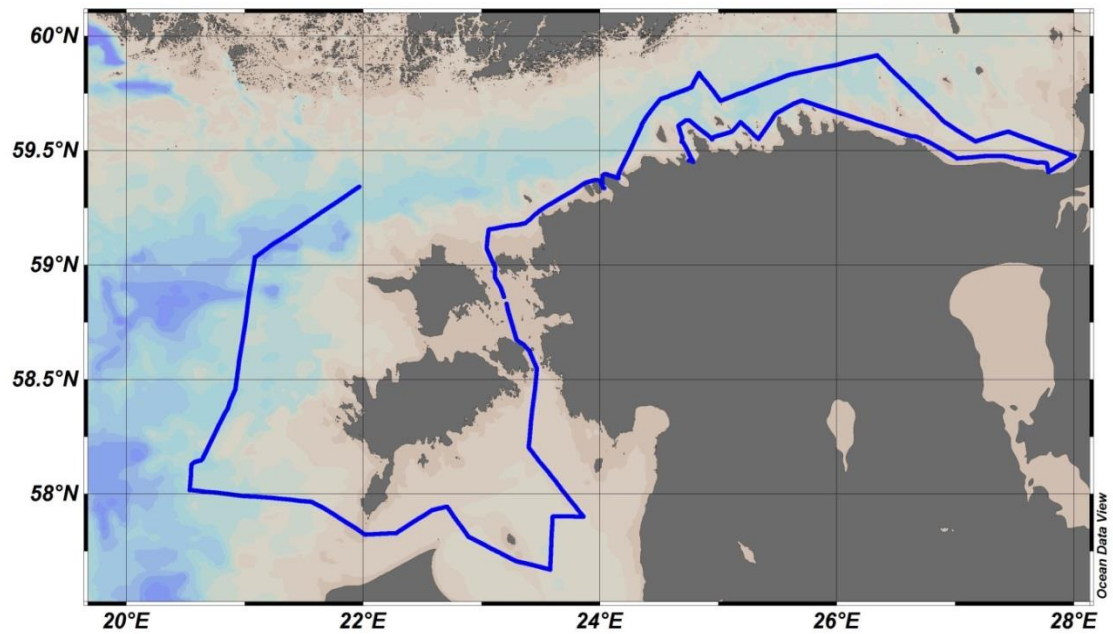
Talvised mõõtmised teostati ajavahemikul 08.01.- 07.02. 2014. Selle perioodi jooksul käis U/L Salme mõõtmisi tegemas neljal korral. Talvised mõõtmised on kajastatud joonistel 3 ja 4.



Joonis 3. Talvised mõõtmised

Joonisel on märgitud kahe talvise mõõtmise marsruudid:

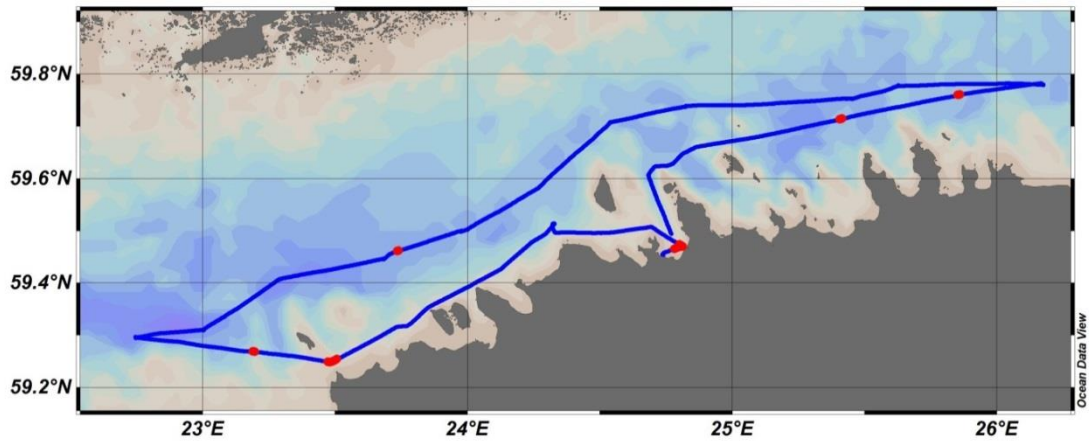
- Sinise joonega on märgitud 05.02. – 07.02. 2014 teostatud mõõtmised;
- Punase joonega on märgitud 08.01. – 10.01. 2014 teostatud mõõtmised.



