



**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL**  
EESTI MEREAKADEEMIA  
Merhariduskeskus

Kristo Enn

**HEITVEE JUHTIMISEST KIHISTUNUD  
VEEKOGUDESSE TALLINNA LAHE NÄITEL**

Lõputöö

Juhendaja: dotsent Arvo Käär  
TTÜ EMERA

Kaasjuhendaja: Amirhossein Barzandeh  
TTÜ MSI

Tallinn 2023

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõigile teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

Kristo Enn

*(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)*

Üliõpilase kood: 193013VDVR

Üliõpilase e-posti aadress: krienn@taltech.ee

Juhendaja: dotsent Arvo Käär

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

*(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)*

Kaitsmiskomisjoni esimees: Inga-Zaitseva-Pärnaste

Lubatud kaitsmisele

*(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)*

# Sisukord

Sissejuhatus .....	5
1 Heitvee komponentide lahjenemisest .....	6
1.1 Reovesi ja heitvesi .....	6
1.2 Nõuded reovee puhastamise ning heitvee juhtimise kohta pinnaveekogusse või pinnasesse .....	7
1.3 Tallinna Vesi AS reovee puhastustehnoloogiast .....	8
1.4 Le Chatelier printsiip .....	11
2 Heitvee ümberjaotumine meredes .....	13
2.1 Hoovused .....	13
2.2 Põhjahoovused .....	13
2.3 Pinnahoovused .....	13
2.4 Ekmani transport .....	14
2.5 <i>Upwelling</i> ja <i>downwelling</i> .....	14
2.6 Termokliin .....	16
2.6.1 Termokliini moodustamiseks vajalik temperatuur .....	17
3 Metoodika .....	18
3.1 Tallinna laht .....	18
3.1.1 Paljassaare laht .....	19
3.1.2 Kopli laht .....	20
3.1.3 Kakumäe laht .....	20
3.1.4 Tallinna lahe põhja- ja pinnahoovuste liikumiste iseloomustus .....	21
3.2 Tuulte iseloomustus Tallinna lähel .....	21
3.2.1 Aasta 2021 keskmine tuule suund päevas .....	22
3.2.2 Keskmine tuule suund suplusperioodil .....	23
3.3 Tahkete ainete migratsioonist vee keskkonnas .....	23
3.3.1 Setete transpordist .....	24
3.4 Termokliinist Kopli lahes .....	25
4. Uurimistulemuste analüüs .....	27
4.1 Merevee kvaliteedist süvamere väljalasu asukohas .....	28
4.2 Merevee kvaliteedist süvamere väljalasu asukohast avamere poolses osas .....	31
4.3 Merevee kvaliteedist Stroomi rannas .....	33

4.4 <i>Upwelling</i> 'ust Stroomi rannas .....	36
Kokkuvõte .....	38
Kasutatud allikad .....	39
LISAD .....	43
Lisa 1. Pinnahoovuste režiim Tallinna lahes .....	43
Lisa 2. Põhjahoovuste režiim Tallinna lahes .....	44
Lisa 3. Keskkonnakompleksluba .....	45

## Sissejuhatus

Merekeskkonna reostus on üks suurimaid keskkonnaprobleeme, *so* reo- ja heitvee juhtimine merre. Heitvees sisalduvad reoained võivad tugevalt kahjustada mere ökosüsteeme ja mereorganisme. Lisaks võib saastunud vesi jõuda supelrandadesse ja tuua kaasa veekvaliteedi halvenemise, mis omakorda põhjustab terviseriske. Heitvee puhastamiseks kasutatakse erinevaid tehnoloogiaid. Reovee puhastamisele on kehtestatud eeskirjad, et vältida merekeskkonna reostumist.

**Käesoleva lõputöö eesmärgiks** on uurida heitvees sisalduvate reoainete jaotumist järsult muutuva temperatuuriga (1–3 °C ja rohkem 1 m kohta) õhukese hüppekahi all suhteliselt sügavates kihistuvates veekogudes Tallinna lahe näitel. Reoainete jaotumist uuriti Tallinna lahe avaosas ning selle rannikul.

Uuringu objektiks on Paljassaare reoveepuhastusjaama süvamereväljalask ning Stroomi ranna suplusvee kvaliteet. Heitvesi juhitakse 2,8 km pikkuse süvamereväljalasku kaudu merre *ca* 26 meetri sügavusele.

**Uuritav probleem** - reoainete jaotumine Kopli, Paljassaare ja Kakumäe lahes ja Stroomi rannas.

### Uurimisküsimused:

1. Millised on pinna- ja põhjahoovuste liikumised Tallinna lahes?
2. Kuidas jaotuvad reoained Tallinna lahes?

Lõputöö koosneb neljast osast. Esmalt on teoreetiline osa, kus antakse ülevaade töö põhimõistetest ja on lahti kirjutatud füüsikalised protsessid, mis mõjutavad heitvee liikumist/jaotumist merevees. Seejärel on metoodiline osa. Antud peatükis keskendutakse Tallinna lahe hüdrometeoroloogilistele tingimustele. Kahes viimases peatükis on esitatud töö tulemused ja arutelu. Töö lõpeb kokkuvõttega.

Uurimistulemuste analüüsis kasutatud graafikud on koostatud TTÜ Meresüsteemide Instituudis. Töö autori poolt koostatud joonised on tehtud programmiga „ArcGIS“.

# 1 Heitvee komponentide lahjenemisest

## 1.1 Reovesi ja heitvesi

Reovesi tekib inimtegevuse tagajärjel ehk on olmetingimustes või tootmises rikutud vesi, mida peab puhastama enne suublasse või pinnasesse juhtimist. Seda peab puhastama, sest reovees sisaldav reoainete hulk ületab lubatud piirnorme. (Mägi 2018)

Reovee koostises on bakterioloogilised ja füüsikaliskemilised näitajad. Bakterioloogiliste näitajate hulka kuuluvad näiteks tõvestavad mikroorganismid või soolenugiliste munad. Füüsikaliskemiliste näitajate juurde kuuluvad lahustunud või lahustumatud anorgaanilised ja orgaanilised võõrised, lämmastik, fosfor *etc.* Puhastamata reovee juhtimine veekogusse mõjutab keskkonda, sest see võib põhjustada mitmeid negatiivseid muutusi - näiteks joogivee (*so* joogivee toorallika) või suplusvee reostus. Reostunud vesi halvendab veekogu füüsikaliskemilisi omadusi ning tagajärgedeks võivad olla taimestiku kiire kasv, hapnikupuudus veeorganismidele või nakkusohtlikkus. (VillageWaters *s.a.*)

Heitvesi on puhastist väljuv reovesi. Õigesti puhastatud heitvesi vastab kehtestatud normidele ning seda võib juhtida suublasse, milleks on tavaliselt looduslik veekogu. Loodusesse juhitud heitvee omadused võivad olla algselt kasutatud „vee“ omadest halvemad või samad. (Mägi 2018)

Heitvees on üks või mitu reoainet. Reoaineteks võivad olla (Tuser 2021):

1. rasv, õli, määre;
2. kemikaalid;
3. pesuained;
4. raskemetallid;
5. tahked ained;
6. toidujäätmed *etc.*

## **1.2 Nõuded reovee puhastamise ning heitvee juhtimise kohta pinnaveekogusse või pinnasesse**

„Nõuded reovee puhastamise ning heit-, sademe-, kaevandus-, karjääri- ja jahutusvee suublasse juhtimise kohta, nõuetele vastavuse hindamise meetmed ning saasteainesisalduse piirväärtused“ on kehtestatud „Veeseaduse“ § 128 lõike 5 ja § 130 lõigete 2 ja 4 alusel.

Reovett puhastatakse peamiselt neljal viisil - mehaaniliselt, bioloogiliselt, keemiliselt ja füüsikalisk-keemiliselt. Samuti võib ka neid puhastusviise kombineerida.

Keskkonnaministri määruse nr 61 paragrahv viis käsitleb heit-, sademe-, kaevandus-, karjääri- ja jahutusvee juhtimist suublasse ning määrab jahutusvee saastenäitajate piirväärtused ja reovee puhastusastmed. Oluline on, et heitvee suublasse juhtimisel ei halveneks vee- ja veega seotud maismaaökosüsteemide seisund. Vee saastenäitajad peavad vastama “Nõuded reovee puhastamisel...” määruse lisa 1 esitatud piirväärtustele või reovee puhastusastmetele, mis sõltub reoveekogumisala koormusest. Reoveekogumisala puudumisel lähtutakse piirväärtuste või puhastusastmete määramisel reoveepuhasti koormusest või selle puudumisel saasteallika koormusest. Kui saasteallika koormust ei ole võimalik määrata inimekvivalentides, määrab loa andja saastenäitajate piirväärtused või reovee puhastusastmed arvestades, et ärajuhitav vesi ei halvendaks suubla seisundit. Erandid kehtivad asula ühiskanalisatsioonist eraldi asetseva heitveelaskme kaudu suublasse juhtiva vee kohta. Näiteks kehtivad need tekstiili-, keemia-, tselluloosi-, nafta-, puidu- ja toiduainetööstuse ettevõtete kohta. Reovee puhastusastmed määratakse vaid siis, kui biokeemilise puhastuse tulemusele ei vasta heitvee saastenäitajate piirväärtustele ning kui lisatehnoloogia kasutamine tooks kaasa ülemääraseid kulutusi. Vajadusel on keskkonnaloa andjal võimalik määrata, arvestades suubla seisundit, karmimaid saastenäitajate piirväärtusi või reovee puhastusastmeid, kui “Nõuded reovee puhastamisel...” määruse lisa 1 toodule. (Nõuded reovee puhastamisel...2021)

### 1.3 Tallinna Vesi AS reovee puhastustehnoloogiast

Tallinna Vesi AS on oluline roll Läänemereäärse loodus- ja elukeskkonna parendamisel. Seal kogutakse ja puhastatakse reovesi, mis suunatakse ohutult tagasi keskkonda. Reo- ja sademevesi jõuab reoveepuhastusjaama läbi kanalisatsioonivõrgu isevoolselt. Tallinna ja selle lähiumbruse reovesi puhastatakse Paljassaare reoveepuhastusjaamas. Seal puhastusprotsess koosneb kolmest etapist: mehaaniline, bioloogiline ja keemiline. Lämmastikuärastuse tõhustamiseks kasutatakse biofiltrit. Puhastatud heitvesi juhitakse merekeskkonda. Tallinna Vesi AS üheks sihiks on vähendada negatiivset keskkonnamõju merekeskkonnale. Aastal 2021 puhastas ja suunas Tallinna Vesi AS Soome lahte 48,2 miljonit m<sup>3</sup> puhastatud reovett. (AS Tallinna Vesi 2021)

Merre juhitaval heitveel on kvaliteedinõuded, mis on sätestatud õigusaktide ja veeerikasutusloaga. Kvaliteedi hindamiseks jälgitakse reoainete sisaldust nii puhastusjaama sisenevas reovees kui ka väljuvas heitvees. Heitveelaboris analüüsitud reoveepuhastuse etappidest võetud proove aitavad tõhustada puhastusprotsessi ja parandada heitvee kvaliteeti. 2021. aastal ületas Paljassaare reoveepuhastusjaama puhastusprotsessi efektiivsus õigusaktides sätestatud nõudeid (vt joonis 1). (AS Tallinna Vesi 2021)

	Nõue	2021	2020
BIOLOOGILINE HAPNIKUTARVE (BHT)	80%	98%	98%
Keemiline hapnikutarve (KHT)	75%	92%	88%
Hõljuvained	90%	97%	98%
Üldlämmastik (N <sub>üld</sub> )	80%	87%	86%
Üldfosfor (P <sub>üld</sub> )	90%	94%	92%
Naftasaadused	75%	98%	90%

Joonis 1. Paljassaare reoveepuhastusjaama puhastusprotsess. (AS Tallinna Vesi 2021).

Tallinna Vesi AS reoveepuhastusjaam puhastab lisaks tööstusreoveele olmereovett kasutades mehhaanilisi, keemilisi ja bioloogilisi meetodeid. Olmereovee puhastusel on kolm osa: mehaanilised võred, liivapüünised ja esisetid ning puhastusvõimsus on kuni 18000 m<sup>3</sup>. (KOTKAS 2022)

Reovee **mehaanilise puhastuse** etapid on järgmised (KOTKAS 2022):



1. Võredega võetakse välja võõrised ja reovesi suunatakse liivapüünistesse.
2. Pärast liiva eraldumist reoveest järgneb reovee eelsetitamine, mille käigus eraldatakse kraapidega pinna heljum.
3. Settinud toorsete pumbatakse settekäitluskompleksi töötlemisele.
4. Võrepraht läheb konteineritesse ja viiakse prügilasse.
5. Liivapüünisete suunatakse liivapesuritesse, kus pestakse liivast välja orgaanilised ained ja eraldatakse liiv veest.
6. Liiv pestakse ja kuivatatakse ning seejärel lisatakse see reoveesetele kompostimise käigus mulla struktuuri parandamiseks.

