

TALLINNA PRANTSUSE LÜTSEUM

EMMA ANNI KOPPEL

ORGAANILISE AINE JA TOITAINETE SISALDUSE MUUTLIKKUS SOOME LAHE PÕHJASETETES JA SELLE PÕHJUSED

JUHENDAJAD LEA KOPPEL, TIJU ALLIKSAAR JA MERLIN LIIV

SISSEJUHATUS

Minu uurimistöö kirjeldab Soome lahe keskkonnaseisundit setete orgaanilise aine ja toitainete sisalduse põhjal. Oma töös võrdlen saadud tulemusi varem avaldatud andmetega. Uurimistöö põhineb aastatel 2014–2016 tehtud projekti SedGof tulemustel. Selle projekti käigus võeti Soome lahest mitmekümnest punktist põhjasete proove ja nende põhjal uuriti lahe reostustaset ning reostuse võimalikke põhjusi. Uurimistöö praktilises osas analüüsisin TalTechi laboris põhjasetete proove ning tõlgendasin saadud tulemusi.

Uurimistöö soovisin teha loodusteaduste valdkonnas, et saada laboritöö kogemus. Töö praktilise osa tegemine TalTechis andis mulle võimaluse teha koostööd eriala teadlastega, koolis ma seda poleks saanud teha.

Soome laht on üks kõige halvemas seisundis olevaid maailmamere piirkondi. Jääkide hulgaline ladestumine Läänemerre on aset leidnud eelkõige pärast Euroopa kiiret tööstuslikku arengut 19.–20. sajandil. Taimetoitainete – fosfori ja lämmastiku – sissevool Soome lahte on põhjustanud mere eutrofeerumise ehk rikastumise toitainetega. Sellega kaasnev vetikate vohamine toob kaasa hulga probleeme. Soome lahe seisundi hindamiseks on viimastel aastakümnetel korraldatud palju uuringuid. Siinse uurimistöö hüpotees on, et orgaanilise aine ja toitainete sisaldust Soome lahe setetes mõjutab mitu faktorit, sealhulgas settimistingimused ja sette terasuurus. Siinne töö annab ülevaate eutrofeerumisest ja toitainetest, Soome lahe keskkonnaseisundist, uurimistöö metoodikast ning setteuuringute tegemisest.

Töö eesmärk on uurida Soome lahe põhjasetete orgaanilise aine ja toitainete sisalduse varieeruvust eri piirkondades ning selle muutumist ajas, et leida seosed erinevate faktorite vahel, mis muutumist võivad mõjutada. Saadud tulemusi võrreldakse nii Soome lahes kui ka Soome ja Venemaa territoriaalvetes tehtud töödega, samuti andmetega, mis kajastavad lahte sisse kantud toitainete hulka ehk aastate vältel toimunud reostustaseme muutustega. Teema

on väga aktuaalne, sest Soome laht koos Läänemerega on üks reostatumaid merepiirkondi maailmas. Soome lahe reostatuse eest vastutavad kõik kolm laheäärset riiki: Eesti, Venemaa ja Soome. Minu arvates peaksid need riigid rohkem vaeva nägema, et Soome lahte puhtana hoida ning selle tööga loodangi probleemile rohkem tähelepanu tõmmata. Uurimistöö tegemiseks oli vaja eelkõige geograafia, geoloogia ja bioloogia teadmisi. Seda uurimust aitasid teha TalTechi geoloogia instituudi teadlased Tiiu Alliksaar, Merlin Liiv ja Tallinna Prantsuse Lütseumi õpetaja Lea Koppel. Soovin tänada kõiki kolme juhendajat.