Joonis 4. Talvised mõõtmised

Joonisel 4 on märgitud 14.02.2014 – 18.02.2014 teostatud mõõtmiste marsruut

Järgnevalt uurin kõiki eelpool nimetatud marsruute eraldi, kus määrän soolsuse muutuste piirkonna ja nende ulatuse. Alustan kõige varasemast ja lõpetan hilisemaga.



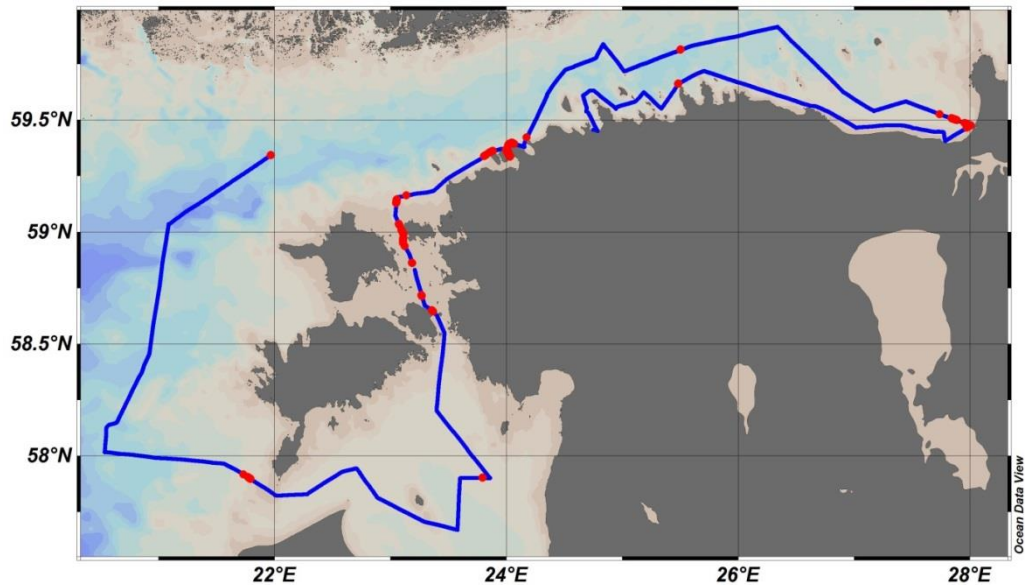
Joonis 5. 8 kuni 10 jaanuarini teostatud mõõtmised

Joonisel 5 on mõõtmiste marsruut ja soolsuse muutuste piirkonnad 08.01. – 10.01. 2014 teostatud mõõtmised. Uurimustulemustest selgus, soolsuse muutused on suhteliselt suured Tallinna lahes.

Suurem muutus on tähendatav ka Osmussaare ja Eesti mandri vahel olevas merealas. Samuti on järsud muutused (soolsuse frondid) näha ka Soome lahe keskosas.

Üldiselt oli antud perioodil soolsus enamvähem ühtlane ja ka muutused ei olnud väga suured.