Reovee bioloogilise puhastusse kuuluvad aerotankid, järelsetid ja biofilter (puhastusvõimsus on 14000 m<sup>3</sup>/h, biofilter 6500 m<sup>3</sup>/h). Reovee bioloogilise puhastuse etapid on järgmised (KOTKAS 2022):

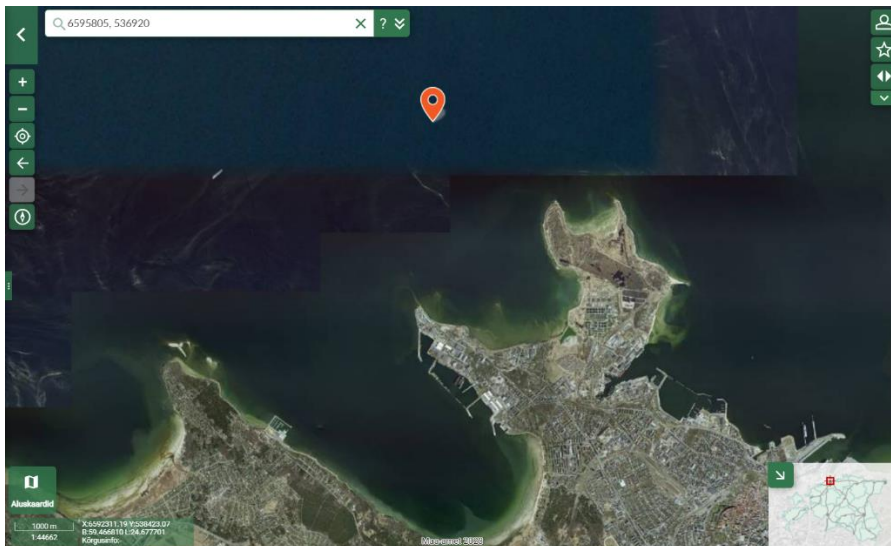
1. Aerotankides lagundatakse mikroorganismide abil puhastatud reovees olevaid reoaineid. Edukuse määrajateks on denitrifikatsioon ja nitrifikatsiooni protsessi efektiivsus. Selle saavutamiseks lisatakse metanooli ja korrigeeritakse aktiivmudasuspensiooni hapniku sisaldust, aktiivmuda kogust ja vanust aerotankides. Fosforiühendite vähendamiseks doseeritakse selles protsessis ka koagulanti.
2. Seejärel suunatakse bioloogiliselt puhastatud vesi järelsetitesse ning sealt biofiltrisse, kus eemaldatakse järelejäänud lämmastik ja muud biolagunevad saasteained.
3. Järelsetites settinud aktiivmuda tagastatakse areotankidesse ja jääaktiivmuda pumbatakse settekäitluskompleksi ning osa puhastusprotsesse algusesse.

Tallinna Vesi AS reovee puhastamise maksimaalne hüdrauliline jõudluspiir on 18000 m<sup>3</sup>/h. Esialgu koguneb see vesi ühisvoolse kanalisatsioonis ja sealt edasi juhitakse peapumpla kaudu puhastusjaama. Pärast reovee puhastamist pumbatakse puhastatud reovesi (so heitvesi) puhastatud reovee pumpla survetorustike kaudu kaldakaevu, mis asub Paljassaare tipus. Vesi juhitakse 2,8 km pikkuse süvamere väljalasu kaudu merre umbes 26 m sügavusele. Kuna Tallinna linna reoveekanaliseerimine on peamiselt ühisvoolne, siis

ei ole võimalik prognoosida reo- ja sademevee koguseid, mis sisenevad reoveepuhastusjaama. Kasutatakse ka ülevoole ja alternatiivseid avariiväljalaske. Suublasse juhitava sademevee kogused päeviti on erinevad (eri aegadel sademete hulga tõttu). Paduvihmade korral kasutatakse kahte ülevoolu, millega juhitakse suublasse 1:4 lahjendusega reo- ja sademeveett. Kui on toimunud avarii, kasutatakse kolme avariiväljalasku ehk avatakse siibrid. (KOTKAS 2022)

Reoveesette käitlusel segatakse esmalt settelaos eelsetititest eraldatud toorsete ja järelsetititest eraldatud jääkaktiivmuda. Metaantankidesse pumbatakse soojendatud ( $37^{\circ}$ ) segatud sete, kus toimub sette anaeroobne käärimine. Sellises protsessis eraldub biogaas, mida kasutatakse katlamajas kütusena. Eelnevas protsessis saadud stabiliseeritud reoveesete pumbatakse tahendamiseks tsentrifuugidesse. Seal eraldatakse settest üleliigne vesi (selle hõlbustamiseks lisatakse flokulanti). Settesegu valmistamine toimub settesegamisväljakutel. Tahendatud settele lisatakse turvast. Kasvumulla järelvalmimine kestab 6-8 kuud (mida perioodiliselt segatakse). (AS Tallinna Vesi *s.a.*)

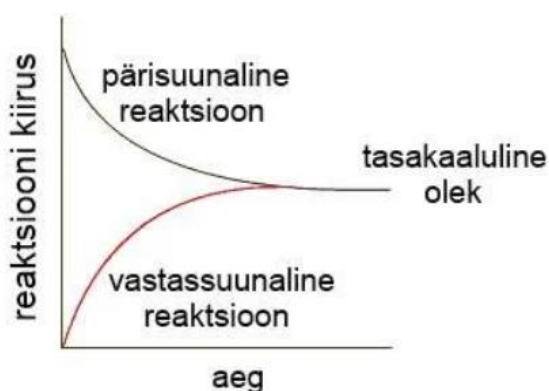
Paljassaare asuva reoveepuhastusjaama väljalasu L-Est koordinaadid on X: 6595805, Y: 536920 (vt joonis 2). (KOTKAS 2022)



Joonis 2. Heitvee süvamere väljalasu asukoht

## 1.4 Le Chatelier printsiip

Keemias tasakaaluline reaktsioon on pöördreaktsioon, kui reaktsiooni segusse jääb nii lähteaineid kui ka saaduseid/produkte. Pöördreaktsioon tähendab, et see on mõlema suunaline reaktsioon ehk lähteainetest tekivad saadused ja saadused lagunevad tagasi lähteaineteks. (Taskutark 2023)



Joonis 3. Tasakaalulises olekus on mõlemasuunalised reaktsioonid võrdsed (Taskutark 2023)

Keemilise tasakaalu olukorras ainete kontsentratsioon reaktsioonisegus on püsiv ja mõlema suunalise reaktsiooni kiirused on võrdsed (vt joonis 3). Keemilise tasakaalu nihkumisel muutub ainete kontsentratsioon ning tasakaalu olek. Kui muuta ühte tegurit, siis muutub ka tasakaal ning see töötab vastu välistegurite mõjule. Sellist seadust nimetatakse Le Chatelier'i printsiibiks. Tasakaalu saab muuta kolme teguriga (Taskutark 2023):

1. temperatuuri muutmine - tõstes temperatuuri nihkub keemilise reaktsiooni tasakaal endotermilise reaktsiooni ehk energia neeldumise suunas. Kuna pärissuunalise reaktsiooni käigus eraldub energiat ja süsteemi kuumutades püüab süsteem vähendada soojuse eraldumist. Seetõttu tasakaal nihkub vastassuunalise reaktsiooni suunas, sest see on endotermiline reaktsioon. Pöördereaktsioonidel on ühesuunaline reaktsioon, kas eksotermiline või endotermiline.
2. ainete kontsentratsioonide muutmine - vähendades mõne aine kontsentratsiooni, püüab süsteem selle aine kontsentratsiooni suurendada ja tasakaal nihkub sinnapoole, mille aine kontsentratsiooni vähendati (vt joonis 4).



Joonis 4. Aine lisamisel liigub aine saaduste suunas (Taskutark 2023)

3. rõhu muutmine - mõjutab reaktsioonide tasakaalus, milles on gaasid, sest ainult gaasilisi ained saab kokku pressida. Rõhku muutes muudetakse gaasiliste ainete kontsentratsioone. Kontsentratsioon muutub rohkem seal, kus on gaasilisi ained rohkem ehk süsteem nihutab tasakaalu vastassuunas. Rõhku suurendades suureneb lähteainete kontsentratsioon rohkem, kui saaduste oma. Aga alandades rõhku nihkub tasakaal sinna, kus on rohkem gaasilisi aineid.

## **2 Heitvee ümberjaotumine meredes**

### **2.1 Hoovused**

Hoovus on vee horisontaalsuunaline liikumine veekogudes, mis tekivad tuulte, vee tiheduse erinevuse, tõusu-mõõna, veepinna kallakuse ja muudel põhjustel. Ookeanides on veemasside ringlus põhjapoolkeral päripäeva, aga lõunapoolkeral vastupäeva. Meredes on hoovuste suund vastupidine, mis on põhjustatud tuulte erinevast suunast põhja- ja lõunapoolkera tsükloneis. Hoovused mõjutavad kliimat, segavad veemasse, kannavad edasi jääd ja settematerjali. (Lutt 1993)

### **2.2 Põhjahoovused**

Põhjahoovused sõltuvad maastikust ja on pinnahoovustest aeglasemad. Hoovuse kiirus on mõni sentimeeter sekundis. Põhjahoovus on seotud süvavee tekkega. Vesi laskub veepinnalt süvakihtidesse, kui vee tihedus on ümbritseva vee omast suurem. Suuremat tihedust põhjustab suurem soolsus või madal temperatuur. (Eerme 1997, Finnish Meteorological Institute 2022)

### **2.3 Pinnahoovused**

Pinnahoovust mõjutab tuul. Vee ja õhu hõõrdumine paneb vee pärituules liikuma. Hoovuste suund ei ühti tuulte suundadega vee inertsit tõttu, suuna erinevus võib jääda kuni 15° madalas vees ja kuni 45° sügavamas vees. Vee käitumine erineb õhu käitumisest sellega, et veel on suurem tihedus ja viskoossus. Seetõttu, kui vesi hakkab liikuma, ei suuda see kiiresti peatuda ja nii võibki pärast tuule vaibumist vesi kiirelt voolata. Pinnakihi kiirus on umbes 5-10 cm sekundis, aga tormide ajal ulatuvad kuni 50 cm sekundis. Kitsastes väinades on hoovused veelgi kiiremad. (Eerme 1997, Finnish Meteorological Institute 2022)

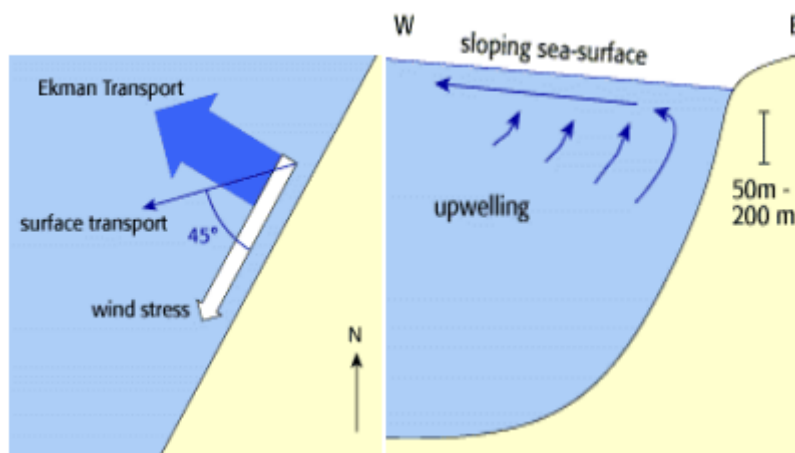
## 2.4 Ekmani transport

Ekmani transport on saanud oma nime Rootsi teadlase Vagn Walfrid Ekman järgi. Tema esimene teooria tuli pärast Coriolise efekti 1902. aastal. (National Ocean Service *s.a.*) Ekmani transport on vee liikumine ookeanis (sh meredes), mis on tingitud tuulest kui ka Coriolise efektist. Tuul paneb pinnaveed hoovusena liikuma. Coriolise efekt tuleneb Maa pöörlemisest ehk pinnavee liikumine kaldub põhjapoolkeral paremale ja lõunapoolkeral vasakule, mis põhjustab „neto“ liikumise tuule suunast eemale. Nii tekivad tsoonid, kus vesi tõmmatakse veepinna alt (*upwelling*) ja tsoonid, kus vesi surutakse allapoole (*downwelling*). Ekmani spiraali puhul liigub iga järgmine kiht ülemise kihi liikumisest paremale ehk vee liikumise suund muutub sügavuse suurenedes. Selline vee liikumine võib oluliselt mõjutada ookeani/merede tsirkulatsiooni ning toitainete ja soojuse jaotumist ookeanis/meres. (Dutta, T. *s.a.*; Ocean Motion *s.a.* )

## 2.5 *Upwelling* ja *downwelling*

*Upwelling* ja *downwelling* on olulised ookeanide ja merede termohaliinse tsirkulatsiooni kujunemisel. Mõlemad nähtused võivad toimuda ka paralleelselt rannajoonega puhuva tuulega. (Dutta *s.a.*; Elken *et al.* 2018)

*Upwellingu* ehk süvaveekerge tekitab maatuul, kui merehoovus viib ranniku lähedal oleva pinnavee eemale ja külmem vesi põhjast tuleb ringlusena üles (vt joonis 5). Sügavamatest kihtidest tulnud külmem vesi on toitainete rikkam ja on bioloogiliselt hea piirkond. Lisaks *upwellinguga* kaasnevad ka erinevad protsessid ja nähtused. Näiteks veepinnal avalduv front ja selle ebastabiilsuse tõttu tekivad keerised. Kui avaookeanis on sügavused suuremad ja vesi võib pinnale tõusta mitme kilomeetri sügavuselt, siis Läänemeri on madal ja süvaveekerke käigus tõuseb vesi pinnale 20 meetri sügavuselt. Süvaveekerget on hästi paista suvel ja varasügisel. Pinnale tõusnud külm vesi on parem läbipaistvusega ja toitainerikas ning elustik hakkab vohama. Pealiskee „sukeldumist“ on hoopis keerulisem märgata. Seda on võimalik teha kindlaks mõõtes vee füüsikalisi omadusi mere eri sügavustel ja kohtades. (Dutta *s.a.*; Elken *et al.* 2018; Soomere 2007)

