

Tallinna Tehnikaülikool



Merevee hägususe mõõtmine

Lõpparuanne

Riigihange nr 244026

TALLINN
2022

SISUKORD

1.	SISSEJUHATUS	3
2.	APARATUUR JA MÕÕTMISTE LÄBIVIIMINE	4
3.	MÕÕTMISTULEMUSTE LÜHIKIRJELDUS	7
4.	EDASTATAVAD ANDMED	10
5.	KOKKUVÕTE	11

1. SISSEJUHATUS

Parvlaeva „Estonia“ vraki uuringute laiemaks eesmärgiks on varasemalt teadmata olnud vigastuste tekkepõhjuste selgitamine. Selleks vajalike teoreetiliste arvutuste teostamiseks ja modelleerimiseks on plaanis koostada laeva 3D mudel. Praeguses uuringute etapis teostatavate mereliste põhiuuringute edukaks läbiviimiseks on vajalik omada infot merevee keskkonnaparameetrite ja dünaamika kohta. Üheks oluliseks võimalikuks takistuseks uuringutel on merevee liigne hägusus ehk halb veealune nähtavus.

Käesoleva uuringu eesmärgiks oli enne mereliste põhiuuringute algust ja nende ajal koguda infot merevee hägususe ja muude keskkonnaparameetrite kohta. Töö tellijaks oli OhutusjuurdLuse Keskus (edaspidi Tellija või OJK). Detailsemalt olid lähteülesanded järgmised:

- 1) Mõõdistada merevee hägusust veepinnast kuni minimaalselt nelja meetri kauguseni merepõhjast, arvestades seadme ümberpööramiseks vajalikku ruumi. Tervikliku pildi saamiseks vee hägususest, peab mõõdistus toimuma sagedusel 0,5 Hz, st minimaalselt üks kord kahe sekundi jooksul. Sukeldumiste arv peab olema minimaalselt kaks sukeldumist ühe tunni jooksul;
- 2) Mõõdistada merevee hapnikusisaldus, temperatuur ja soolsus veepinnast kuni minimaalselt nelja meetri kauguseni merepõhjast, minimaalse intervalliga 1 tund;
- 3) Töödelda, analüüsida, tõlgendada ja visualiseerida kogutud andmed.

Mõõdistus viidi läbi 13. aprillist kuni 1. juunini 2022. a, mis hõlmas ka esialgset laserskaneerimise uuringu perioodi (23. mai- 27. mai 2022). Allveeliugurilt satelliitside kaudu saadud andmed edastati Tellijale jooksvalt, esimesel perioodil kord nädalas ja vahetult enne laserskaneerimist ning selle ajal kord kahe päeva jooksul. Kõik mõõdetud andmed salvestati glideri mälukaardile ja loeti maha patareide vahetuse operatsiooni käigus ning glideri veest välja võtmise järel. Käesolev aruanne annab lühiülevaate tehtud mõõtmistest, tulemustest ja Tellijale esitatud andmetest. Aruandele on lisatud kõik algandmed (mis on läbinud kvaliteedikontrolli) ja töödeldud andmed, mis on interpoleeritud sügavusprofiilideks sammuga 0,5 dbar (ehk ligikaudu 0,5 m).

Töö on teostatud vastavalt OhutusjuurdLuse Keskusega sõlmitud hankelepingule (riigihanke viitenumber 244026) 6. jaanuarist 2022. Mõõtmiste läbiviimisel, andmete analüüsimisel ja aruande koostamisel osalesid Tallinna tehnikaülikooli meresüsteemide instituudi eksperdid Kai Salm, Taavi Liblik, Villu Kikas, Fred Buschmann ja Urmas Lips.