Joonis 6. 14.01.- 18.01. 2014 teostatud mõõtmised

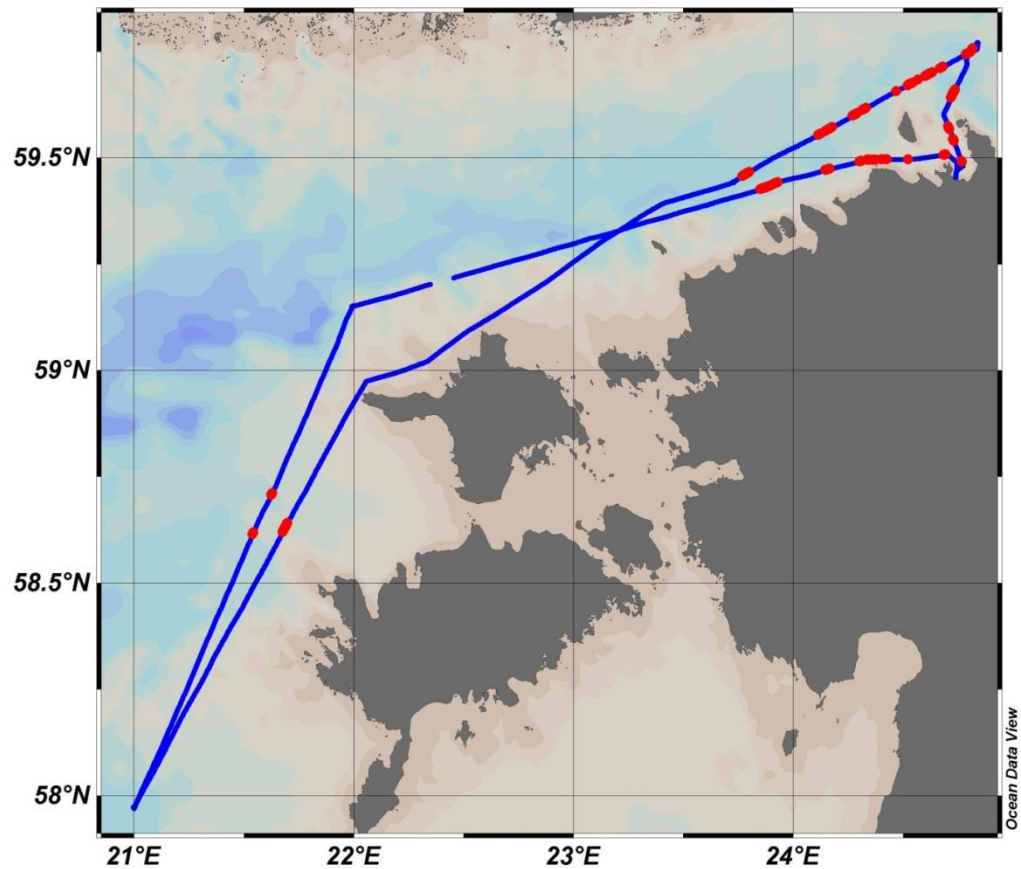
Joonisel 6 on kujutatud 14.01. – 18.01. 2014 teostatud mõõtmiste marsruuti ja soolsuse muutuste piirkondi. Eelpool toodud jooniselt on näha, et kõige suuremad muutused soolsuses toimusid Narva lahe piirkonnas, Pakri poolsaare ja Pakri saarte juures, Hiiumaa ja Vormsi vahele jäävas Hari kurgus ja Kura kurgus.

Narva lahes on soolsuse muutuse põhjuseks see, et Narva jõgi toob suures koguses magevett Narva lahte. Uurimus näitab, et lahe suudmes eksisteerivad soolsuse frondid magedama vee ja merevee vahel.

Pakri piirkonnas on küllaltki suur soolsuse muutuse piirkond.

Kolmas suurem soolsuse kõikumise piirkond on Hari kurgus. Antud perioodi kõige suuremad soolsuse muutuste piirkonnad on Hari kurk ja Pakri piirkond.

Väiksemad muutused on märgatavad ka Suure väina ja Kura kurgu piirkonnas. Samuti on näha väikseid muutusi Soome lahe suudme alal, Liivi lahes ja Juminda poolsaarest põhja poole jääval merealal.



Joonis 8. 05.02. – 07.02. 2014 teostatud mõõtmised

Uuritava marsruudi mõõtmised teostati perioodil 05.02. – 07.02. 2014. Selle käigus tehti mõõtmisi Tallinna lahest kuni Läänemere avaosani välja. Suuremad muutused on märgatavad Eesti põhjaranniku lähedal. Peamised soolsuse muutused on Tallinna lahe piirkonnas ja Naissaare ümbruses. Väiksemad muutused on ka Läänemere avaosas.