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	1
1. TOITAINED JA VEEKOGUDE EUTROFEERUMINE	5
1.1. Veekogude eutrofeerumise põhjustest	5
1.2. Toitained veekogus	6
1.2.1. Liigse fosfori ja lämmastiku põhilised allikad.....	6
1.2.2. Veekogu välis- ja sisekoormus	7
1.3. Veekogude eutrofeerumise tagajärjedest	8
2. LÄÄNEMEREST	10
2.1. Läänemere eripärast	10
2.2. Reostusest Läänemeres	12
2.2.1. Ohtlikest keskkonnamürkidest.....	12
2.2.2. Naftareostusest	13
2.3. Läänemere kaitsest.....	14
2.3.1. Ühine seire ja kaitse	14
2.3.2. Üksikisiku võimalused Läänemerd kaitsta	15
3. SETTED KUI LOODUSLIK ARHIIV JA ORGAANILINE AINE SETETES	16
4. UURIMISOBJEKT JA MATERJAL	18
5. UURIMISMETOODIKA	21
5.1. Orgaanilise aine sisalduse määramine ja katse kirjeldus.....	21
5.2. Teised setete uurimise meetodid.....	24
6. AJALIS-RUUMILISED MUUTUSED SOOME LAHE PÕHJASETETE KOOSTISES JA SELLE PÕHJUSED	27
6.1. Ajalised muutused põhjasetete koostises	27
6.2. Ruumilised muutused põhjasetete koostises.....	32
KOKKUVÕTE	35

RESÜMEE	37
SUMMARY	39
Le résumé.....	41
KASUTATUD ALLIKAD	43
LISA 1. Setteprofiili 15SL071 merest võtmine	46
LISA 2. Praktilise töö päevik ja märkmed	47
LISA 3. Setteprofiil 15SL071	49
LISA 4. Pildid praktilise töö sooritamise	50
LISA 5. Exceli tabelid kogutud andmetest	51

1. TOITAINED JA VEEKOGUDE EUTROFEERUMINE

Toitained on elusorganismide arenguks ja normaalseks elutegevuseks hädavajalikud. Nende olemasolust ja rohkusest sõltub taimestiku ja loomastiku kasv, liigiline koosseis ning esinemissagedus. Kõige olulisemad toitained organismide kasvuks on lämmastik ja fosfor. Kuigi lämmastik ja fosfor on põhilised taimekasvu kontrollivad faktorid, ei ole nende liigne kontsentratsioon samuti hea, sest see võib soodustada veekogude eutrofeerumist ja veekvaliteedi halvenemist (vt joonis 1 ja 2). (Pajanen *et al.*, 2007, lk 87) (WaterChain, *Fosfor ja lämmastik*)



Joonis 1. Eutrofeerunud Läänemeri (Nutrient load ..., 2018). Rohekad osad joonisel on eutrofeerunud alad.

1.1. Veekogude eutrofeerumise põhjustest

Eutrofeerumine ehk eutrofikatsioon on tavaliselt veekogude (harvematel juhtudel maapinna) kiire vananemine, mis on põhjustatud rohketoitelisusest ehk nähtusest, kus veekogu rikastub toitainetega, peamiselt fosfori- ja lämmastikuühenditega. Tavaliselt kasutatakse seda terminit veetaimede ja vetikate kohta, kui nad hakkavad ülemäära vohama, tekitades lagunemisprotsesse, mis toob veekeskkonnas kaasa hapnikupuuduse ja veekvaliteedi halvenemise. Eutrofeerumine võib toimuda nii suurtes kui ka väiksemates, nii mageda kui ka

soolase veega veekogudes, nagu näiteks tiikides, madalaveelistes looduslikes järvedes, tehislises paisjärvedes ja rannikuäärsetes meredes. (Lips *et al.*, 1998, lk 13)

Eutrofeerumine sõltub mitmest tegurist, nagu näiteks kliimatilistest tingimustest, veekogu sügavusest ja inimtegevuse mõjust. Esimesed kaks on olulised veekogude loodusliku eutrofeerumisprotsessi jaoks. Viimane neist teguritest on aga suurendanud selle protsessi kiirust, eriti viimase 50 aasta jooksul. Üheks inimtegevuse mõjul kõige enam eutrofeerunud piirkonnaks Läänemeres peetakse Soome lahte. (Sults, 2003)

Eutrofeerumise põhipõhjus on suur lämmastiku- ja fosforikoormus, mis pärineb eelkõige maismaal asuvatest allikatest ja on põhjustatud inimtegevusest. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 88)