2. APARATUUR JA MÕÕTMISTE LÄBIVIIMINE

Mõõtmiste platvormina rakendati Tallinna tehnikaülikoolis kasutusel olevat Teledyne Webb Research allveeliuguri Slocum G2 madala vee mudelit (glider „mia“; joonis 2.1), mille maksimaalne mõõdistussügavus on 200 m. Glider on autonoomne seade, mis on võimeline liikuma etteantud trajektooriga registreerides merevee temperatuuri, soolsuse, hägususe, hapniku sisalduse ja klorofüll-a fluorestsentsi profiile. Nimetatud parameetrite mõõtmisageduseks on 0,5 Hz (ehk üks näit kahe sekundi jooksul). Käesoleva missiooni parameetritena anti ette glideri profileerimise asukoht koordinaatidega 59° 22,7655' N, 021° 40,7054' E ja tingimused glideri pöördumiseks, et glider ei väljuks antud punktist kaugemale kui 300 m. Kuna oma asukoha kontrollimiseks peab glider tõusma mere pinnale, siis programmeeriti üheks mõõtmistsükliks kolm sukeldumist, misjärel glider tuli pinnale, edastas etteantud valiku andmetest ja fikseeris oma asukoha.

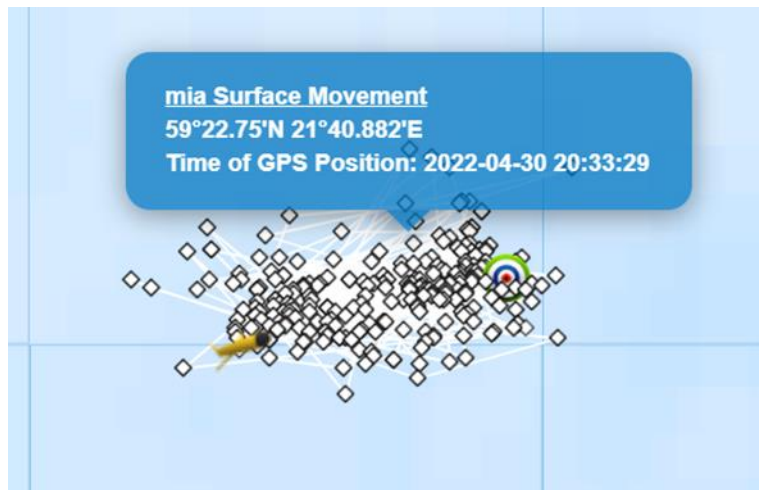
Käesoleva eksperimendi jaoks viidi glider mõõtmiste asukohta 13. aprillil 2022 kasutades Transpordiameti hüdrograafia-laeva „Jakob Prei“. Glideri patareide vahetuseks ja hoolduseks korraldati 6. mail 2022 reis mõõtmiste piirkonda Tallinna tehnikaülikooli uurimislavaga „Salme“. Glideri missiooni parameetrid jäeti samaks, nagu esmakordsel veeskamisel 13. aprillil 2022. Piirkonnas teostati täiendavalt kaks sondeerimist CTD sondidega OS320plus (tootja: Idronaut S.r.l) ja SBE19plus (tootja: Sea-Bird Scientific) glideri andurite töö kvaliteedi kontrolliks. Võeti veeproovid hõljuvaine ja hapniku sisalduse laboratoorseks määramiseks. Laserskaneerimise perioodiks nihutati glideri asukohta parvlaeva „Estonia“ vrakist lõunasse/edelasse mõõtmiste asukoha keskpunkti koordinaatidega 59° 22,5400' N, 021° 40,5000' E. Esialgne mõõtmispunkti asukoht taastati 28. mail 2022. Glideri veest välja võtmiseks peale mõõdistusperioodi lõppu 1. juunil 2022. a kasutati Tuukritööde OÜ alust „VKC-346“.



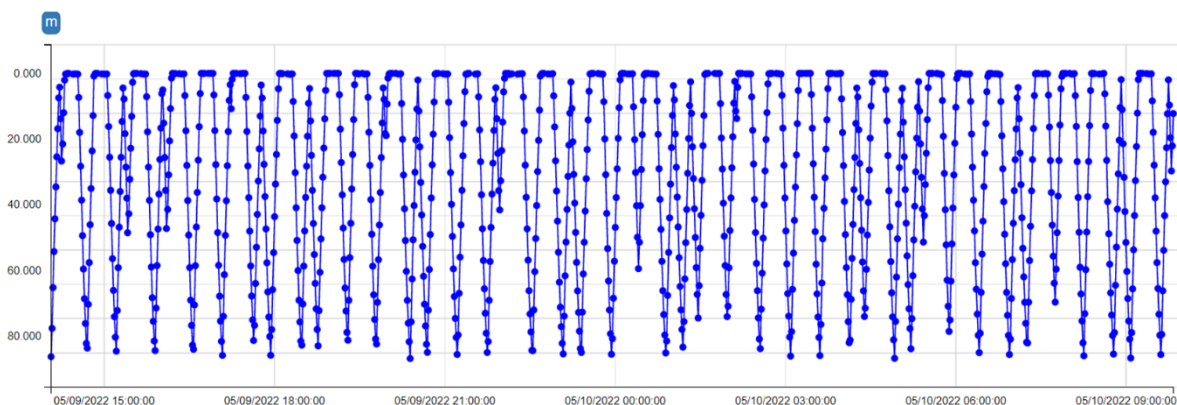
Joonis 2.1. Glider „mia“ enne mõõdistustsükli algust parvlaeva „Estonia“ vraki asukohas 13. aprillil 2022. a.