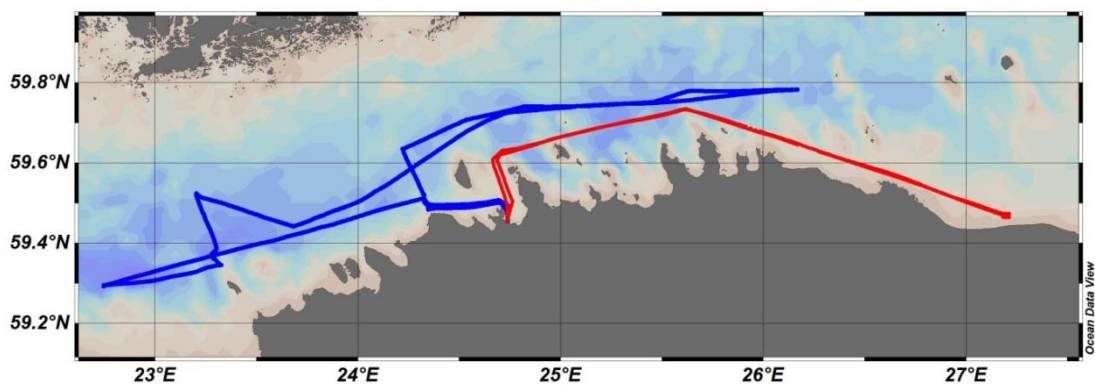
Tallinna lahes soolsuse muutused on väga erinevad, siis ka ulatus kõigub väga palju. Joonisel on näha, et ühtlast soolsuse muutust ei ole antud piirkonnas.

Uuritava perioodi ajal olid kõige suuremad soolsuse muutuse piirkonnad Naissaarest lõuna ja põhja poole jäävatel aladel. Väiksemad muutused on Naissaarest lääne pool.

Läänemere avaosas on märgata väiksemaid muutusi. Sealse väheste muutuste põhjuseks võib olla ühtlaselt läbi segunenud merevesi. Samuti ei ulatu nii kaugele jõgedest voolanud magevee mõju.

### 3.2.3. Kevadised mõõtmised

Kevadised mõõtmised teostati kahel korral ajavahemikul 03.04. – 11.04. 2014. Mõlemal korral tehti mõõtmisi Soome lahe lõunapoolsemas osas Eesti ranniku lähedal. Joonisel on välja toodud mõlema mõõtmise marsruudid.

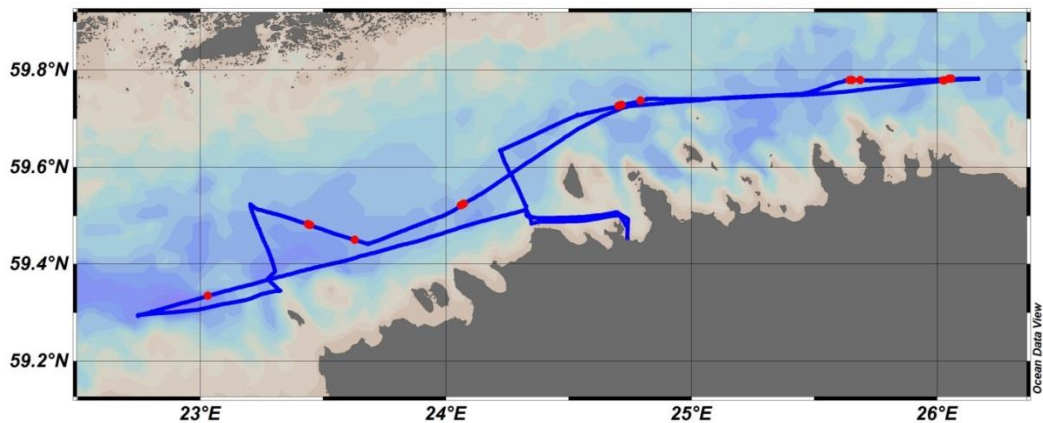


Joonis 9. Kevadiste mõõtmiste marsruudid

Joonisel 9 on märgitud kevadiste mõõtmiste marsruudid:

- Sinise joonega on märgitud 03.04. - 04.04. 2014 teostatud mõõtmiste marsruut;
- Punase joonega on märgitud 10.04. – 11.04. 2014 teostatud mõõtmiste marsruut.