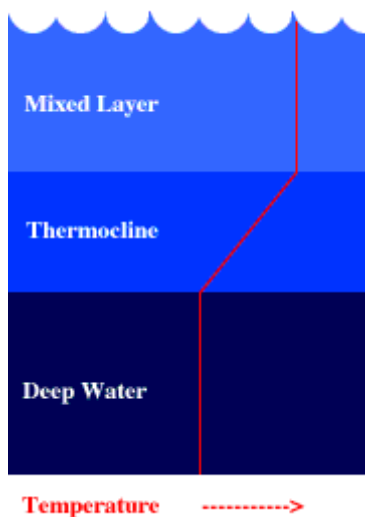


Joonis 5. Ekmani transpordi tõttu liigub rannikuga paralleelne tuul otse rannikust eemale, mis tekitab süvaveekerke (Dutta *s.a.*)

*Downwelling* ehk pinnavee „sukeldumine“ on vastupidine tegevus süvaveekerkele ehk meretuul surub pinnavee ranniku juures põhja. Pinnavee „sukeldumine“ on oluline osa merede ja ookeanide ökosüsteemides - põhjakihtidesse pääseb rohkem hapnikku, kui seda jõuab difusiooni teel. Kohtades, kus toimub tihti pinnavee „sukeldumist“, ei ole elustik mitmekesine, sest pealmistes kihtides on vesi toitainevaene. Seal on pigem sellised elusolendid, kes vajavad rohkem hapnikku. (Dutta *s.a.*; Elken *et al.* 2018; Soomere 2007)

## 2.6 Termokliin

Termokliin on piirkond (segakiht), mis asub soojema pinnavee ja külmema sügavvee vahel (vt joonis 6). Ülemine veekiht soojeneb kiiresti tänu kõrgele päikese asendile. Vaiksemate tuulte korral jääb vesi veepinna lähedal soojaks, aga tuule tugevnemisel ja lainete tekkimisel hakkab soojem veesegakiht segunema sügavveega põhjustades termokliini kõikumist. Termokliini alumises osas langeb temperatuur kiiresti sügavvee temperatuurile. (National Weather Service *s.a.*)



Joonis 6. Termokliin (National Weather Service *s.a.*)

Järvedes toimub veesamba kihistus termiliste protsesside mõjul, aga ookeanides ja meredes sõltub vee tihedus temperatuurist ja soolsusest. Kihistus moodustub horisontaalsete ja vertikaalsete ülekande ja segunemise mõjul. Aktiivse turbulentsi tõttu on mere ülakiht vertikaalselt läbi segunenud. Väljaspool polaaralasiid on vee ülakiht, tänu atmosfäärist tulevale soojusele, soojem kui sügavamates kihtide vees. Keskmistel laiuustel tekib suvel sesoonne termokliin, kuna ülakihis toimub soojuse vahetuse tsükkel. Kõrgematel laiuskraadidel on suve termokliini all külm vahekiht, mida nimetatakse dikotermaalseks kihiks. Seal paikneb talvel jahtunud ja soojenemata vesi. Ülakihi all asuv



peamine termokliinis võib temperatuur kahaneda 10 kraadist (umbes 100 m sügavusel) 3-5 kraadini (sügavusel 1000m). (Elken 2018)

### **2.6.1 Termokliini moodustamiseks vajalik temperatuur**

Leppäranta ja Mybergi (2009) järgi võib pinnakiht olla homogeenne, kuid võib ka omada sügavamate kihtide struktuuri väiksematest termokliinidest. Segunenud pinnakiht on kindel suurus, mida temperatuur ületada ei tohi. Suvel on termokliin 15-30m sügavusel erinevates Läänemere osades. See algab lõunapoolsemast Läänemere osast ja alates mai algusest. Sügisel temperatuuri langemisel liigub termokliin sügavamale ja see algab põhjapoolsemas Läänemere osas augusti lõpus. (Tarkiainen 2014)

## 3 Metoodika

### 3.1 Tallinna laht

Tallinna laht on osa Soome lahest, mida piirab Suurupi ja Viimsi poolsaar ning Naissaar ja Aegna saar (vt joonis 7). See on avatud põhja- ja läänekaarte tuulele. Lahe pindala on umbes 250 km<sup>2</sup> ja suurim sügavus on üle 90 m.



Joonis 7. Tallinna lahe osad

ENTEC 2006. aasta aruande järgi on Tallinna lahe tsirkulatsioon mõjutatud lahe topograafiast ja avatusest lääne- ja põhjasuunas, mis soodustab kiiret veevahetust. Hoovuste struktuuri määravad lokaalsed tuuled. (Tikerpuu et. al. 2011)

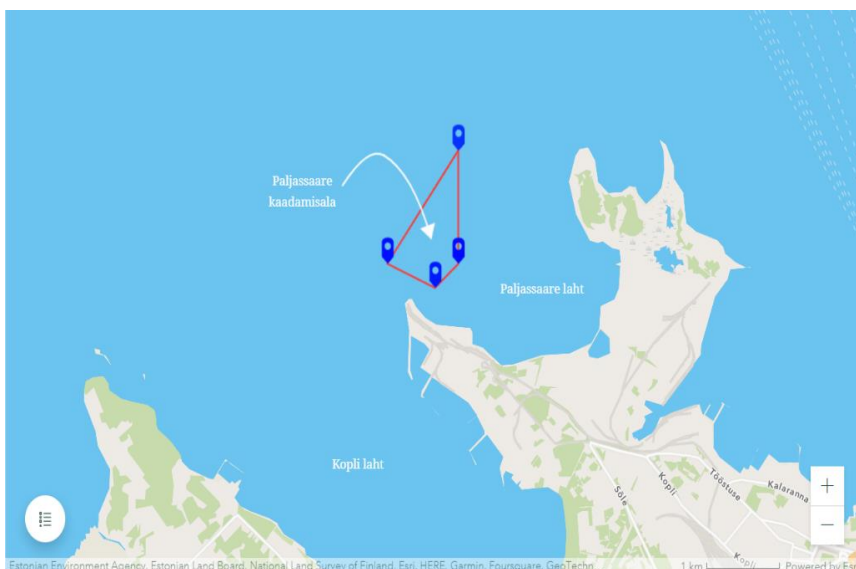
Kirdetuulte korral liigub vesi pinnakihis Naissaare ja Aegna saare vahelisel alal Tallinna lahte ning Suurupi ja Naissaare vahelisest alast välja. Lääne tuulte korral on sissevool Suurupi ja Naissaare vahel ja väljavool Naissaare ja Aegna saare vahel. Süvaveekeege põhjustavad kagu- ja lõunatuuled. (Tikerpuu et. al. 2011)

Tallinna lähel on tavaliselt hoovuse kiirus 10-20 cm/s. Põhjakihis moodustub lahe piirkonnas püsihoovus ehk sissevool on Naissaare ja Viimsi poolsaare vahelt ja väljavool Naissaare ja Suurupi poolsaare vahelt. (Tikerpuu et. al. 2011)

### 3.1.1 Paljassaare laht

Paljassaare laht on Tallinna lahe osa, asudes Kopli ja Paljassaare poolsaare vahel. TTÜ Meresüsteemide Instituut (2007) järgi on see laht sügavale maismaasse lõikuv klindilaht. Laht tekkis 18-19. sajandil, kui saared mandriga ühinesid. Lisaks on lahte mõjutanud veel inimtegevus, setete kuhjumine ja neotektooniline maakerge. Paljassaare poolsaare rannikul sügavneb laht kiiremini kui Kopli poolsaare pool. Sealne lokaalne hoovuste süsteem on seotud kogu lahe tsirkulatsiooniga. Lõuna- ja põhjatuultega tekib kaadamispiirkonnas suletud veeringlus, kus hoovuse kiirused jäävad 6 m/s tuule korral alla 10 cm/s (vt joonis 8). (Tikerpuu *et al.* 2011; Sipelgas *et al.* 2006)

Kirde-, ida- ja kagutuulte hoovused on suunatud üldiselt läände. Seal võib hoovuse kiirus olla 20 cm/s tuule tugevusega 6 m/s. Vastupidiselt eelmistele ilmakaartele on edela-, lääne- ja loodetuulte hoovused suunatud itta. Läänekaarte tuultest põhjustatud tugev lainetus Paljassaare lahte ei jõua, kuid põhjakaarte tuultest tekkinud lainetus jõuab lahte. Kuna lahe siseosa on madal, siis ulatab lainetuse mõju põhjani ning seetõttu toimub setete kulumine. Lahe lääne- ja lõunarannikul on madala rannanõlva tõttu lained oma energia juba rannast kaugemal kaotanud. See eest lahe idarannikul esineb lainetuse tekitatud madal murrutusastang. (Tikerpuu *et al.* 2011; Sipelgas *et al.* 2006)



Joonis 8. Paljassaare kaadamisala asukoht

### 3.1.2 Kopli laht

Kopli laht on osa Tallinna ja Soome lahes asudes Kopli poolsaare ja Kakumäe poolsaare vahel.

Ranna lähedal voolab vesi allatuult, kuid sügavamas keskosas voolab vastupidisel vastutuult. Lääneosas on hoovused lääne- ja põhjatuulte korral suunatud lahe pära suunas, kuid lõuna- ja idatuulte korral võib väiksem hoovus suunduda lahe suudme poole. Lahte suunduvad hoovused kannavad setteid lahe pärasse, sest meretuuled on tugevamad kui maatuuled. (OÜ CORSON 2007)

Loode tuule põhjustatud lainetuse tagajärjel tekkiv hoovus liigub 0,36-0,48 m/s Kakumäe sadamast Kopli lahe pära suunas ning pöördub sealt Kopli poolsaare rannavööndit pidi tagasi põhja suunda. Kakumäe sadamat varjab lainetuse mõju eest Kakumäe poolsaare tipp, kus asub ka hoovuse pööristsone piirkond. Sadama kai otsa piirkonnas võib loode tuule tõttu olla hoovuse kiiruseks 0,36 m/s. Põhja tuul tekitab 0,18-0,24 m/s kiirusega hoovus päripäeva liikuva tsirkulatsiooni. Sadamast põhja pool hoovuse kiirust, mis võib ulatuda 0,8 m/s, mõjutab Kakumäe rannajoone kuju ja vee liikumist takistavad kaid. Kirde tuulega tekib mitme keskpunkti, erineva läbimõõdu ja kiirusega pöörlevat hoovuste tsirkulatsiooni välja. Kakumäe sadama piirkonnas on hoovuste kiirused vahemikus 0,2-0,06 m/s. (OÜ CORSON 2007)

### 3.1.3 Kakumäe laht

Kakumäe laht, mis on loode kagu suunalise teljega, on osa Läänemeres ja Soome lahest ning asub suuremalt jaolt Tallinna territooriumil, idakallas jääb aga Harku valda. Lahe suudme laius on umbes 6,3 km, pindala 13,4 km<sup>2</sup> ja maksimaalne sügavus 28,5 m. Kuna lahe suudmes on suurem sügavus, on lahe veevahetus hea. (Terviseamet 2011) Tilgu sadama arengukavas (*s.a.*) on välja toodud, et hoovused on suunatud piki randa ning kiirused sõltuvad lokaalse tuulerežiimi muutlikkuse mõjust vahemikus 5-30 cm/s. Suurimad hoovused on Kakumäe nina juures, kus kiirus võib olla kuni 50 cm/s, kuid väiksemate hoovuse ja tuule kiirustel on suund ebastabiilne. (Terviseamet 2011, viidatud Tilgu sadama arengukava *s.a. j.*)

### 3.1.4 Tallinna lahe põhja- ja pinnahoovuste liikumiste iseloomustus

Tallinna lahe hoovuseid mõjutavad tuuled ja Soome lahe tsirkulatsioon. Raudsepa jt (1995) järgi on tuule mõjul ülemises veekihi hoovus pööratud tuule suunast 45° paremale ning hoovused on seal kiiremad kuid sügavamates kihtides. Hoovuse kiirus jääb alla 10 cm/s, kui tuule kiirus on väiksem kui 10 m/s., kuid tugevama tuule korral on hoovuse kiirused olulisemalt suuremad. (Sipelgas *et al.* 2006, viidatud Raudsepa jt 1995 j.) Hoovuse kiirus sügavamas kihis ei ületa 5 cm/s, kui on tuul alla 10 m/s. **Suviti on veemassi vertikaalse kihistumise tõttu hoovuse struktuur mitmekihiline.** Soome lahe tsirkulatsiooni tõttu toimub ülemises veekihi päripäeva voolamine läbi Tallinna lahe, kuid sügavamates kihtides on voolamine vastupidine. Seega ülemise veekihi voolamise järgi toimub Tallinna lahte sissevool Naissaare ja Aegna saare vahelt ning väljavool on Naissaare ja mandri vahelt. Lahe lõunaosas on hoovuste kiirused väiksemad ning kirde-, ida-, kagu- ja lõunatuule korral on suunatud hoovused lääne poole. Idasuunalise hoovuse tekitavad edela-, lääne-, loode-, ja põhjatuul. Põhja- ja lõunatuule korral on sadama piirkonnas hoovused nõrgad. (Sipelgas *et al.* 2006)