Glider teostas mõõtmisi parvlaeva „Estonia“ vraki piirkonnas etteantud asukohas eemaldumata sellest kaugemale kui 300 m (välja arvatud laserskaneerimise uuringu perioodil, mil glideri asukoht nihutati lõunasse/edelasse). Näitena on joonisel 2.2 toodud glideri pinnale tulemise asukohad ajavahemikus 27. aprillist 2022 kuni 5. maini 2022. Erandina triivis glider 6. mail 2022 mõõtmiste asukohast ca 1 km loodesse, kui gliderile anti käsk jääda pinnale, et ta hoolduseks ja patareide vahetuseks veest välja võtta.

Vertikaalseid profile registreeriti kuni sügavuseni 4 m mere põhjast, st maksimaalselt sügavuseni 88-90 m. Sukeldumiste tsüklitest annab pildi graafik joonisel 2.3, kus on toodud 9.-10. mail toimunud sukeldumiste trajektoorid. Mere põhjaga kokkupõrke vältimiseks mõõdab glider kaugust põhjani glideri ninaosas asuva altimeetri abil. Kuna piirkonna topograafia on suhteliselt muutlik ja glideri asukoha muutmisel laserskaneerimise perioodiks oli uues asukohas sügavus väiksem, registreeris glider profile sel perioodil maksimaalselt kuni sügavuseni 82 m.



Joonis 2.2. Glideri „mia“ pinnale tuleku asukohad „Estonia“ vraki piirkonnas. Näiteks on toodud ajavahemik 27. aprillist 2022 kuni 5. maini 2022.

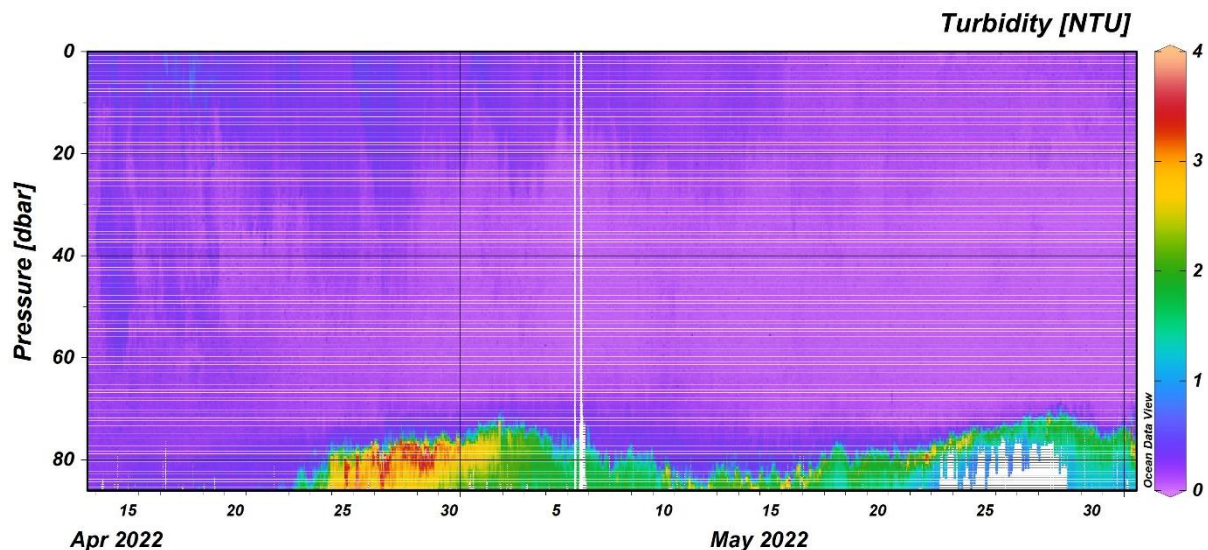


Joonis 2.3. Glideri „mia“ sukeldumiste trajektoorid „Estonia“ vraki piirkonnas – näidiseks on toodud sukeldumised 9.-10. mail 2022 (vertikaalteljel on sügavus meetrites ja horisontaalteljel aeg).