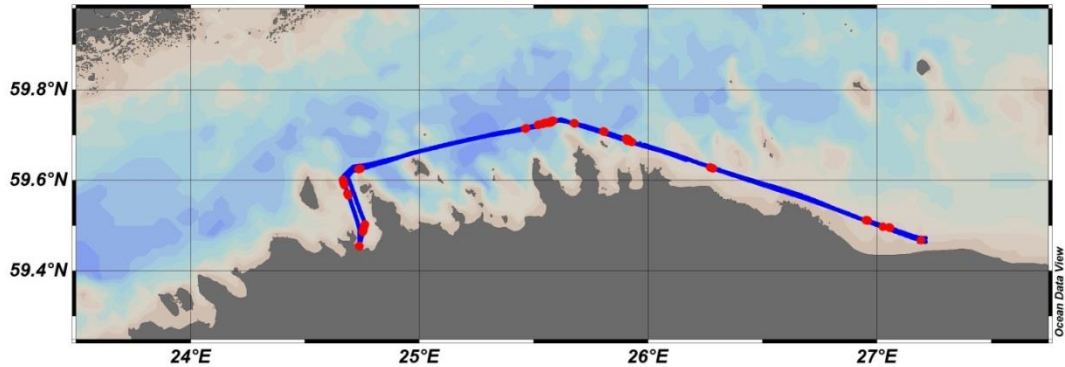
Uurimuses on analüüsitud kahte marsruuti eraldi, kus on välja toodud muutuste piirkonnad ja nende ulatused.



Joonis 10. 03.04. – 04.04. 2014 teostatud mõõtmised

Uuritavas piirkonnas teostati mõõtmisi 03.04. – 04.04. 2014. Antud piirkond on suuremalt osalt keskendunud Soome lahe keskosale. Enamus mõõtmised on teostatud selles Soome lahe osas. Mõõtmiste tulemused näitavad, et soolsuse muutuse piirkondi on väiksem, kuna Soome lahe keskosas on soolsus ühtlasemalt jaotunud pinnakihis.

Antud piirkonnas on näha päris mitmeid väikseid piirkondi, kus pinnakihi soolsuses on toimunud muutusi. Neist suuremad paiknevad Tallinnast ida poole jäänud mõõtmistel ja väiksemad lääne poole jäänud mõõtmistel.



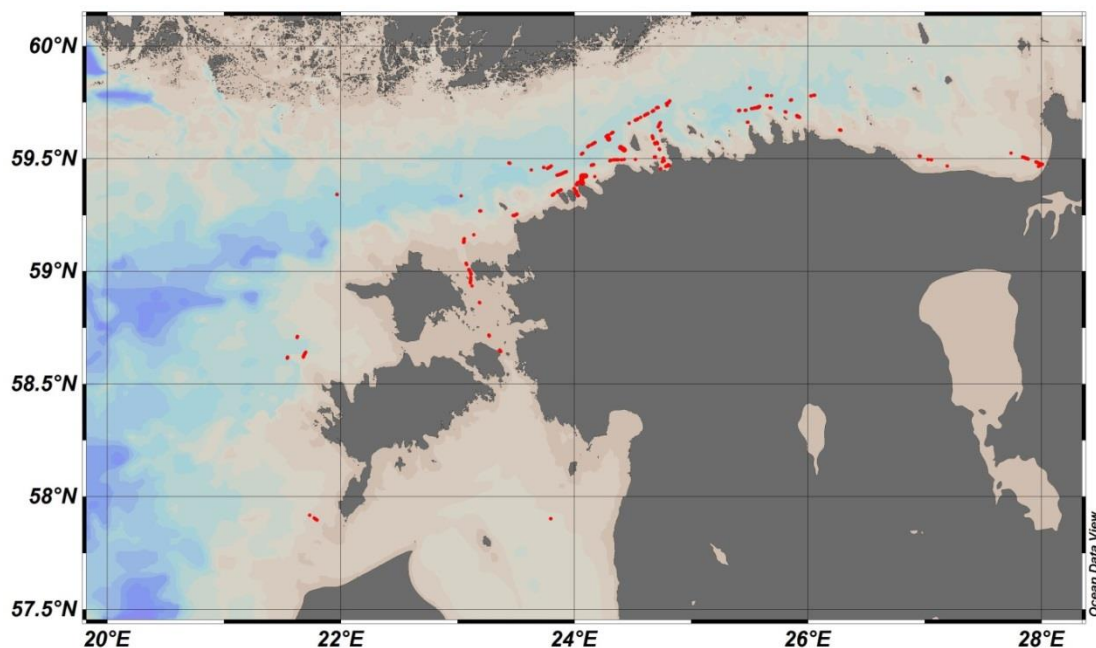
Joonis 11. 10.04. – 11.04. 2014 teostatud mõõtmised