TTÜ Meresüsteemide Instituudi 2016. aasta mereuuringus (Väli *et al.* 2016) uuriti ka hoovusvälja Tallinna lahes tugevate tuulesündmuste korral. See tähendab, et vaadeldi tuuli, mille kiirus on 15m/s ja vaadeldi nelja tuulesuunda – põhi, lõuna, ida, lää. Uuringutulemused näitasid erinevate tuulesuundade korral ületavad pinnalähedase hoovuse kiirused 50 cm/s ning ühtivad tuulesuunaga (vt lisa 1). Põhjalähedaste hoovuste kiirused on Tallinna lahes väiksemad kui pinnalähedase hoovusel (vt lisa 2). Suurim kiirus ületab väärtust 25 cm/s. Põhja- ja läänetuule korral on nii pinnalähedaste kui ka põhjalähedaste hoovuste korral suurema kiiruseväärtusega jugahoovused mööda Tallinna lahe idarannikut. (Väli *et al.* 2016)

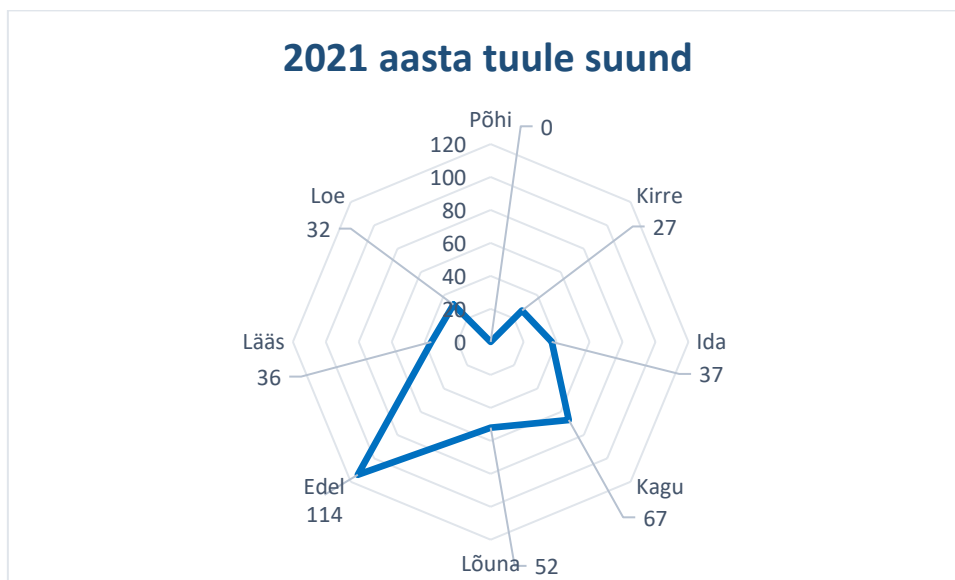
## 3.2 Tuulte iseloomustus Tallinna lahel

Paljassaare ja Äksi pinnasepuisteala ning Tallinna laht on üks tervik tuulerežiimikirjelduses, sünoptiline meteoroloogiline mastaabi suurus on mõni sada kilomeetrit kattes mõjuala täielikult. Soomere (2005) järgi on Soome lahe tuulte režiim anisotroopne. (Sipelgas *et al.* 2006, viidatud Soomere 2005 j.) Soome lahes puhuvad

sagedamini edela tuuled. Tallinna laht on ida tuulte eest varjatud. Kagu tuuled on nõrgemad, kuid loode tuuled on tugevamad, mis võivad lahel tekitada kõrgeid laineid. Soomere (2005) järgi on tormilise loode tuule puhul võib ületada lainekõrgus lahe keskosas 2 m ja võib ka ületada 4 m. (Sipelgas *et al.* 2006, viidatud Soomere 2005 j.) Lisad loodetuulele võivad ka olulisi laineid tekitada läänetuuled. Tallinna lahe lainerežiim on mahedam, kui Soome lahe avaosas. Oluline lainekõrgus ületab 0,5-0,75 m 10% ja 1,0-1,5 m 1% tõenäosusega. Tuulisel sügisel ja talvel on keskmine oluline lainekõrgus 50% kõrgem. Tuuled, mis jäävad alla 5 m/s ei ületa oluline lainekõrgus 20-25 cm ja laine periood on 1-2 s. 6-7 m/s tuulte puhul kasvab oluline lainekõrgus 50-60 cm ja laineperiood on 2-3 s. 8-10 m/s tuulte korral on lainekõrgus 70-90 cm ja laineperiood 2,5-5 s. (Sipelgas *et al.* 2006)

### 3.2.1 Aasta 2021 keskmine tuule suund päevas

Keskonnaagentuuri andemetel 2021. aastal puhusid tuuled valdavalt edelast, lõunast ja kagust. Kõige rohkem puhus tuul edelast.



Joonis 9. Aasta 2021 keskmine tuule suund päevas

### 3.2.2 Keskmise tuule suund suplusperioodil

Joonisel 10 on välja toodud tuule suund 2021. aasta suplusperioodil. Graafik on koostatud Keskkonnaagentuuri andmetel.



Joonis 10. Aasta 2021 keskmine tuule suund päevas suplusperioodil

### 3.3 Tahkete ainete migratsioonist vee keskkonnas

Vesi lahustab erinevaid aineid. Keemiliselt puhast vett looduses ei esine. Merevesi kui lahus on ioniseeritud, mis sisaldab suurt hulka osakesi. Lahustunud osakeste suurused on mitmekesised ning seetõttu võib merevesi vahel käituda molekulaarse või kristalloidse lahusena. Merevees on lahustunud enamus perioodilisuse tabeli keemilised elemendid. Madala kontsentratsiooniga elemente võib leida mereorganismidest, mis bioakumuleerivad elemente mereveest. Merevees lahustuvad ka mõned gaasid: hapnik, lämmastik, argoon, süsihappegaas, vesiniksulfiid ning osaliselt (ookeanilist ja mandrilist) orgaanilist ainet. (Вода 2021)

Merevee keemiline koostis on jagatud viide rühma (Вода 2021):

1. ioonid,
2. lahustunud gaasid,

3. biogeensed elemendid,
4. mikroelementide rühm kontsentratsiooniga alla  $1 \times 10^{-6}$ ,
5. orgaanilised ained.

### **3.3.1 Setete transpordist**

Setete transpordi tegurid on setteosakeste suurus, setete kohesioon ja tihedus ning vee liikumise kiirus ja suund. Setted paneb liikuma lained ja hoovused. Laine puhul on vee liikumine pulseeriv, transport on piki randa või risti rannajoonega ning põhjalähedane transport on kombineeritud heljumi (re)suspensiooniga. Hoovuste puhul on vee liikumise suund ja kiirus püsivad, heljumi transport on kogu veesambas ja on peamiselt piki samasügavusjooni. Transpordi viise on kaks - põhjalähedane ja heljumi. Põhjalähedases transpordis liiguvad „libisedes“, „veeredes“, „hüpeldes“. Heljumi transpordil liiguvad setteosakesed koos veemassiga. (Soomere 2010)



### 3.4 Termokliinist Kopli lahes

2023. aasta veebruaris teostati mõõtmisi (käsikirjalised andmed) Stroomi ranna lähedal Kopli lahes. Kokku mõõdeti seitsmes erinevas punktis (vt joonis 11). Mõõtmiste asukohad on kaardil tähistatud punase punktiga. Eesmärgiks oli teada saada ülemise ja alumise kihtide veetemperatuure ning nende erinevusi.



Joonis 11. Mõõtmispunktid Kopli lahes

Erinevate veekihtide temperatuurid on toodud joonisel 12.

POINT 1	59.26.970 N		Sensor 1 SN-998836		
	24. 40.297 E				
Measure Date	SOUNDER DEPTH	Air Temp. C'	Depth -0.5m Temp.	Depth 8 m Temp.	Top and bottom layer difference
16/02/2023	8,5	1,5	0,99	0,96	0,03
POINT 2	59.26.942 N		Sensor 1 SN-998836		
	24.39.583 E				
Measure Date	SOUNDER DEPTH	Air Temp. C'	Depth -0.5m Temp.	Depth 10.2 m Temp.	Top and bottom layer difference

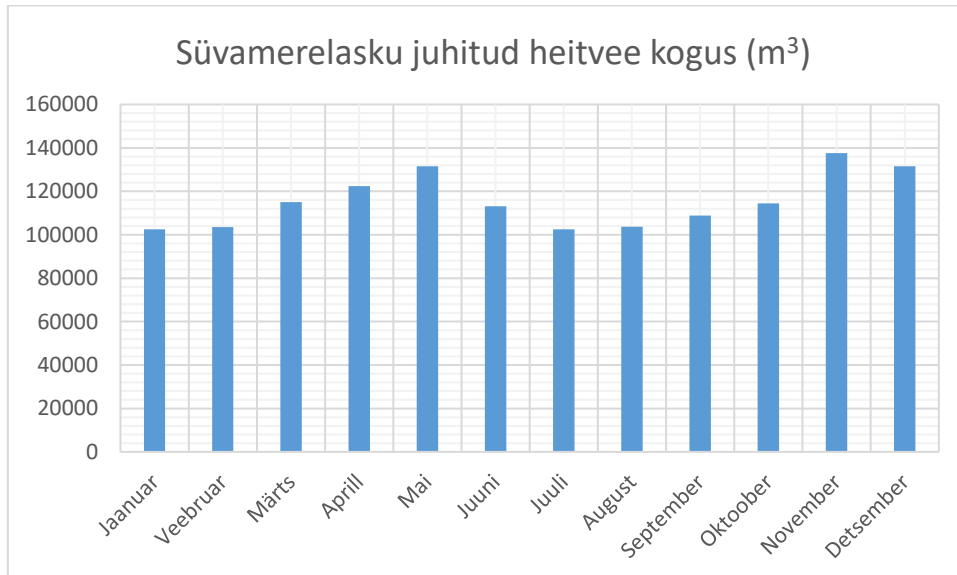
16/02/2023	10,7	1,5	0,97	0,94	0,03
POINT 3	59.26.707 N		Sensor 1 SN-998836		
	24.38.852 E				
Measure Date	SOUNDER DEPTH	Air Temp. C'	Depth -0.5m Temp.	Depth 14.5 m Temp.	Top and bottom layer difference
16/02/2023	15	1,5	0,86	0,95	0,09
POINT 4	59.27.092 N		Sensor 1 SN-998836		
	24.37.987 E				
Measure Date	SOUNDER DEPTH	Air Temp. C'	Depth -0.5m Temp.	Depth 21.5 m Temp.	Top and bottom layer difference
16/02/2023	22	1,5	1	0,99	0,01
POINT 5	59.27.725 N		Sensor 1 SN-998836		
	24.37.878 E				
Measure Date	SOUNDER DEPTH	Air Temp. C'	Depth -0.5m Temp.	Depth 28.5 m Temp.	Top and bottom layer difference
16/02/2023	29	1,5	1	1,02	0,02
POINT 6	59.27.147 N		Sensor 1 SN-998836		
	24.38.885 E				
Measure Date	SOUNDER DEPTH	Air Temp. C'	Depth -0.5m Temp.	Depth 27 m Temp.	Top and bottom layer difference
16/02/2023	27	1,5	0,92	0,95	0,03
POINT 7	59.26.966 N		Sensor 1 SN-998836		
	24.39.310 E				
Measure Date	SOUNDER DEPTH	Air Temp. C'	Depth -0.5m Temp.	Depth 12.5 m Temp.	Top and bottom layer difference
16/02/2023	13	1,5	0,96	0,95	0,01

Joonis 12. Kopli lahe ülemise ja alumise kihvahelise veetemperatuuri mõõtmiste tulemused

Tulemuste analüüsil on näha, et temperatuuride erinevus ülemise ja alumise veekihi vahel on väike. Kuna kihtide veetemperatuur ei muutu märkimisväärselt, seega antud piirkonnas puudub antud momendil termokliin. Termokliini väljakujunemiseks on vaja suuremat temperatuuride erinevusi veekihtide vahel.

## 4. Uurimistulemuste analüüs

Aastal 2021 juhiti Tallinna lahte igapäevaselt keskmiselt üle 100 000 m<sup>3</sup> heitvett. Heitvees oli määratud biokeemiline hapnikutarve, üld-lämmastik ja üld-fosforit.