Andmevahetus glideriga mõõtmisperioodi jooksul nägi ette iga kümnennda mõõtmise edastamise Meresüsteemide instituudi serverisse. Arvestades mõõtmisagedusega 0,5 Hz ja glideri keskmise laskumise ja tõusmise kiirusega 10 cm/s oli sellega tagatud üks andmerida iga 2 m kohta igal profiilil. Satelliitside kaudu saadud andmed edastati Tellijale mõõtmiste esimesel perioodil kord nädalas ja vahetult enne laserskaneerimist ning selle ajal kord kahe päeva jooksul. Operatiivselt edastatud andmed sisaldasid temperatuuri, soolsuse, hägususe ja hapniku küllastusprotsendi vertikaalseid profiile sammuga 2 dbar (2 m). Glideri mälukaartile salvestatud algandmed ja kogu mõõtmisperioodi töödeldud andmed antakse üle koos käesoleva aruandega. Andmefailide struktuurid on kirjeldatud ülejäärmises alapeatükis.

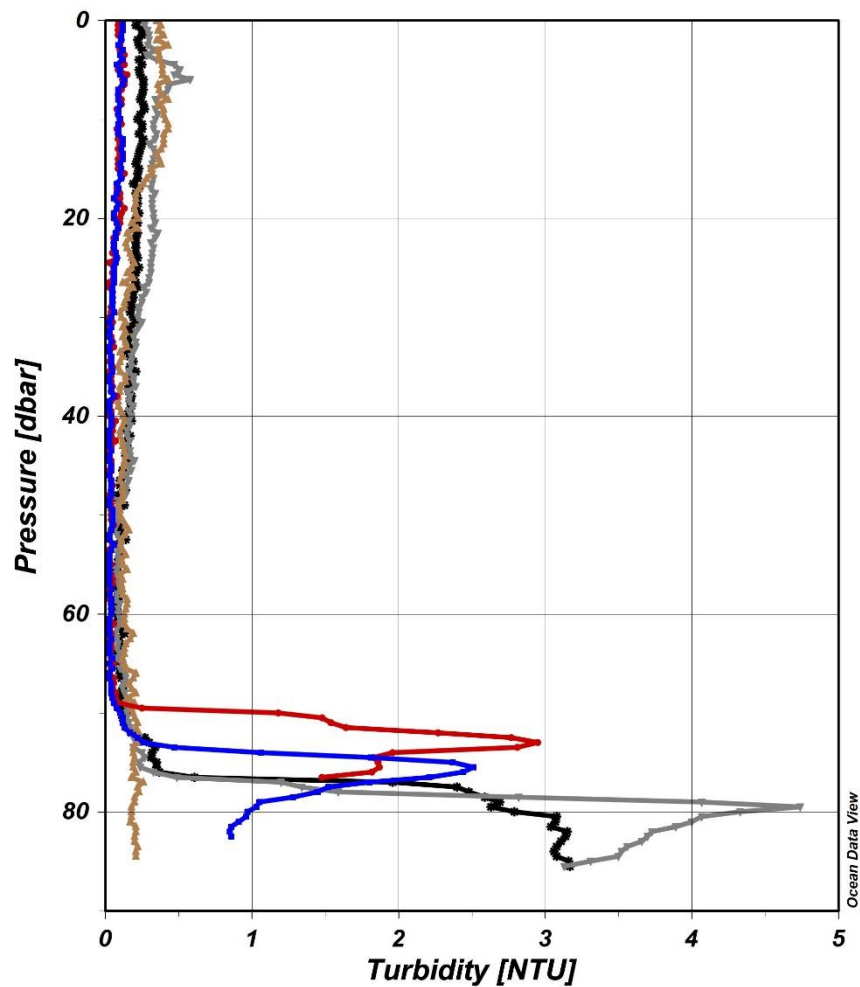
3. MÕÕTMISTULEMUSTE LÜHIKIRJELDUS