Joonisel 11 on välja toodud 10.04. – 11.04. 2014 teostatud mõõtmised. Antud mõõtmised on teostatud peamiselt Eesti põhjaranniku ida poolsemal merealal. Suurem osa mõõtmisi on teostatud rannikulähedastes vetes, kus soolsus on ebahütlaselt segunenud, mida on näha ka joonisel. Suuremad pinnakihi soolsuse muutused on Tallinna lahes, Juminda ja Pärисpea poolsaartest põhja poole jäävas piirkonnas ja Vergi poolsaarest idapoole jäävas meres.

Juminda ja Pärисpea poolsaarte juures on antud marsruudi kõige ulatuslikum soolsuse muutus pinnakihis. Kuna antud muutus asub Soome lahe avaosas, kus segunevad avaosa soolasem vesi Eesti rannikult tulev magedama veega, siis ka kõikumine ja muutused on suuremad antud piirkonnas.

Suurem soolsuse muutus pinnakihis on ka Vergi poolsaarest idapoole jääval merealal. Antud perioodil oli väga palju väiksemaid pinnakihi soolsuse muutuste piirkondi.

## Soolsuse järskude muutuste (frontide) piirkonnad



Joonis 12. Soolsuse muutuste (frontide) piirkonnad

Joonisel 12 on kujutatud kõikide teostatud mõõtmiste piirkonnad, kus oli soolsuse muutus ühe kilomeetri kohta suurem kui 0.1 PSU-d. Rannikulähedastel aladel on muutuseid rohkem kui Läänemere avaosas. Suuremad muutuste piirkonnad on Pakri lähedal, Naissaare ümbruses, Tallinna lahes. Järskude muutustega piirkonnad on märgatavad ka Hari kurgus, Juminda poolsaare lähedal ja Narva lahes. Soome lahe avaosas on näha ka laiemat ala järskude soolsuse muutustega. Need tulemused on saadud ühest talvisest reisist ja selle põhjused on vaja veel selgitada.

## Kokkuvõte

Maailmas muutub järjest populaarsemaks *FerryBox* süsteemi kasutamine mereuuringute tegemiseks. Euroopas on võimalik kasutada praegusel hetkel enam kui 800 laeva, mis teostaksid *FerryBox* süsteemi abil mõõtmisi. Eestis on *FerryBox* süsteem kasutusel juba 1997. aastast ning praegusel hetkel on antud süsteem parvlaeval Silja Europa.

Kuni selle aasta sügiseni oli *FerryBox* süsteem Eestis ainult Tallinn-Helsingi ja Tallinn-Stockholmi vahelistel liinidel. Sügisest on süsteem paigaldatud ka U/L Salme pardale, millega teostatakse mereseiret Eesti merealal.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli välja selgitada soolsuse muutuse piirkonnad Eesti merealal pinnakihis, saadud tulemuste analüüs ja tulemuste välja toomine joonistena.