1.2. Toitained veekogus

1.2.1. Liigse fosfori ja lämmastiku põhilised allikad

Kõik lume- ja vihmaveed, mis valglal tekivad, jõuavad lõpuks veekokku ja toovad maismaalt kaasa erinevaid toitaineid. Toitaineid transpordivad merre rannikuäärsed ojad, jõed ja järved. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 88)

Fosfor ja lämmastik satuvad veekokku põlluharimise kaudu, mis on ka suurim fosfori ja lämmastiku allikas. Taimekasvatuses kasutatakse palju väetisi, mis võivad veekogusse sattuda vihmavee ja muu uhtumisega. (Piirimäe, 2006) Põllumajandust ja maakasutust peetaksegi toitainete koormuse tekitamise põhipõhjuseks. Eestis on põllumajandus peamine lämmastikuallikas. Jõgede ja järvede kaudu jõuavad põllumajanduses tekkivad jääkained sademete abil kergelt Soome lahte. (Lips *et al.*, 1998, lk 12; 19) Osa väetise koostisainetest satuvad kohe veekogusse, teised imenduvad mulda, kus nad künni ja vihmahoogude tulemusena imenduvad põhjavette ja jõuavad sealt edasi veekogusse. (Piirimäe, 2006)

Toitained pärinevad veel asulate ja tööstuse heit- ja reoveest. See on peamine fosforiallikas veekogus ning seda probleemi tekitabki heitvee ebapiisav puhastus. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 88) (Lips *et al.*, 1998, lk 12; 19)

Reostusallikate hulka kuuluvad veel lisaks eelmainitule metsandus ning laevadelt ja muudelt sõidukitelt pärinev saaste. (Ruskule *et al.*, 2009, lk 19) (Pajanen *et al.*, 2007, lk 100)

Veekogusse jõuab arvestatav kogus lämmastikku õhu kaudu. Tööstuses väljapaisatud gaasid jõuavad atmosfääri ning võivad vihmaveega maha sadada veekogusse või mulda, kust need

omakorda uhutakse merre. Samas seovad õhulämmastikku ka sinivetikad, kelle vahendusel see toitaine veekokku jõuab. (Piirimäe, 2006)

1.2.2. Veekogu välis- ja sisekoormus

Veekogu rikastumine toitainetega on põhjustatud nii välis- kui ka sisekoormusest. Veekogu toitainete väliskoormus tuleb teda ümbritsevalt valgalt ja sinna alla käivad kõik peamised liigse lämmastiku ja fosfori allikad. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 87; 88)

Jõgede kaudu jõuab merre umbes 75% lämmastikust ja 95% fosforist ning poole sellest annab põllumajandus. (Ruskule *et al.*, 2009, lk 19) Soome lahe lämmastikukoormus on umbes 140 000 tonni aastas. Fosforikoormus on lahes keskmiselt 8000 tonni aastas. Soome lahe üldist toitainete koormust loetakse kolm korda suuremaks kui see on Läänemeres keskmiselt. (Lips *et al.*, 1998, lk 7; 19) Lahe rannikul paiknevatest linnadest ja asulatest pärineb 40% fosfori ja 20% lämmastiku kogukoormusest. Ligikaudu 10% toitainete kogukoormusest tuleb põllumajandusest. (Piirimäe, 2006) (Lips *et al.*, 1998, lk 7) Suurimaks Soome lahe saastajaks peetakse Peterburi, mille reoveed endiselt Läänemerre jõuavad. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 100) Seal on probleeme heitvee ebapiisava puhastuse ja põllumajanduse jääkainete sattumisega veekogusse. Samuti on olnud probleemiks Eesti põhjarannikul olevad asulad, mille heitvesi pole piisavalt puhastatud. (Lips *et al.*, 1998, lk 12; 19)