Keskkonnaparameetrite muutlikkust kogu mõõtmisperioodi jooksul iseloomustavad graafikud joonistel 3.1-3.5. Mõõdistusperioodi alguses oli kogu veesambas merevee hägusus suhteliselt madal. Oluline muutus toimus mere põhjalähedases veekihi alates 24. aprillist 2022, kui piirkonda levis kõrgema hägususega veemass (joonis 3.1). Ajavahemikus 27. aprillist kuni 30. aprillini ületasid hägususe maksimaalsed väärtused ca 80 m sügavusel väärtusi 4 NTU. Peale 30. aprilli hakkas põhjalähedase veekihi hägusus vähenema, kuid esialgu tõusis hägune veekiht ülespoole. Peale 4. maid liikus hägusa veekihi piir sügavamale. Mai keskpaigas hakkas hägusus põhjalähedases kihis uuesti kasvama ja selle kihi piir ülespoole tõusma. Iseloomulikuks sel perioodil (eriti peale 20. maid) oli suhteliselt kitsa kõrge hägususega veekihi esinemine ja hägususe vähenemine sellest allpool mere põhja lähedal (vt joonis 3.2).

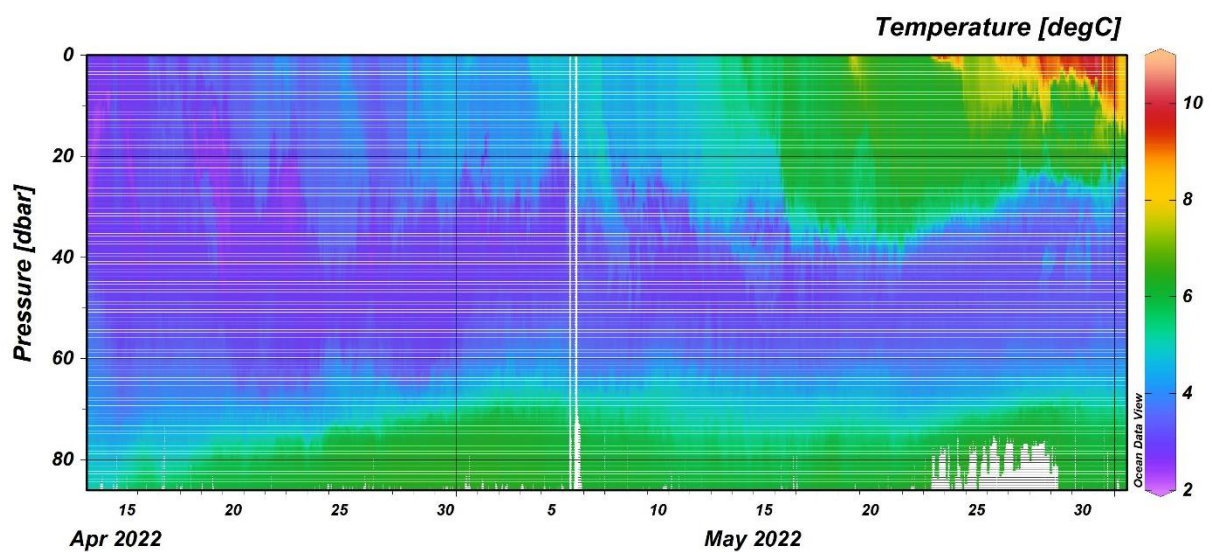


Joonis 3.1. Vee hägususe ajaline käik veesambas parvlaev „Estonia“ vraki piirkonnas allveeliuguri „mia“ mõõdistuse põhjal ajavahemikus 13. aprill 2022 kuni 1. juuni 2022.