Analüüsides TTÜ Meresüsteemide Instituudi poolt saadetud andmeid, esitasin soolsuse muutuse piirkonnad kaardil ja tegin järeldused. Mõõdetud soolsustest valisin välja kõik muutused, mis olid suuremad kui 0.1 PSU-d ühe kilomeetri kohta. Uuritaval perioodil 20.11.2013 – 11.04.2014 teostati mõõtmisi kuuel korral. Neist üks sügisel, kolm talvel ja kaks kevadel. Kõik mõõtmised ei ole teostatud samal marsruudil, aga katavad suuremas osas Eesti merealast.

Tuginedes uurimusele teen järeldused:

- Kõige suurem vahe soolsuse miinimumi ja maksimumi vahel registreeriti talvel;
- Kõige väiksem soolsuse kõikumine oli sügisel;
- Soolsuse maksimumid jäid antud perioodil 6.12 PSU-d (kevadel) ja 6.86 PSU-d (talvel) vahele. Miinimumid jäid 3.32 PSU-d (talvel) ja 4.93 PSU-d (kevadel) vahele;



- Soolsuse muutused on aastaajati erinevad;
- Soolsuse muutust mõjutavad suubuvatest jõgedest merre voolava mageda vee hulk.

Uurimusest järeldus, et suurem osa soolsuse järskudest muutustest asuvad Soome lahe rannikumeres Pakri poolsaare lähedal, Naissaare ümbruses ja Soome lahe keskosas. Selgelt eristuvad soolsuse frondid on märgatavad Hari kurgus, Juminda poolsaare juures ja Narva lahes..

Käesoleva bakalaureusetöö käigus on määratud soolsuse muutuste paiknemine Eesti mereala pinnakihis ning analüüsitud nende paiknemise põhjuseid ja tulemusi.

## **Abstract**

The Baltic Sea is one of the most unique semi-enclosed seas. The principal factors that affect salinity of the Baltic Sea include inflow of saltier oceanic water from the Atlantic through the Danish Straits as well as inflow of fresh water from rivers. Those inflows result in considerable differences in salinity of the Western and Eastern parts of the Baltic Sea, amounting to 10 PSU in the vicinity Southern Baltic and to 1-2 PSU in the Northern and Eastern parts of the Baltic Sea.

FerryBox systems have been used since the 1930s. The Norwegians used the system on the ferry Hurtigruten that travelled along the Norwegian coastline from Bergen to Kirkenes, gathering data related to salinity and temperature. The first such measurements were performed in the Baltic Sea by the Finnish Institute of Marine Research within the framework of the Alg@line project. Relevant measurement in waters between Tallinn and Helsinki is currently performed by ferry Silja Europa.

The Bachelor's thesis investigates the variability of salinity in the surface layer of Estonia's marine area mostly in the Gulf of Finland. For the purposes of collecting data, the FerryBox system onboard R/V Salme was used that collects data during the entire route covered. This enables data to be collected from a larger area and not only from particular measuring points.

Data from the period 20.11.2013 – 11.04.2014 was used for the present analysis. Salinity gradients were calculated over each 4 minutes, i.e. approximately over one kilometer. From the gained results, all gradients above 0.1 PSU were selected. The selected points were processed into pictures by using the Ocean Data View program.

The results are presented as pictures, indicating the route of the performed measurement as well as areas where salinity variation rendered above 0.1 PSU per kilometer. Using the gained pictures, the largest areas of salinity variability in the surface layers of Estonia's marine area were determined – the fronts exist in the

coastal areas and bays. Some regions where fronts exist for several cruises were also Narva Bay (close to Narva River mouth), northward from the Juminda peninsula in the gulf of Finland and in the Hari Strait (moonsund area).

## Kasutatud kirjandus

Eesti Entsüklopeedia. Läänemere hüdroloogiline iseloomustus [WWW]

[http://entsyklopeedia.ee/artikkel/1%C3%A4%C3%A4nemere\\_h%C3%BCdroloogiline\\_iseloomustus](http://entsyklopeedia.ee/artikkel/1%C3%A4%C3%A4nemere_h%C3%BCdroloogiline_iseloomustus)

Høyer, J.L., She, J., (2007). Optimal interpolation of sea surface temperature for the North Sea and Baltic Sea – Journal of Marine Systems, 65, 176 – 189.