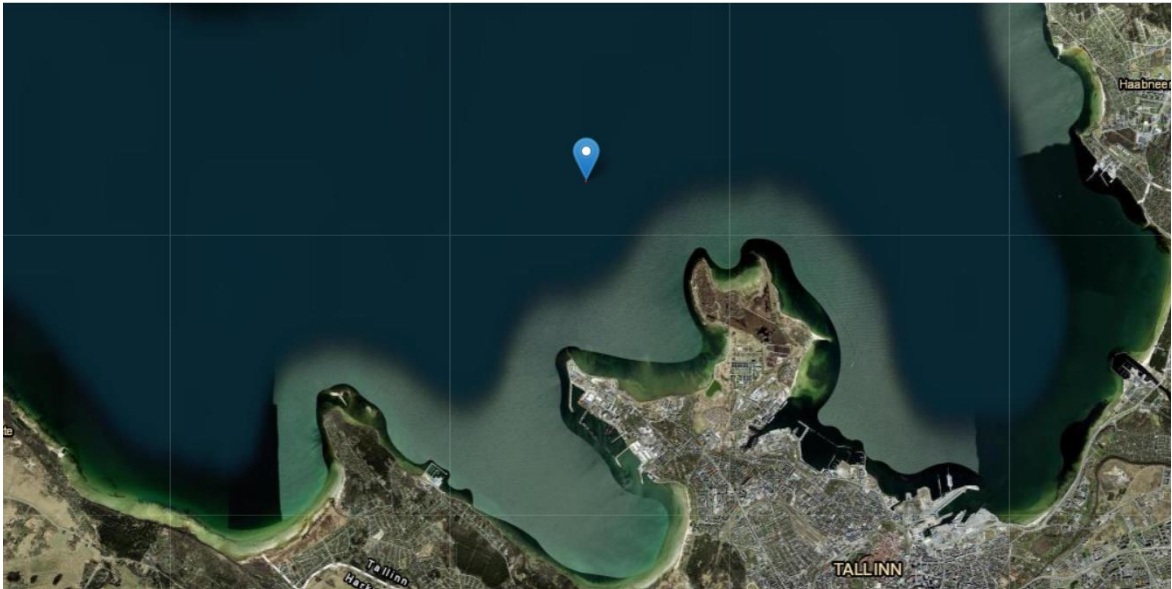
Joonis 13. Aasta 2021 süvamereelasku juhitud heitvee kogus kuude lõikes.

Joonisel 13 on näha kui suures koguses heitvett juhatakse merre. Kõige rohkem heitvett merre juhiti mai kuus. Keskmiselt ööpäevas 131 489 m<sup>3</sup> heitvett. Kõige vähem jaanuaris, kui igapäevaselt lasti keskmiselt merre 102 440 m<sup>3</sup> heitvett.

Järgnevas alapeatükkides toob autor välja pinnavee ja põhja vahelised võrdlused. Võrdluste tegemiseks on välja valitud kolm asukohta- süvamere väljalask, avameri ja Stroomi rand. Graafikutel on välja toodud veetemperatuuri muutlikkus ja biokeemilise hapnikutarbimise kontsentratsioon sügavuse muutudes. Biokeemiline hapnikutarve (BHT<sub>7</sub>), mida väljendatakse milligrammides, näitab, kui palju kulub mikroobidel ühe liitri sees oleva orgaanilise aine lagundamiseks seitme päeva jooksul. (Veekogusse või pinnasesse... 1998)

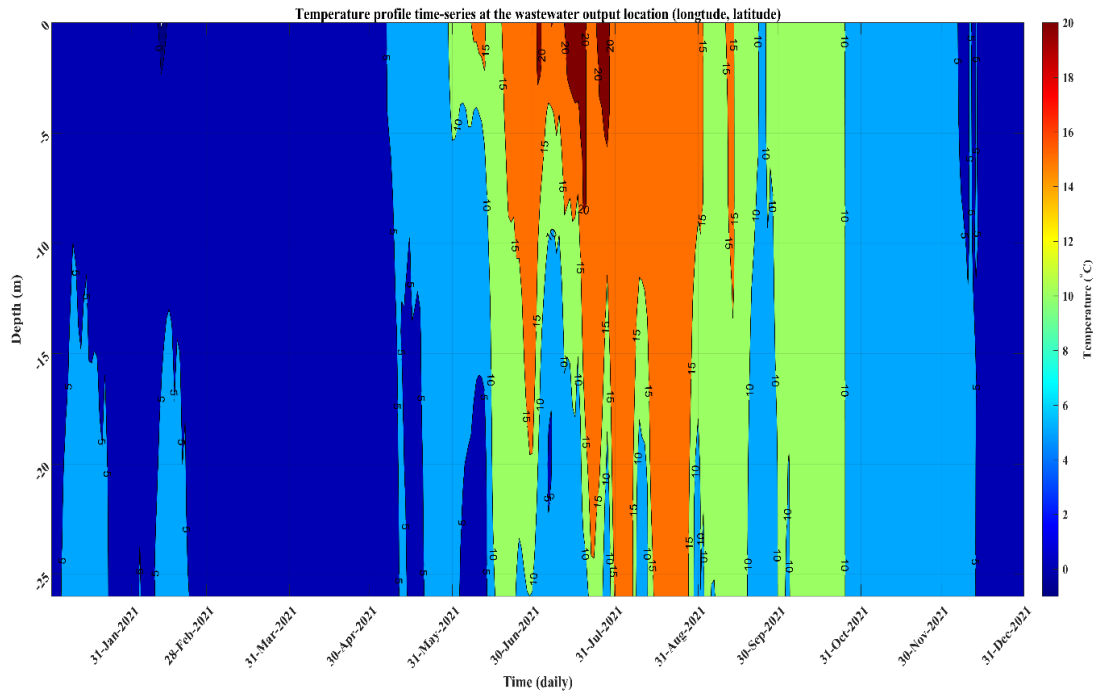
#### 4.1 Merevee kvaliteedist süvamere väljalasu asukohas

Esmalt vaatleb autor biokeemilise hapnikutarbe kontsentratsiooni süvamereväljalasu juures. Joonisel 14 on näidatud sinisega punkt, kus asub süvamere väljalask.



Joonis 14. Tallinna Vesi AS süvamere väljalasu asukoht (asukoht 1).

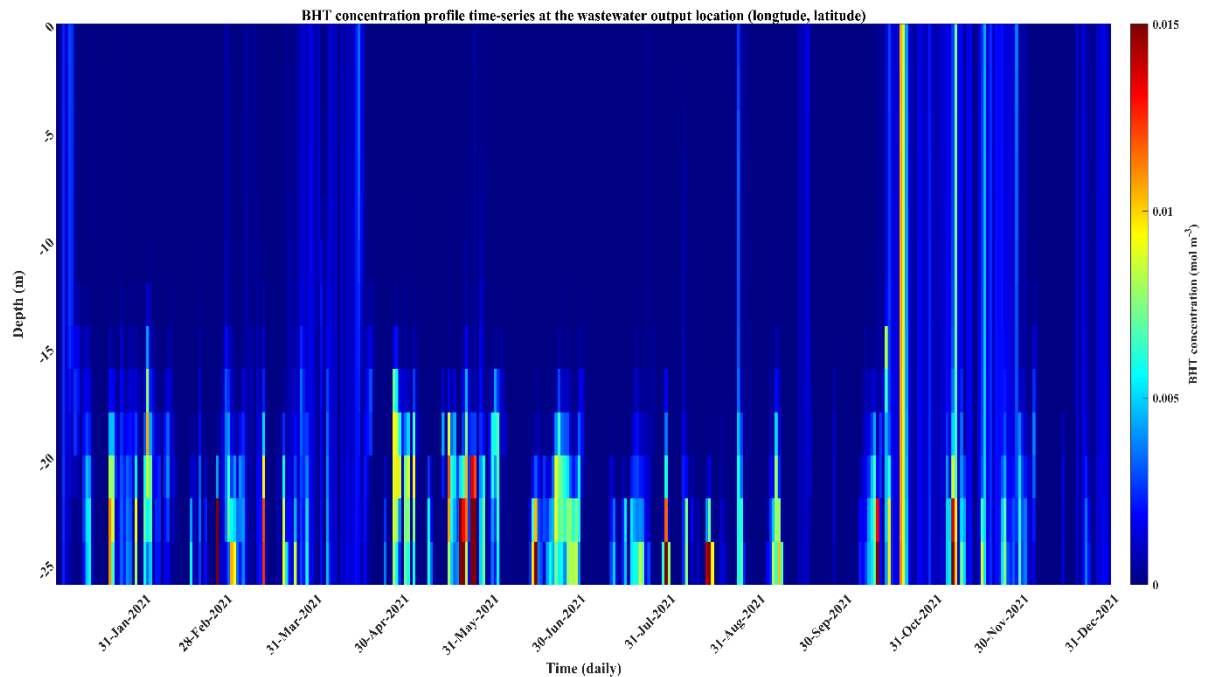
Joonisel 15 on toodud kuude lõikes Tallinna Vesi AS süvamere väljalasu erinevate veekihtide temperatuurid.



Joonis 15. Veetemperatuur Tallinna Vesi AS süvamere väljalasu asukohas (asukoht 1).

Joonisel 15 on välja toodud veetemperatuurid pinnast-põhjani terve 2021 aasta jooksul. Suurimad temperatuurid on suvekuudel kui veetemperatuur pinnakihil jääb 20 °C juurde. Põhjas on temperatuurid 10 °C juures, mis näitab suurt temperatuuri erinevust soojadel aastaegadel (juuni, juuli, august) erinevate veekihtide vahel, millal tekib vaadeldavas piirkonnas termokliini.

Joonisel 16 on BHT<sub>7</sub> 2021. aasta aastaegne jaotus Tallinna Vesi AS süvamere väljalasu asukohas erinevates veekihtides.

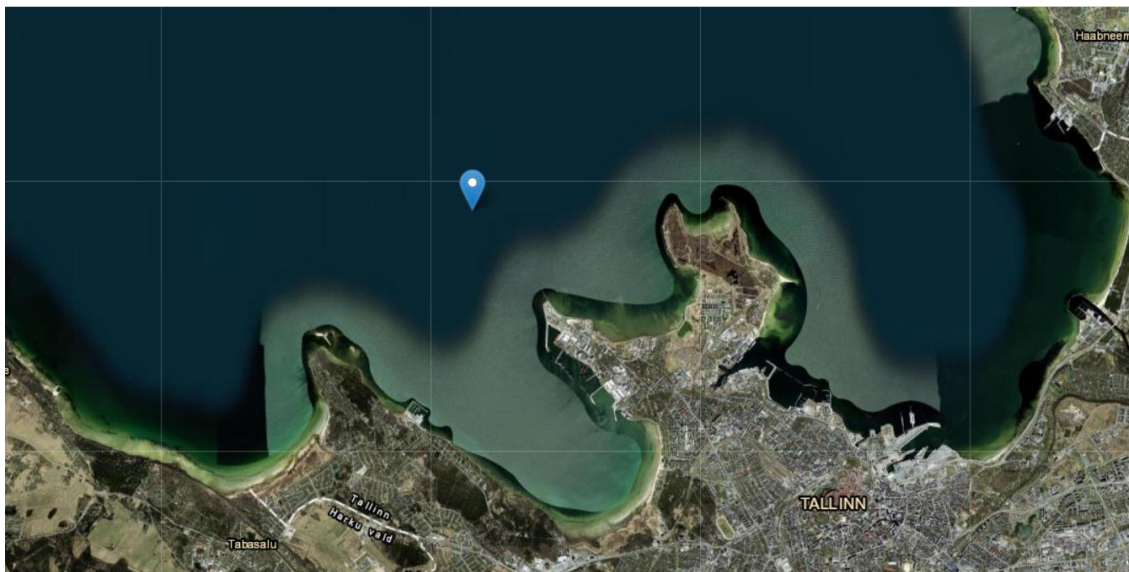


Joonis 16. BHT<sub>7</sub> kontsentratsioonide aastaaegne jaotus erinevates veekihtides Tallinna Vesi AS süvamere väljalasu asukohas (asukoht 1).

Jooniselt 16 on näha, et süvamere väljalasu juures esineb BHT<sub>7</sub> kontsentratsioone, mis on samaväärsed sinna juhitud heitvees oleva BHT<sub>7</sub> kontsentratsioonidega. Kõige suurem kontsentratsiooni väärtus jääb vahemikku 0,012-0,015 mol/m<sup>3</sup>. Keskmine kontsentratsioon jääb vahemikku 0,007-0,01 mol/m<sup>3</sup>. Enamikust aastast jäävad kõrgendatud BHT<sub>7</sub> kontsentratsioonid 15 m sügavusele. Erandkuudeks on sügiskuu oktoober ja november kui on näha, et BHT<sub>7</sub> kontsentratsioonid on jõudnud ka merepinnale (sõ antud mudelit kasutades).

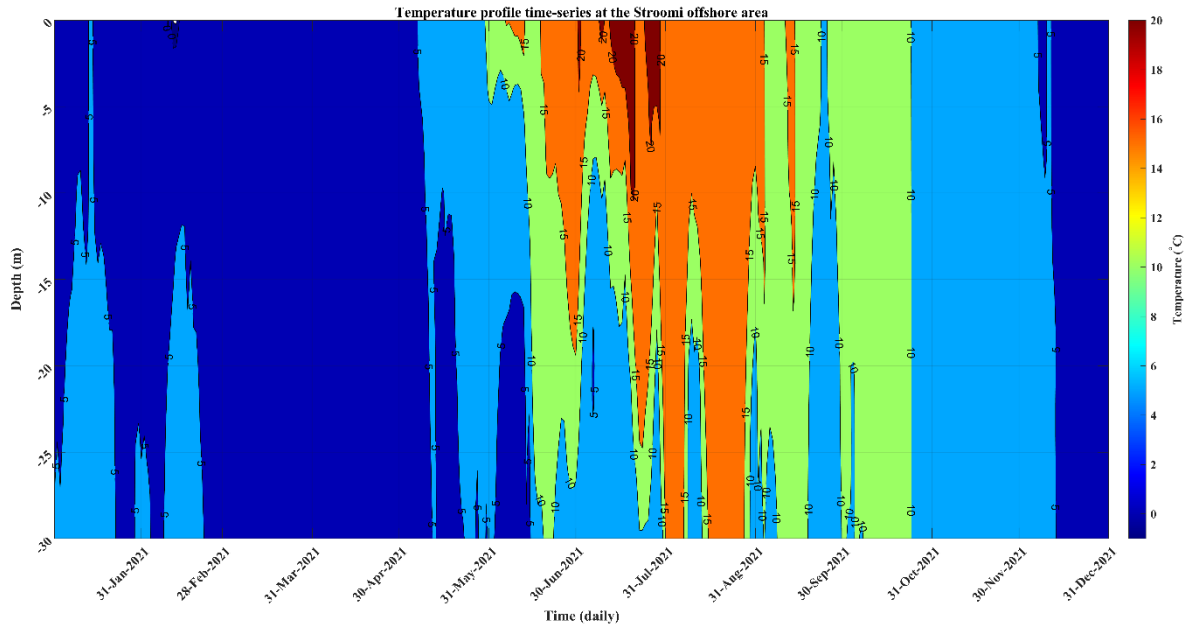
## 4.2 Merevee kvaliteedist süvamere väljalasu avamere poolses osas

Vee kvaliteeti vaadeldi süvamere väljalasu avamere poolses osas. Teiseks asukohaks oli valitud punkt Soome lahes, mis jääb süvamere väljalasust umbes 2 km kaugusele. Asukoht on märgitud sinise punktiga (vt joonis 17).