Alates 1990. aastast on punktreostusallikatest pärinevad orgaaniliste ühendite heited vähenenud, sest on hakatud arendama veepuhastusseadmeid, suletud tööstusi ning maksustatud vee tarbimist. (Rakko, 2009) Tänu erinevatele veepuhastusseadmetele on olukord küll paranemas, kuid siiski mitte piisavalt kiiresti ja küllaldaselt, et Soome laht välisest reostusest vabaneks. (Lips *et al.*, 1998, lk 19) Lahe seisundi parandamiseks on kehtestatud nii Eestis kui ka Soomes põllumajanduses kasutatavate lämmastiku ja fosfori sisaldusega väetiste ülempiirid. Kahjuks ei aidanud isegi piiride seadmine täita 2015. aastal seatud eesmärki vähendada toitainete sattumist lahte. (Piirimäe 2006) (Lips *et al.*, 1998, lk 14)

Aastate vältel veekogu põhjasetetesse talletunud toitainete hulka nimetatakse sisekoormuseks. Kui vetikad surevad, siis osa neist uhutakse rannale, teise osa kannab vesi edasi ning lõpuks koguneb vetikamass merepõhja. Kui vetikad on lagunenenud, siis pääsevad nendes olnud toitained taas ringlusesse. Kui taimemass on üleliia paks, vajab see lagundamiseks palju hapnikku. Vee põhjakihtides oleva hapniku tarbimine muudab sealse keskkonna hapnikuvabaks ja soodustab juba setetesse talletunud toitainete vabanemist vette tagasi. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 87; 88)

TalTechi meresüsteemide instituudi teadur Kai Künnis-Beres seletab fosforiringet: „Üldine toitainete sisaldus Läänemeres on liiga kõrge. Kõige problemaatilisem toitaine on võib-olla fosfor. [...] See fosfor, mis on merre sattunud, hakkab seal ringlema elusloodusesse, elusloodusest jälle settesse.“ Berese sõnul võib fosfori lagunemisprotsess ära kasutada kogu põhjas oleva hapniku, mille tagajärjel võib setetes juba talletunud fosfor veemassi tagasi imbuda ning seeläbi soodustada vetikate ja taimede liigkasvu. (Oidermann, 2016)

1996. aastal põhjustas hapnikupuudus vee põhjakihtides settesse talletunud fosfori laialatusliku vabanemise, seda nii avameres kui ka poolsuletud rannikupiirkondades. Tol aastal olid setetest vabanenud fosfori tasemed võrreldavad maismaalt pärineva aastase koormusega. Selle tagajärjel toimus Soome lahes kõigi aegade intensiivseim mürgiste sinivetikate vohamine, millele aitas omakorda kaasa 1997. aasta soe suvi. Seetõttu suri väga suur osa põhjaorganismidest. Et lahe vees ja setetes leidub nii palju fosforit, siis on see oht ka tulevikus. (Lips *et al.*, 1998, lk 14)

Toitainete sissevool mõjutab küllaltki otseselt sisekoormust. See tähendab, et kui väliskoormus suureneb, siis kasvab sellega koos ka sisekoormus. Olukorra parandamine võtab aega aastakümneid või veelgi rohkem. (Terviseamet, *Sinivetikad: kes nad on ja miks nad on ohtlikud*) Sisekoormust saab vähendada vaid väliskoormuse kaudu ning isegi siis, kui viia väliskoormus miinimumini, ei taga see sisekoormuse vähenemist. Protsess on aeglane, olukorra paranemine võib aega võtta aastakümneid ning puuduvad andmed sisekoormuse tegelikust koguhulgast. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 88)

1.3. Veekogude eutrofeerumise tagajärgedest

Eutrofeerumise kõige ulatuslikum tagajärg on vetikate ja veetaimede vohamine (veeõitsengud). Inimtegevusega kaasnev liigtoitelisus loob veeõitsenguteks ehk mikrovetikate hulgi vohamiseks väga soodsa pinnase. Seda juhtub peaaegu kõikides veeökosüsteemides: meredes, jõgedes, järvedes ja ookeanides. Inimene ei näe veeõitsengut põhjustavaid planktilisi mikrovetikaid palja silmaga, kuid suurtes kogustes vähendavad need vee läbipaistvust, mis on meile juba nähtav. (Rakko, 2009)

Vetikate vohamine põhjustab omakorda teise, vähem märgatavama, kuid palju suurema probleemi: hapniku tarbimise suurenemise ja vees lahustunud hapniku puuduse. (Ruskule *et al.*, 2009, lk 18) Kui organismid surevad, hakkab hapnikku kuluma nende lagundamiseks ja kui veekogus on vetikate hulk väga suur, siis kulub nende lagundamiseks palju hapnikku.