Leppäranta, M., Myrberg, K. (2009). Physical Oceanography of the Baltic Sea. Germany. Praxis Publishing Ltd, Springer.

Lips, I., Lips, U., (2013). BalticSeaNow.info Marine Research Mereteadus. Eesti. Tallinna Raamatutrükikoja OÜ.

Pavelson, J. (2005). Mesoscale Physical Processes and the Related Impact on the Summer Nutrient Fields and Phytoplankton Blooms in the Western Gulf of Finland. Tallinn.

Petersen, W., Colijn, F., Hydes, D. and Schroeder, F. (2007) *FerryBox: from on-line oceanographic observations to environmental information. EU Project FerryBox 2002–2005*. Amsterdam, The Netherlands, EuroGOOS, 36pp. (EuroGOOS Publication, 25).

SBE 38 Digital Thermometer User Manual, Version 014. Sea-Bird Electronics, Inc.

SBE 45 MicroTSG Thermosalinograph User Manual, Version 017. Sea-Bird Electronics, Inc.

Simpson, J.H., Sharples, J. (2012). Introduction to the Physical and Biological Oceanography of Shelf Seas. Cambridge University Press

# LISAD

## Lisa 1. SBE 38 Digitaal termomeetri täpsed andmed

<b>Measurement Range</b>	-5 to +35 °C	
<b>Initial Accuracy <sup>1</sup></b>	± 0.001 °C (1 mK)	
<b>Typical Stability</b>	0.001 °C (1 mK) in 6 months, certified	
<b>Resolution</b>	0.00025 °C (0.25 mK)	
<b>Calibration</b>	-1 to +32 °C	
<b>Response Time <sup>2</sup></b>	500 milliseconds	
<b>Self-Heating Error</b>	less than 200 µK	
<b>RMS Noise</b> (at temperature equivalent of 8.5 °C)	<b>NAvg</b>	<b>Noise (°C)</b>
	1	0.000673
	2	0.000408
	4	0.000191
	8	0.000133
	16	0.000081
	32	0.000052
	<i>Note:</i> <b>NAvg</b> = number of A/D cycles per sample. Interval between samples (seconds) = (0.133 * <b>NAvg</b> ) + 0.339	
<b>External Power</b>	<i>RS-232 (standard):</i> 8 – 15 VDC at 15 milliamps average <i>RS-485 half-duplex (optional):</i> 8 – 15 VDC at 10 milliamps average	
<b>Materials</b>	Titanium pressure case rated at 10,500 meters (34,400 feet)	
<b>Weight</b>	In water: 0.5 kg (1.2 lbs) In air: 0.9 kg (2.0 lbs)	

## Lisa 2. SBE 45 MicroTSG Termosalinograafi täpsed andmed

	Temperature (°C) <sup>1</sup>	Conductivity (S/m)	Salinity (PSU), typical
Measurement Range	-5 to +35	0 to 7 (0 to 70 mS/cm)	-
Initial Accuracy	0.002	0.0003 (0.003 mS/cm)	0.005
Typical Stability (per month)	0.0002	0.0003 (0.003 mS/cm)	0.003
Resolution <sup>2</sup>	0.0001	0.00001 (0.0001 mS/cm)	0.0002
Sensor Calibration Range	+1 to +32	0 to 6; physical calibration over the range 2.6 to 6 S/m, plus zero conductivity (air)	-
Counter Time-Base	Quartz TCXO, ±2 ppm per year aging; ±5 ppm vs. temperature (-5 to +30 °C)		
Input Power	8 - 30 VDC Quiescent (sleep) Current: 10 microamps Operating Current: 34 milliamps at 8 VDC 30 milliamps at 12-30 VDC		
Materials	PVC housing		
Recommended Flow Rate	10 to 30 milliliters/second (0.16 to 0.48 gallons/minute)		
Maximum Safe Operating Pressure	34.5 decibars (50 psi)		
Weight	4.6 kg (10.2 lbs)		