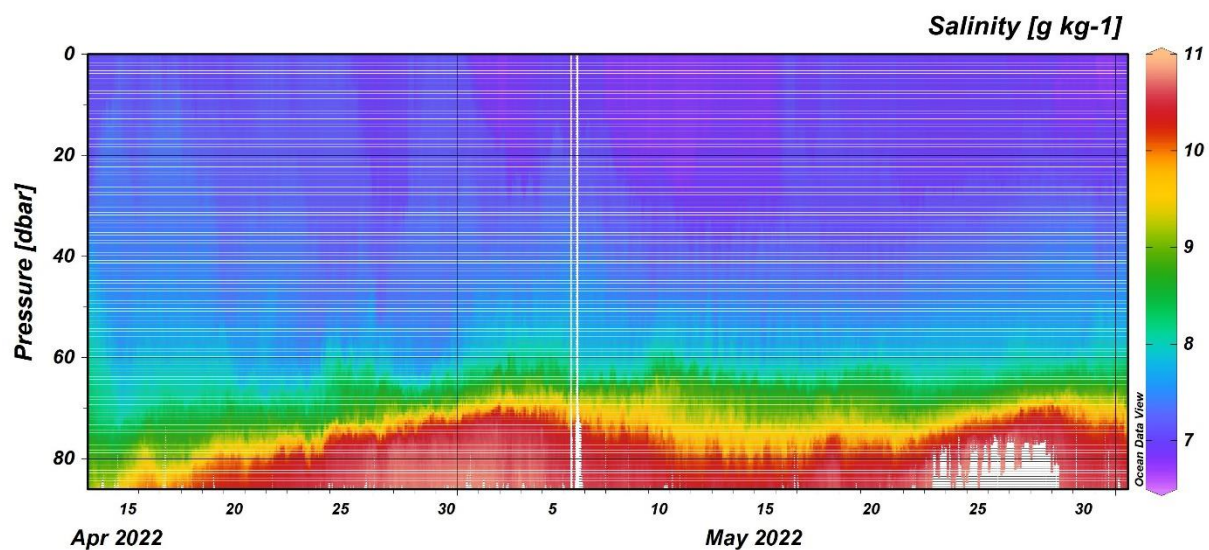
Ülalpool kirjeldatud hägususe muutlikkus oli seotud veemasside vaheldumisega. Põhjalähedase veekihi hägususe kasvu aprilli viimasel nädalal tingis soolasema ja hapnikuvaese vee levik mõõdistuste piirkonda (joonised 3.4 ja 3.5). Tavapäraselt asusid maksimaalsed hägususe väärtused veekihi, mis jäi vahetult allapoole halokliini (kus soolsus sügavusega järsult kasvas) ja hapniku kontsentratsioon langes nulli lähedale. Kõrgeima hägususega sügavusvahemik liikus koos halokliiniga ja näiteks 28. mail oli hägususe maksimum sügavusel 72-74 m (joonis 3.2). Kogutud andmete esialgse analüüsi põhjal võib väita, et sarnaselt Soome lahe sügavamatele aladele on parvlaeva „Estonia“ vraki piirkonnas põhjalähedase veekihi hägusus suurem veesamba tugeva vertikaalse stratifikatsiooni tingimustes. Tugeva stratifikatsiooniga, mis suurema tõenäosusega esineb kevadest sügiseni, kaasnevad põhjalähedase veekihi kõrgem soolsus, madalam hapniku sisaldus ja suurem hägusus.