Joonis 17. Vee kvaliteeti vaatluskoht süvamere väljalasu avamere poolses osas (asukoht 2).

Joonisel 18 on toodud 2021. aasta kuude lõikes erinevate veekihtide temperatuurid süvamere väljalasu avamere poolses osas.

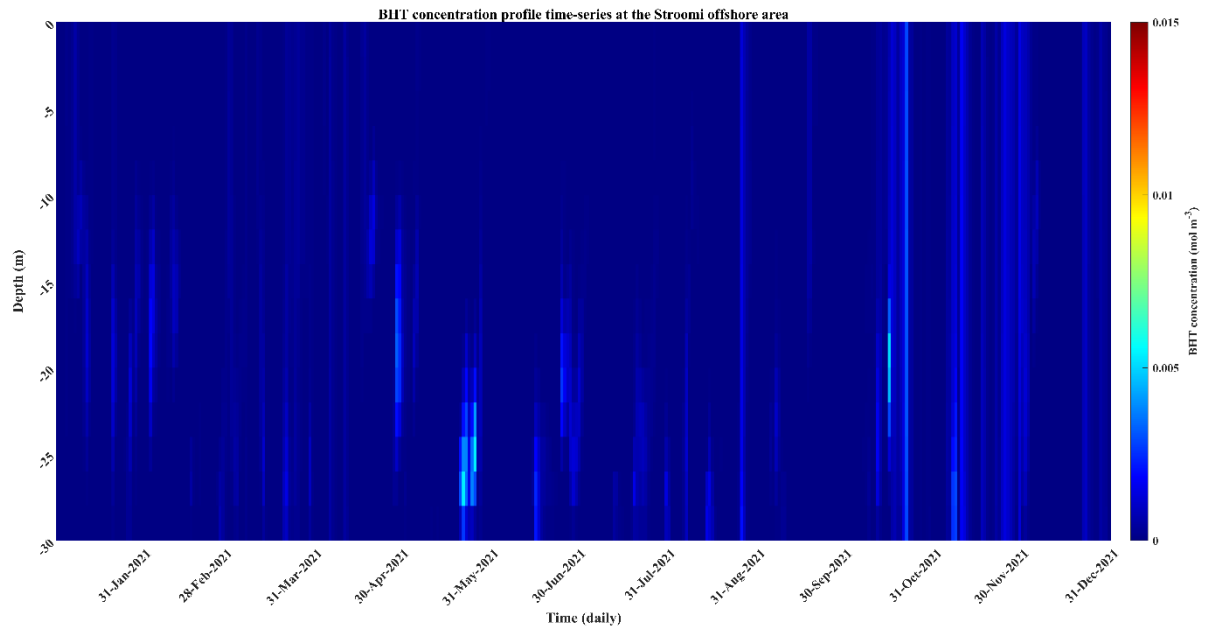


Joonis 18. Veetemperatuurid süvamere väljalasu avamere poolses osas (asukoht 2).

Asukohtade 1 ja 2 vaheline distants ei ole suur, siis jäävad ka veetemperatuuride väärtused samasse vahemikku nagu asukohas 1, kuid termokliin antud mudelarvuuste alusel moodustub mais ja juunis. Teistel kuudel vaadeldavas asukohas termokliini antud sügavustel ei moodustu.

Joonisel 19 on toodud BHT<sub>7</sub> kontsentratsioonide 2021. aasta aastaegne jaotus Tallinna Vesi AS süvamere väljalasu asukoha avamere poolses osas (asukoht 2) erinevates veekihtides.



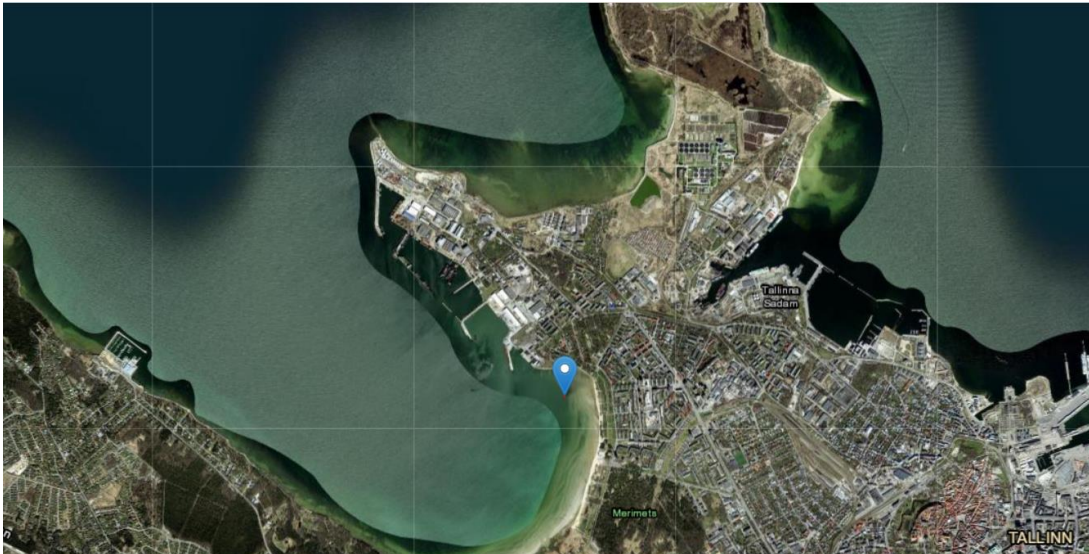


Joonis 19. BHT<sub>7</sub> kontsentratsioonide aastaaegne jaotus erinevates veekihtides Tallinna Vesi AS süvamere väljalasu avamere poolses asukohas (asukoht 2).

Võrreldes asukohaga 1, siis asukohas 2 BHT<sub>7</sub> kontsentratsioonide jaotumist erinevates veekihtides (erinevatel sügavustel) ei esine. Joonisel 19 on näha, et paljud BHT<sub>7</sub> väärtused jäävad vahemikku 0-0,006 mol/m<sup>3</sup>.

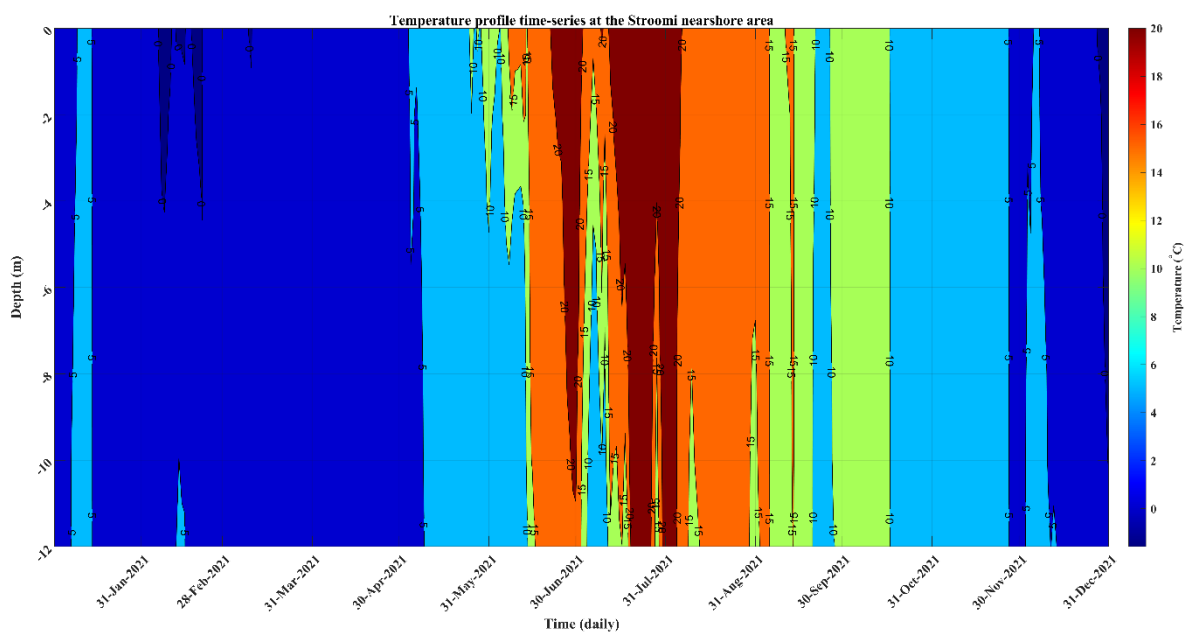
### 4.3 Merevee kvaliteedist Stroomi rannas

Kolmandaks merevee kvaliteedi vaadeldavaks asukohaks on Stroomi rand. Tallinna Vesi AS süvamere väljalasust jääb antud asukoht 3 ca 7 km kaugusele.



Joonis 20. Vee kvaliteeti vaatluskoht Stroomi rannas (asukoht 3).

Joonisel 21 on toodud 2021. aasta kuude lõikes erinevate veekihtide temperatuurid Stroomi ranna vaadeldavas osas (asukoht 3).

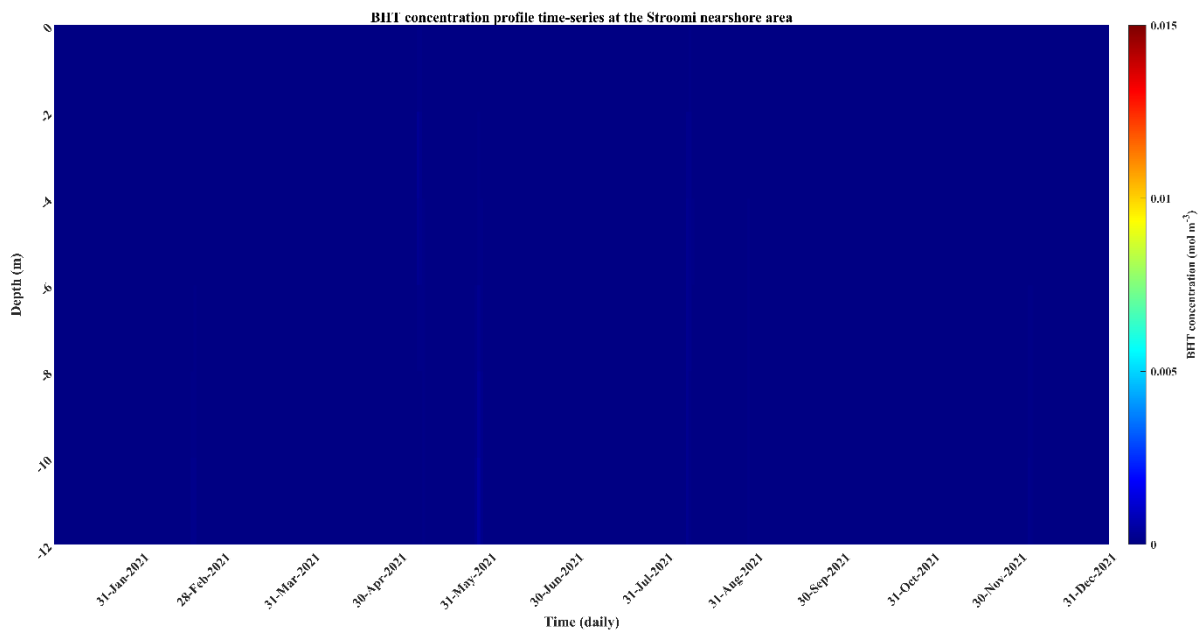


Joonis 21. Veetemperatuurid Stroomi ranna vaadeldavas osas (asukoht 3).

Asukohas 3 on veetemperatuuride väärtused võrdväärsed (enamasti samas vahemikus ehk selget termokliini ei moodustu aasta lõikes). Kui termokliin antud mudelarvuuste alusel

mingil määral moodustub mai ja juuni lõpus, siis teistel kuudel vaadeldavas asukohas termokliini antud sügavustel ei moodustu.

Joonisel 22 on toodud BHT<sub>7</sub> kontsentratsioonide 2021. aasta aastaaegne jaotus Stroomi ranna vaadeldava asukoha erinevates veekihtides (asukoht 3).