Hapnikuvaesus võib kaasa tuua divesiniksulfaadi koguse suurenemise, mis tapab vee-elustiku ja levitab ebameeldivat lõhna. (Piirimäe, 2006, lk 34–37) Hapnikuta veekogu põhjas ei ole peale bakterite teisi eluvorme, sest põhjaorganismid ja -kooslused hukuvad. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 87)

Liigtoitelisuse tõttu ei saa normaalset elutegevust jätkata mitmed bakterid, loomplankton, kalad ja vees elavad imetajad. (Sults, 2003) Muutub veekogude kalastiku liigiline koosseis, kalakooslustes toimunud muutused mõjutavad ka kalatoidulisi linde. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 89) Eutrofeerumise tagajärjel võivad veekogud ja nende kaldad kinni kasvada, see takistab ära- ja juurdevoolu ning halvendab vee pääsu merele. Toitainete ja lagunenenud orgaanilise aine ladestumise tõttu muutub veekogu põhi mudasemaks ja muda kuhjub suurtes kogustes. (Piirimäe, 2006, lk 34–37)

Liigtoitelisusel on mereorganismide elupaikadele negatiivne mõju. See põhjustab niitvetikate vohamist. Tekivad tihedad vetikakimbud ja -vaibad, mis lämmatavad taimi ja takistavad päikesevalguse levikut. Taimede ümber moodustuvad tihedad vetikapuntrad, mis muudavad piirkonna meretaimedele ebasobivaks. (Ruskule *et al.*, 2009, lk 36)



Joonis 2. Eutrofeerunud Soome lahe rannikuala (Finland's future ..., 2019)

2. LÄÄNEMEREST

Läänemeri koos oma lahtedega on üks maailma kõige madalama soolsusega meresid (riimveekogu) (Ruskule *et al.*, 2009, lk 18), mis on Atlandi ookeanist eraldatud kitsaste Taani väinadega. Veekogu on tuntud soomlastele ja lääneeurooplastele kui Idameri (sk Ostsee) ning venelastele kui Balti meri. Rannajoon on üsna liigendatud ning suurimad lahed on Soome ja Botnia laht. Läänemeri on madal, keskmine sügavus 50 meetrit ning sügavaim koht Landsort'i süvik on 459 meetrit. (EE, *Läänemere hüdroloogiline iseloomustus*)

Läänemere pindala on 415 266 km² ja mere valgla on pindalast neli korda suurem ehk 1,7 miljonit km². Tegemist on sisemerega, mille veevahetus on väga aeglane, umbes 2% aastas. Seega vahetub kogu vesi Läänemeres ligikaudu 25 aasta jooksul, mis tähendab, et iga kahjulik inimtegevus jätab veekogule pikaks ajaks sügavad jäljed. (Keskkonnaministeerium, *Merekeskkonnakaitse. Läänemeri*)

Läänemere ääres asub 9 riiki: Eesti, Taani, Soome, Saksamaa, Läti, Leedu, Poola, Rootsi ja Venemaa ning valglal veelgi enam. Kokku elab valglal ligikaudu 85 miljonit inimest, Soome lahe valglal üle 13 miljoni inimese. Rahvastikutihedus nendel aladel on 10–500 inimest/km² kohta. (Keskkonnaministeerium, *Merekeskkonnakaitse. Läänemeri*)