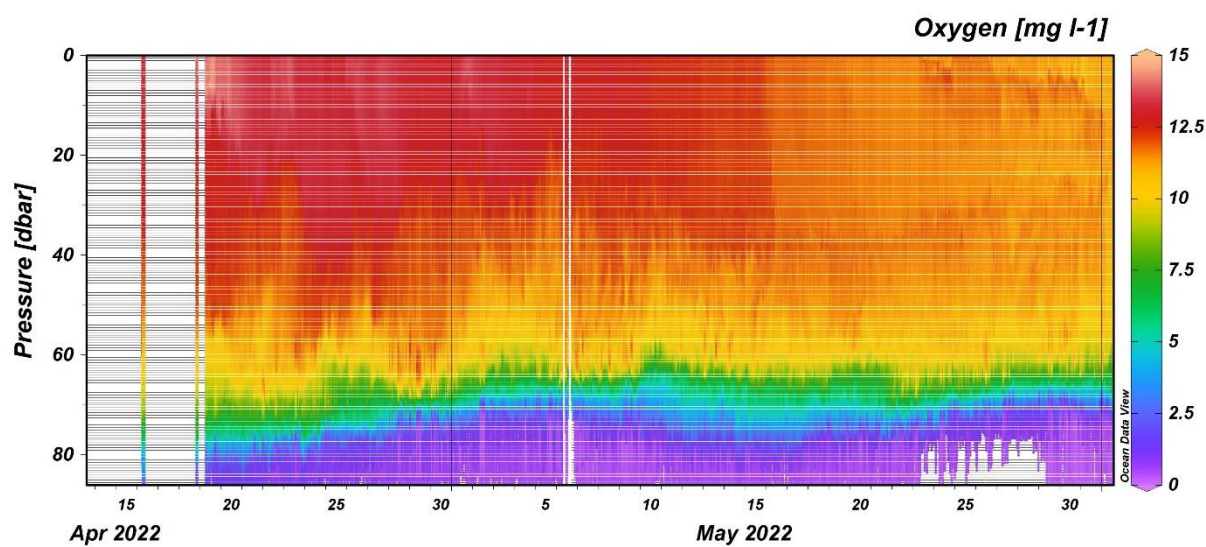
Joonis 3.2. Vee hägususe valitud vertikaalsed profiilid parvlaev „Estonia“ vraki piirkonnas allveeliuguri „mia“ mõõdistuse põhjal. Näited on toodud 13. aprillist (beež joon), 25. aprillist (must), 27. aprillist (hall), 24. maist (sinine) ja 28. maist (punane) 2022.



Joonis 3.2. Temperatuuri ajaline käik veesambas parvlaev „Estonia“ vraki piirkonnas allveeliuguri „mia“ mõõdistuse põhjal ajavahemikus 13. aprill 2022 kuni 1. juuni 2022.



Joonis 3.3. Soolsuse ajaline käik veesambas parvlaev „Estonia“ vraki piirkonnas allveeliuguri „mia“ mõõdistuse põhjal ajavahemikus 13. aprill 2022 kuni 1. juuni 2022.



Joonis 3.4. Hapniku sisalduse ajaline käik veesambas parvlaev „Estonia“ vraki piirkonnas allveeliuguri „mia“ mõõdistuse põhjal ajavahemikus 13. aprill 2022 kuni 1. juuni 2022 (kuni 19. aprillini esines hapniku sisalduse andmete salvestamisel probleeme).

4. EDASTATAVAD ANDMED

Mõõdistusperioodil edastati Tellijale operatiivselt andmed kas nädalase või kahepäevase intervalliga. Glideri poolt saadetud töötlemata andmed vormistati NetCDF formaadis, kus andmefailis olid defineeritud iga andmerea parameetri nimed ja ühikud. Töödeldud andmed esitati tekstfailina, kus iga glideri laskumine ja tõus oli määratud eraldi profiiliks vertikaalse sammuga 2 dbar (2 m). Andmefailis olid tulpadena järgmised andmed:

- Station – profiili number
- Year, Month, Day, Hour, Minute – profiili aeg – aasta, kuu, päev, tund ja minut
- Pressure [dbar] – rõhk dbar (vastab ligikaudu sügavusele; sammuga 2 m)
- Temperature [degC] – vee temperatuur
- Salinity [g kg⁻¹] – soolsus ühikutes [g/kg]
- Turbidity [NTU] – vee hägusus ühikutes [NTU]
- Oxygen [percent] – hapniku sisalduse küllastusaste protsentides

Mingil sügavusel ja ajahetkel teatud parameetri andmed puudumisel tähistati andmefailis väärtusega „NaN“.

Peale missiooni lõppu laaditi glideri mälukaardilt alla kõik registreeritud andmed, sh mõõdetud parameetrite väärtused ja kaasnevad glideri liikumist ning funktsioneerimist iseloomustavad parameetrite väärtused (sh mõõtmistele vastavad aeg ja koordinaadid). Kogu mõõdistusperioodi jooksul kogutud algandmed, mis on läbinud kvaliteedikontrolli on esitatud NetCDF formaadis ühe failina „mia20220413_qc.nc“. Andmefailis on esitatud järgmised muutujad: 'm_present_time', 'sci_m_present_time', 'sci_ctd41cp_timestamp', 'sci_flntu_timestamp', 'sci_oxy4_timestamp', 'm_gps_lat', 'm_gps_lon', 'm_water_pressure', 'sci_water_pressure', 'sci_water_temp', 'sci_water_cond', 'sci_flntu_chlor_units', 'sci_flntu_turb_units', 'sci_oxy4_temp', 'sci_oxy4_oxygen', 'sci_oxy4_saturation', 'm_pressure', 'm_depth', 'm_water_depth', 'm_water_temp', 'm_water_cond', 'tot_num_surfacings', 'tot_num_half_yos', 'm_gps_lat_interp', 'm_gps_lon_interp'. Iga andmerea kohta on toodud selle parameetri nimed, ühikud ning lühikirjeldus (mida iga konkreetne andmerida endast kujutab).