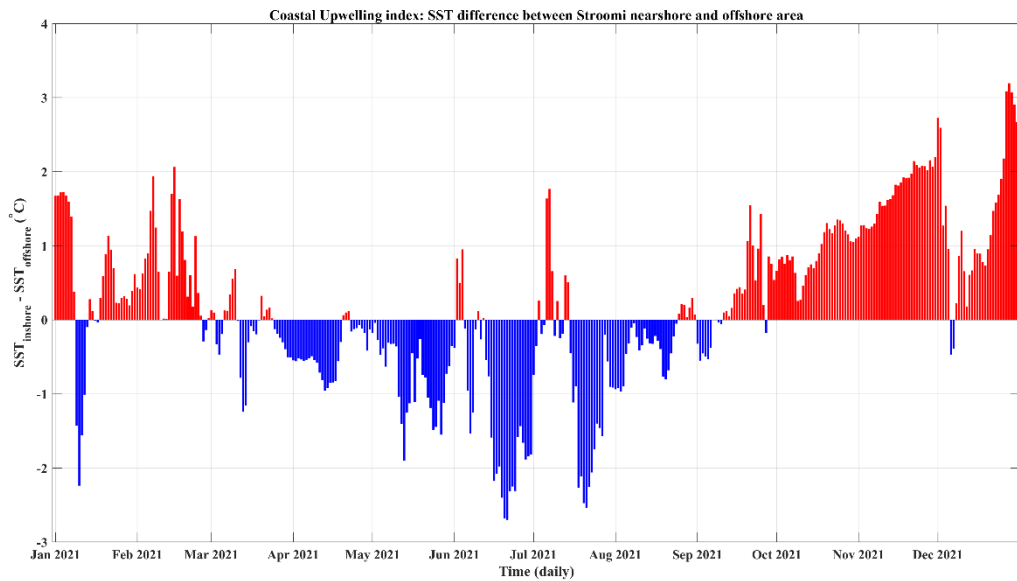
Joonis 22. BHT<sub>7</sub> kontsentratsioonide aastaaegne jaotus erinevates veekihtides Stroomi ranna vaadeldavas asukohas (asukoht 3).

Jooniselt 22 on näha, et BHT<sub>7</sub> kontsentratsioonid on väga madalad. Saab järeldada, et Tallinna Vesi AS süvameresust, mis jääb Stroomi rannast umbes 7 km kaugusele, jõuab Stroomi rannani bioloogiline hapnikutarve vähesel määral.

Suvel asub hooajaline termokliin 15-30 meetri sügavusel kogu Läänemeres, Sügisel liigub ta temperatuuri langedes madalamale. See tähendab, et väljalask on sügavamal kui 15 meetrit, siis liigitab selle termokliini aluseks ja reoained jäävad süvakihti. Samuti on seal piirkonnas ka hoovused suunatud itta. Siiski saavad reoained tõusta pinnakihti kui toimub *upwelling*, mis toob põhjast vee pinnale või suuremate tormidega, mis segab põhja- ja pinnakihti. Samuti ei ole mudelis arvestatud heitvee temperatuuriga. Sisenev heitvesi on umbes 10°C juures, mis tähendab, et ta on soojem kui ümbritsev keskkond ja heitvesi tõuseb mere/Soome lahe pindmisse kihti.

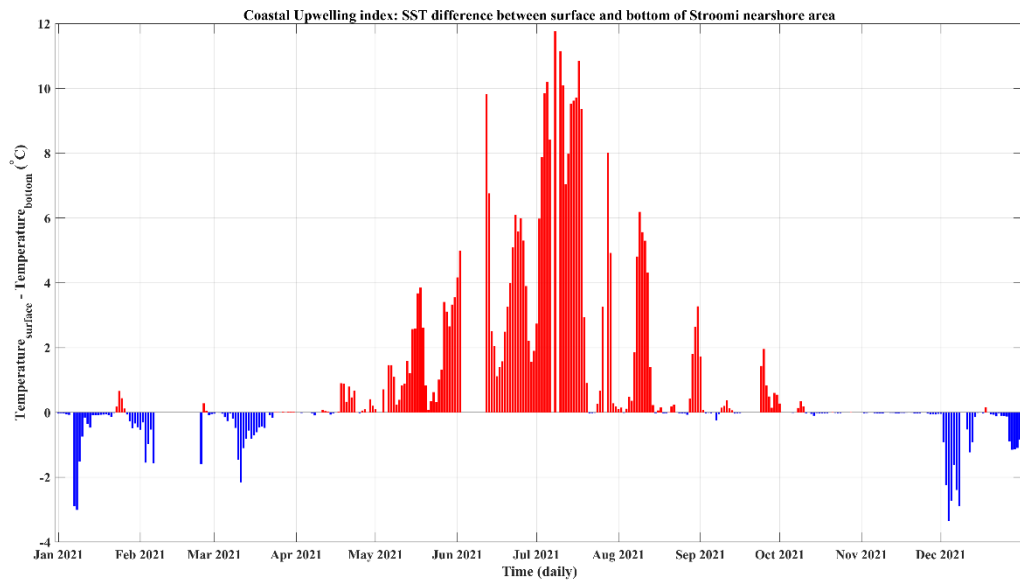
#### 4.4 *Upwelling* 'ust Stroomi rannas

Joonisel 23 on vaadeldud *upwelling* 'ut Stroomi ranniku lähedal ja avamerel (so nende vaheline erinevus). Sinise värviga on tähistatud *upwelling* ja punase värvusega *downwelling*. Joonisel on näha, et suvekuudel toimub *upwelling*, mis toob põhjast külmema vee pinnale Stroomi rannas. Talvel ja sügisel on *downwelling* ehk avamerel on soojem vesi.



Joonis 23. *Upwelling* erinevus rannikul ja avamerel

Joonisel 24 on toodud temperatuuride vahe Stroomi ranniku lähedal ja avamerel.



Joonis 24. Merevee pinnakihi ja põhjakihi temperatuuride erinevused võrrelduna Stroomi rannas ja avamerel

Joonisel 24 on näha põhja- ja pinnavee temperatuuride erinevusi Stroomi rannas ja avamerel. Positiivsed väärtused näitavad, et pinnatemperatuur on suurem kui põhjatemperatuur. Suveajal on oodatav, et päikese kõrge kiirguse tõttu on väärtused positiivsed. Päikesest tulenev kiirgus võib ületada *upwellingust* põhjustatud temperatuuri langetuse. Stroomi rannas suvekuudel suplusperioodil asetseb soojem vesi põhjakihis kui avamerel.

## Kokkuvõte

Käesoleva lõputöö üheks eesmärgiks oli, kuidas toimub heitveest tulenevate reoainete jaotumine Kopli, Paljassaare ja Kakumäe lahes ning Stroomi rannas. Lõputöö teiseks eesmärgiks oli uurida heitvees reoainete jaotumist järsult muutuva temperatuuriga õhukese hüppekihi all „suhteliselt sügavates“ kihistuvates veekogudes Tallinna lahe näitel.

Uuriti ning analüüsiti alljärgnevat probleemi:

1. Millised on pinna- ja põhjahoovuste liikumiste mustrid Tallinna lahes?
2. Kuidas toimub reoainete jaotumine Tallinna lahes?

Pinnalähedase hoovuse kiirused ületavad väärtusi 50 cm/s ja enamasti ühtib tuulesuunaga. Põhjalähedaste hoovuste kiirused Tallinna lahes on väiksemad kui pinnahoovused. Suurim kiirus ületab 25 cm/s. Põhja- ja läänetuulte korral liiguvad põhjalähedased hoovused mööda Tallinna lahe idarannikut.

Süvamere väljalasust tulenevad reoained jäävad suures koguses väljalasu piirkonna põhjakihti. BHT<sub>7</sub> kontsentratsioon jääb vahemikku 0,012-0,015 mol/m<sup>3</sup>. Kopli ja Paljassaare lahe BHT<sub>7</sub> kontsentratsioon jääb vahemikku 0-0,006 mol/m<sup>3</sup>. Antud analüüsi põhjal jõuavad reoained Stroomi randa vähesel määral, mis ei ole märkimisväärne. Süvamere väljalask jääb Stroomi rannast umbes 7 km kaugusele.

Reoained saavad põhjakihist pinnale tõusta tugevate tuulte (*sh* suuremate tormide) korral, kui tugevad tuuled segavad veekihti või toimub merel *upwelling*, mis toob sügavkihist merevee pinnakihti.

Antud lõputööd on võimalik edasi uurida. Jätku uuringuna saaks analüüsida, millist mõju avaldavad heitveest tulenevad reoained mereökosüsteemidele. Samuti võiks modelleerimisel edaspidi arvestada süvamere väljalasust tuleneva heitvee temperatuuriga, sest heitvee temperatuur on kõrgem ümbritsev keskkonna (*so* merevee) temperatuurist ning soojem vesi tõuseb pinnale.

## Kasutatud allikad

**AS Tallinna Vesi.** (s.a.) *Reovee puhastusprotsess.*

<https://tallinnavesi.ee/ettevotte/tegevused/reoveepuhastus/heitvee-puhastusprotsess/>  
(05.02.2023)

**AS Tallinna Vesi.** (2021). *Konsolideeritud majandusaasta ja jätkusuutlikkuse aruanne 31. detsembril 2021 lõppenud majandusaasta kohta.* [https://tallinnavesi.ee/wp-content/uploads/2022/05/TV\\_Annual\\_Report\\_2021\\_EST.pdf](https://tallinnavesi.ee/wp-content/uploads/2022/05/TV_Annual_Report_2021_EST.pdf) (05.02.2023)

**Вода.** (2021) *Раствор морская вода растворенное вещество.* <https://coralreef-aqua.ru/rastvor-morskaya-voda-rastvorennoe-veschestvo/?ysclid=le5dc0he98795662363> (25.01.2023)

**Dutta, T.** (s.a.). *Upwelling and Downwelling.*

[https://www.academia.edu/35360861/UPWELLING and DOWNWELLING](https://www.academia.edu/35360861/UPWELLING_and_DOWNWELLING) (20.02.2023)

**Eerme, K.** (1997). *Sissejuhatus geofüüsikasse.* <https://www.digar.ee/arhiiv/nlib-digar:5166> (13.04.2023)

**Elken, J., Lips, U., Keevallik, S., Lips, I., Raudsepp, U.** (2018). *Füüsikaline okeanograafia. Läänemeri.* Tallinn: TTÜ kirjastus. (lk 53-54; 107)

**Finnish Meteorological Institute.**(2022). *The currents in the Baltic Sea.*

<https://en.ilmatieteenlaitos.fi/seacurrents> (09.04.2023)

**KOTKAS.** (2022). *Keskkonnakaitse luba. Tallinna Reoveepuhastusjaam.*

[https://kotkas.envir.ee/permits/public\\_detail\\_view?represented\\_id=&search=1&permit\\_nr=&owner\\_name=Tallinna%20Vesi%20AS&issue\\_date\\_start=&issue\\_date\\_end=&valid\\_start\\_date\\_start=&valid\\_start\\_date\\_end=&permit\\_status=ISSUED&ehak\\_ac\\_long\\_id=&db\\_ahak\\_label=&object\\_name=&permit\\_id=129424](https://kotkas.envir.ee/permits/public_detail_view?represented_id=&search=1&permit_nr=&owner_name=Tallinna%20Vesi%20AS&issue_date_start=&issue_date_end=&valid_start_date_start=&valid_start_date_end=&permit_status=ISSUED&ehak_ac_long_id=&db_ahak_label=&object_name=&permit_id=129424) (09.02.2023)

**Lutt, J.** (1993). *Oskussõnu. Eesti šelfi geoloogia*. Tallinn: Eesti Geoloogia Selts, Eesti Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituut, Eesti Geoloogiakeskus. ETERA. (lk153-154) <https://etera.ee/zoom/24166/view?page=1&p=separate&search=eesti%20%C5%A1elfi%20geoloogia&tool=search>

**Mägi, R.** (2018, 4. juuni). Mis vahe on reoveel ja heitveel? Teeme mõisted selgeks! *Delfi*. <https://moodnekodu.delfi.ee/artikkel/82536727/mis-vahe-on-reoveel-ja-heitveel-teeme-moisted-selgeks> (06.02.2023)

**National Ocean Service.** (s.a.) *The Ekman Spiral*. [https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial\\_currents/04currents4.html#:~:text=The%20Ekman%20spiral%2C%20named%20after,of%20water%20molecules%20below%20them.](https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_currents/04currents4.html#:~:text=The%20Ekman%20spiral%2C%20named%20after,of%20water%20molecules%20below%20them.) (19.02.2023)

**Nõuded reovee puhastamise ning heit-, sademe-, kaevandus-, karjääri- ja jahutusvee suublasse juhtimise kohta, nõutele vastavuse hindamise meetmed ning saasteainesisalduse piirväärtused.** (2021) RT I, 12.11.2019, 6. <https://www.riigiteataja.ee/akt/122092021002?leiaKehtiv> (17.04.2023 )

**Ocean Motion.** (s.a.) *Wind Driven Surface Currents: Upwelling and Downwelling Background*. <http://oceanmotion.org/html/background/upwelling-and-downwelling.htm> (18.02.2023)

**OÜ Corson.** (2007). *Tallinnas Kakumäe jahisadama ja lähiumbruse detailplaneeringu keskkonnamõju strateegilise hindamise aruanne*. Tallinn. <https://www.tallinn.ee/et/keskkond/kakumae-jahisadama-ja-lahiumbruse-detailplaneeringu-keskkonnamoju-strateegiline-hindamine> (17.01.2023)

**Sipelgas, L., Raudsepp, U., Alari, V., Savinitš, N., Belikova, V.** (2006). *Tallinna Vanasadama süvendustööde keskkonnamõtjude hindamise aruanne*. TTÜ Meresüsteemide Instituut. <https://www.ts.ee/wp->



content/uploads/2020/01/Vanasadama\_s%C3%BCvendamise\_KMH\_aruanne1.kai .pdf  
(30.01.2023)