Läänemeri on üsna noor ja muutuv meri, mis sai alguse jääaja järel Balti jääpaisjärvena rohkem kui 11 tuhat aastat tagasi. Praeguses arenguetaapis – Limneamerena – on mere areng kestnud ca 4500 aastat. Jääajajärgsest ajast saati on Läänemeri läbi teinud mitu muutust, vaheldunud on perioodid, mil meri oli ühenduses maailmamerega ja perioodid, mil ühendus puudus. (Ruskule *et al.*, 2009, lk 10)

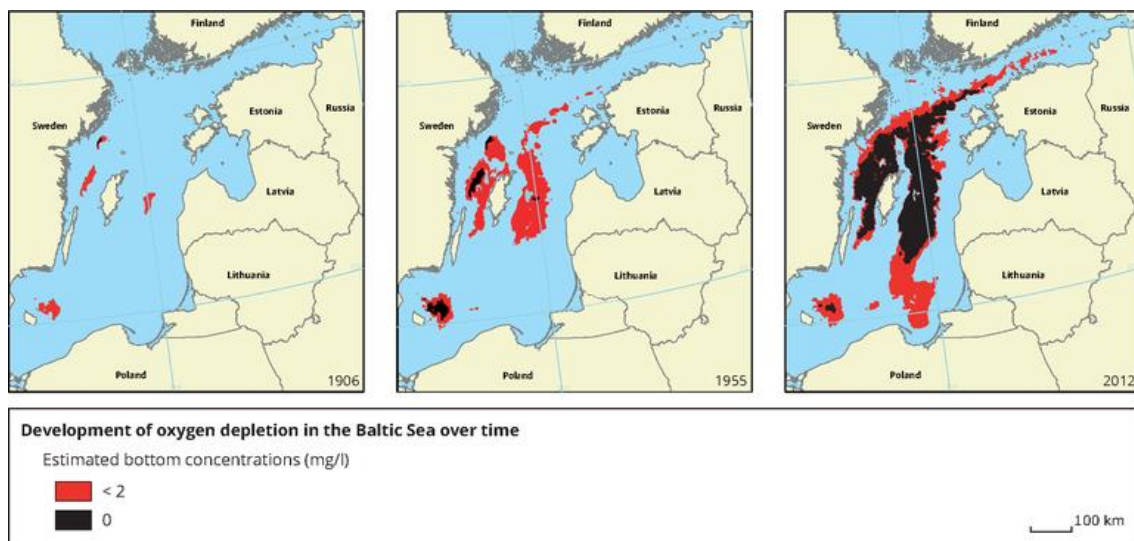
Läänemere keskmine soolsus on 6–8‰. Veekogu on viis korda magedam kui Atlandi ookean (35‰) ning eriti väikese soolsusega on mere põhja- ja idaosa. Vähesese soolsuse üks peamisi põhjuseid on ulatuslik magevee sissevool rohkem kui 250 jõest ning aeglane veevahetus Põhjamerega. (Bojārs *et al.*, 2012, lk 3) (Ruskule *et al.*, 2009, lk 18)

2.1. Läänemere eripärast

Läänemere erilisus seisneb kahes aspektis. Ühelt poolt pole riimvesi sobiv elukeskkond tüüpilistele soolase vee liikidele, teisalt aga loob vee madal soolsus soodsad tingimused mere-

ja mageveeliikide koosluse tekkeks. Sel põhjusel võib leida Läänemeres kõrvuti elamas nii mere- kui ka mageveeliike. (Bojārs *et al.*, 2012, lk 3)

Soolase vee sissevool ja riimvee väljavool toimub pidevalt ja samal ajal. Riimvesi voolab välja pinnakihis, soolane vesi voolab sisse põhjakihis. Nende kahe kihi vahel olevat õhukest kihti, kus soolsus muutub väga järsult, nimetatakse soolsushüppekihtiks ehk halokliiniks. Kihistumine ei lase põhjakihis oleval veel hapnikurikka pinnaveega seguneda, mis loob sügavamal täiesti teistsugused hapnikuvabad tingimused. Seetõttu jäävad toit- ja saasteained põhjakihtidesse lõksu, tekivad nn „surnud tsoonid“, mis võtavad enda alla kuni 100 000 km² Läänemere põhjast. (Ruskule *et al.*, 2009, lk 18) Et Taani väinad on kitsad ja madalad ning veevahetus Atlandi ookeaniga on takistatud, siis satub hapnikurikast vett mere põhjakihti harva, vaid suurte läänetormide ajal. See soodustab hapnikuvabade „surnud tsoonide“ levikut (vt joonis 3). (Lips *et al.*, 1998, lk 18)