Töödeldud andmed on esitatud vertikaalsete profiilidena sügavusvahemikus 0-90 m. Profiilide vertikaalne samm on 0,5 dbar, mis ligikaudu vastab sügavuse sammule 0,5 m. Kui mingil sügavusel profiilil andmed puudusid, siis on väärtusena märgitud 99999. Töödeldud andmed on esitatud samuti NetCDF formaadis kolmes eraldi failis – „mia20220413_qc_CTD_interp.nc“ (sisaldab temperatuuri, elektrijuhtivuse, soolsuse ja tiheduse andmeid), „mia20220413_qc_OXY_interp.nc“ (hapniku sisalduse profiilid) ja „mia20220413_qc_FLNTU_interp.nc“ (hägususe profiilid).

Lisaks on töödeldud andmed esitatud tekstfailina „glider_mia_2022_processed.dat“, kus on järgitud ODV formaati, st iga mõõtmisrea kohta on toodud ka aja ja asukoha andmed ning profiili number. Kokku on töödeldud andmefailides 5484 vertikaalset profiili temperatuuri (°C), soolsuse (g/kg), suhtelise tiheduse (merevee tihedus miinus 1000; kg/m³), hapniku kontsentratsiooni (mg/l) ja küllastusprotsendi (%) ning vee hägususe (NTU) kohta. Merevee soolsus ja tihedus on arvutatud mõõdetud rõhu, temperatuuri ja elektrijuhtivuse andmete põhjal kasutades TEOS-10¹ valemeid.

¹ IOC, SCOR & IAPSO (2010). Dynamic height anomaly. In The international thermodynamic equation of seawater - 2010: Calculation and use of thermodynamic properties (Manuals and Guides No. 56, pp. 48–49). UNESCO.

5. KOKKUVÕTE

Ajavahemikus 13. aprillist kuni 1. juunini viid läbi keskkonnaparameetrite mõõdistused parvlaeva „Estonia“ vraki piirkonnas. Uuringu eesmärgiks oli enne mereliste põhiuuringute algust ja nende ajal koguda infot merevee hägususe ja muude keskkonnaparameetrite kohta. Mõõtmisteks kasutati Teledyne Webb Research allveeliugurit Slocum G2. Registreeriti merevee temperatuuri, soolsuse, hägususe, hapniku sisalduse ja klorofüll-a fluorestsentsi vertikaalseid profiile. Andmed edastati operatiivselt nii töötlemata kui töödeldud kujul mõõtmiste esimeses pooles kord nädalas ja vahetult enne laserskaneerimise uuringut ning selle ajal igal teisel päeval.

Peaaegu kogu mõõdistusperioodi jooksul, välja arvatud esimesed kümme päeva, esines piirkonnas hägune põhjalähedane veekiht, mis oli seotud soolasema ja hapnikuvaese vee levikuga mõõdistusalale. Sarnaselt Soome lahe sügavamatele aladele oli parvlaeva „Estonia“ vraki piirkonnas põhjalähedase veekihi hägusus suurem veesamba tugeva vertikaalse stratifikatsiooni tingimustes. Kuna tugevam stratifikatsioon esineb suurema tõenäosusega kevadest sügiseni, siis võib järeldada, et sel perioodil on ka põhjalähedase veekihi hägusus suurem, mis potentsiaalselt võib takistada optiliste uuringute läbiviimist.

Kogu mõõtmisperioodil kogutud algandmed (mis on läbinud kvaliteedikontrolli) ja töödeldud andmed on esitatud koos käesoleva aruandega Tellijale. Kokku sisaldavad töödeldud andmete failid 5484 temperatuuri, soolsuse, hapniku sisalduse ja vee hägususe vertikaalset profiili.