**Soomere, T.** (2010). *Setete transport: põhimõisted*.  
[https://slideplayer.ee/amp/17953673/?fbclid=IwAR3N9k-ZvQFH6W8JOnXx7xzjDc7dGqklgLMBaEYFdEluXvQk3\\_so-4fzLqA](https://slideplayer.ee/amp/17953673/?fbclid=IwAR3N9k-ZvQFH6W8JOnXx7xzjDc7dGqklgLMBaEYFdEluXvQk3_so-4fzLqA) (17.04.2023)

**Soomere, T.**(2007, august). Vesi meres kerkib ja vajub. *Eesti Loodus*, 8, lk 7.  
[https://www.etera.ee/zoom/40283/view?page=1&p=separate&search=s%C3%BCvavee\\_kerge&hlid=235775644&tool=search&view=0,0,3214,4406](https://www.etera.ee/zoom/40283/view?page=1&p=separate&search=s%C3%BCvavee_kerge&hlid=235775644&tool=search&view=0,0,3214,4406) (02.03.2023)

**Tarkiainen, A.** (2014) *Mere pinnakihi soolsuse muutlikkusest Eesti merealal U/L Salme läbivoolusüsteemi andmetel*. [Bakalaureusetöö, Tallinna Tehnikaülikool].  
TalTech digikogu. <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/d7ce6982-b9ba-4f64-adf0-51329b107bdb> (25.04.2023)

**Taskutark.** (2023). *Keemiline tasakaal ja selle nihkumine*.  
<https://www.taskutark.ee/keemiline-tasakaal-ja-selle-nihkumine/#up> (02.02.2023)

**Terviseamet.** (2011). *Kakumäe ranna suplusvee profiil*. Tallinn.  
<https://www.terviseamet.ee/et/keskkonnatervis/inimesele/suplus-ja-ujulavee-ohutus/suplusvee-profiilid> (23.01.2023)

**Tikerpuu, L., Soomere, T., Pajula, R., Aunapuu, A., Ritsberg, K., Liblik, T., Verš, V., Marjamäki, T., Lesta, M., Rahno, E.** (2011) *Aegna sadama rekonstrueerimise keskkonnamõju hindamine. KMH aruanne*.  
[https://uuringud.tallinn.ee/file\\_download/482](https://uuringud.tallinn.ee/file_download/482) (07.02.2023)

**Tuser, C.** (2021, 27. oktoober) What is Effluent? *WasteWater Digest Magazine*.  
<https://www.wwdmag.com/wastewater-treatment/wastewater-treatment/article/10939353/what-is-effluent> (12.04.2023)

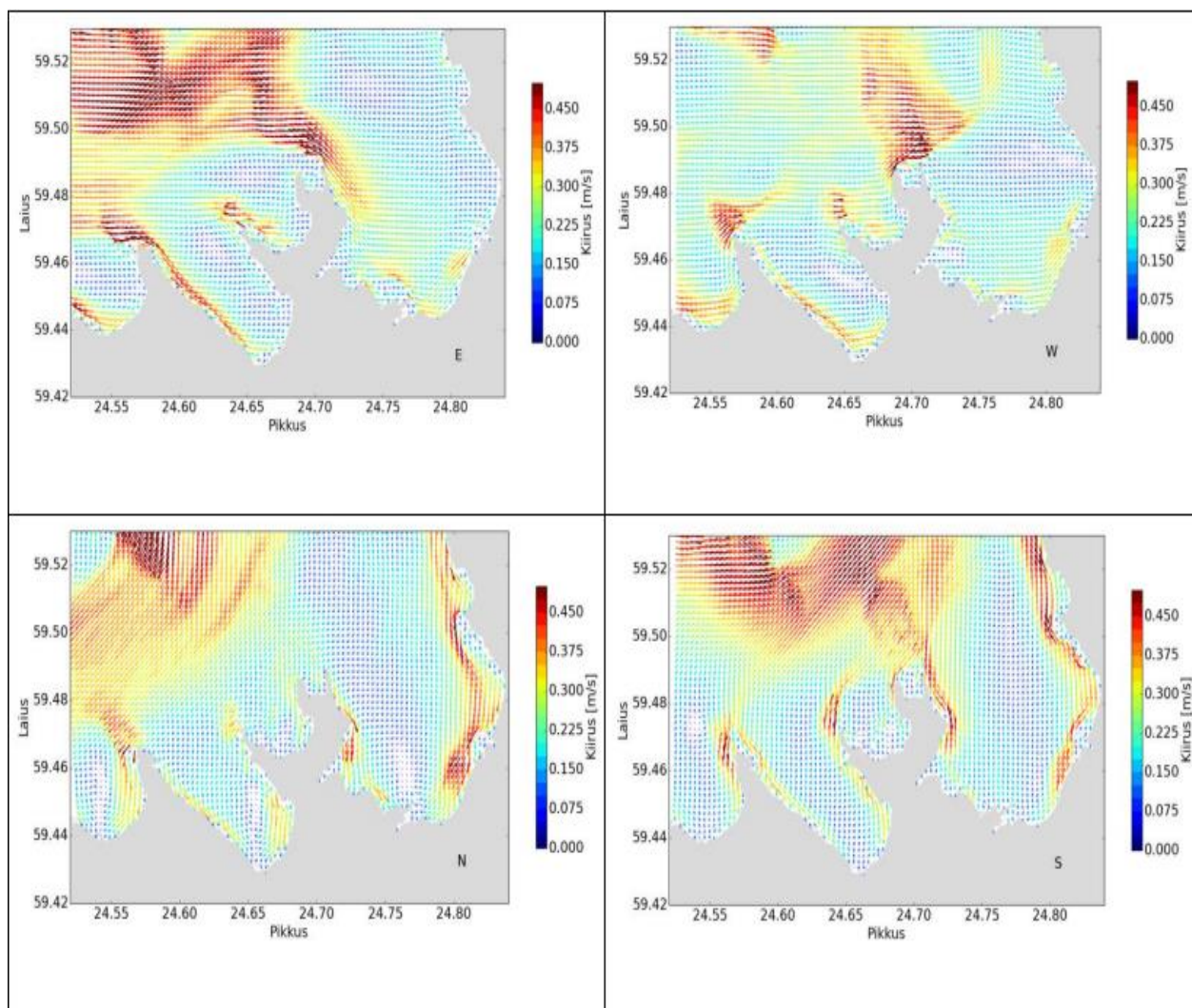
**Veekogusse või pinnasesse juhitava heitvee kohta esitatavate nõuete kinnitamine.**  
(1998). RT I 1998, 10, 118. <https://www.riigiteataja.ee/akt/74622> (17.04.2023)

**VillageWaters.** (s.a.) *Juhendmaterjal hajaasustuse reoveekäitlussüsteemide kavandamiseks, valikuks, ehitamiseks ja hooldamiseks.*  
[https://www.villagewaters.eu/Juhendmaterjal\\_hajaasustuse\\_reoveekaitlussusteemide\\_ka\\_va\\_851](https://www.villagewaters.eu/Juhendmaterjal_hajaasustuse_reoveekaitlussusteemide_ka_va_851) (15.03.2023)

**Väli, G., Liblik, T., Buschmann, F.** (2016). *Mereuuringute läbiviimine kooskõlas Ranna tee I DP keskkonnamõju strateegilise hindamise sisu ja menetlusega.* TTÜ Meresüsteemide Instituut. <https://www.tallinn.ee/et/media/297720> (25.01.2023)

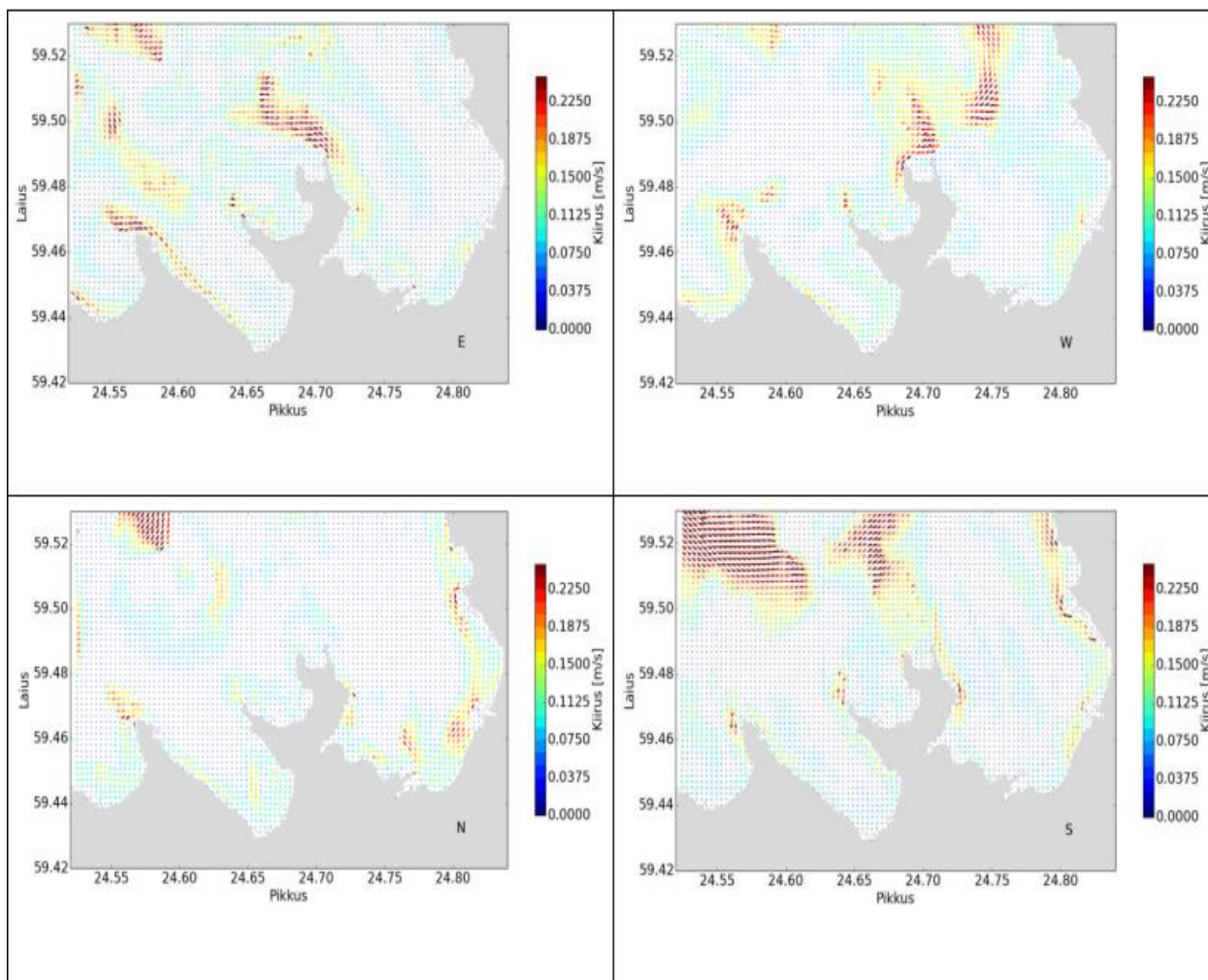
# LISAD

## Lisa 1. Pinnahoovuste režiim Tallinna lahes



Joonis 25. Joonis 4.2. Pinnahoovuste režiim Tallinna lahes erinevate tuulesuundade korral. E – idatuuled, W- läänetuuled, N- põhjatuuled ja S- lõunatuuled (Väli et. al. 2016)

## Lisa 2. Põhjahoovuste režiim Tallinna lahes



Joonis 26. Põhjalähedaste hoovuste režiim Tallinna lahes erinevate tuulesuundade korral. E idatuuled, W-läänetuuled, N-põhjatuled ja S- lõunatuuled ( Väli et. al. 2016)

## Lisa 3. Keskkonnakompleksluba

### Keskkonnakompleksluba

Loa registrinumber		KKL-509326
Loa omaja andmed	Ärinimi / Nimi	AKTSIASELTS TALLINNA VESI
	Registrikood / Isikukood	10257326
Tegevuskoha andmed	Nimetus	Tallinna Reoveepuhastusjaam
	Aadress	Paljassaare põik 14, Põhja-Tallinna linnaosa, Tallinn, Harju maakond
	Katastritunnus(ed)	78408:809:0021
	Territoriaalkood EHAK	0614
	Käitise territoorium	<a href="#">Ruumikuju: 1 lahustükk. Puudutatud katastriüksus: Paljassaare põik 14 (78408:809:0021).</a>
Tegevusvaldkond	Loaga reguleeritavad tegevused	Tööstusheide ehk kompleksluba; Vee erikasutus; Saasteainete viimine paiksest heiteallikast välisõhku; Jäätmete käitlemine;
Loa andja andmed	Asutuse nimi	Keskkonnaamet
	Registrikood	70008658
	Aadress	Roheline 64, 80010 Pärnu
Loa kehtivuse periood	Loa versiooni kehtima hakkamise kuupäev	01.03.2022
	Lõppemise kuupäev	

Joonis 27. Tallinna Reoveepuhastusjaama keskkonnaluba (Kotkas 2022)

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Kristo Enn:

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Heitvee juhtimisest kihistunud veekogudesse Tallinna lahe näitel“, mille juhendaja on Arvo Käär:

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

06.06.2023

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.