Joonis 3. Vähesese hapniku ja hapnikuvabade tsoonide teke sajandi jooksul (Development ..., 2016). Punane värv näitab joonisel < 2 mg/l hapniku sisaldust põhjas ja must näitab täielikku hapnikupuudust (0 mg/l).

Karmide elamistingimuste tõttu, kus enamiku Atlandi ookeani ja Põhjamere liikide jaoks on soolsuse tase liiga madal ja mageveeliikide jaoks liialt kõrge, on õnnestunud vaid teatud liikidel Läänemere keskkonnas ellu jääda. Taolises noores ja muutavas veekogus, mis pole kuigi liigirikas, on igal liigil, kes Läänemeres elab, oma kindel roll ja ülesanne kogu süsteemi struktuuri ja dünaamika hoidmisel. Seetõttu võib ühe liigi hävimine ja/või hääbumine tekitada pöördumatut kahju kogu ökosüsteemile. (Ruskule *et al.*, 2009, lk 18)

Läänemere ainulaadsus teeb temast eriti hapra ja õrna ökosüsteemi. Et mere ökosüsteem ei sõltu ainult looduslikest teguritest, võib iga kahjustus jätta parandamatu jälje.

2.2. Reostusest Läänemeres

Alates 1800. aastast on Läänemeri muutunud oligotroofsest ehk toitainevaesest selge veega merest eutrofeerunud veekoguks. Kuigi pärast 1980. aastate industriaalbuumi on olukord paranenud, on minevikus tekitatud reostust ja kahju tunda tänapäevani. (Lennuk, 2014) Eelmise sajandi lõpus normaliseerus Läänemeres lämmastiku- ja fosforisisalduse kasv. Kahjuks on teatud piirkondades, näiteks poolkinnistes lahtedes nagu Liivi laht, toitainete kontsentratsioon endiselt väga kõrge. (Ruskule *et al.*, 2009, lk 19) (WaterChain, *Fosfor ja lämmastik*)

Probleeme on Läänemerega, eriti Soome lahega, palju. 2018. aasta HELCOM HOLASE aruande põhjal on põhiprobleeme kolm: eutrofeerumine, ülepüük ja ohtlikud ained. Kuigi viimastel aastatel on tehtud mere seisundi hindamiseks ulatuslikult proove ja analüüse ning on hakatud tegelema mereprügi ja veealuse müra vähendamisega, pole siiani teada, kui suur on nende probleemide tegelik ulatus. (Keskkonnaministeerium, *Läänemere kaitse*)

Mõned allikad väidavad, et Läänemere reostustase polegi nii drastiline. Näiteks selgitas mereökoloog Kai Künnis-Beres, et Eesti rannikuäärsed veed on keskkonnaseisundi poolest keskmised ning ohtlikud kemikaalid kogunevad Gotlandi saare ümbrusesse. Lisaks toob ta välja, et Läänemere üldine seisund on pigem paranemas tänu tihedale rahvusvahelisele koostööle. Teadlane selgitas, et eesmärgiks on seatud, et Läänemeri peaks heas seisus olema 2020. aastaks, kuid mereprotsessid võtavad siiski kauem aega. „Kui midagi on sinna sattunud, siis see keerleb seal ringi. Isegi, kui me sinna uut reostust ei lase,“ selgitas Kai Künnis-Beres (Oidermann, 2016)

Juba 2004. aastal tunnistati Läänemeri eriti riskialtiks mereks. Sarnase staatusega on veel Austraalia Suur Vallrahu ja Paracase merekaitseala Peruus. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 11)

2.2.1. Ohtlikest keskkonnamürkidest

Läänemeres (ja Soome lahel) on väga tihe laevaliiklus, mis toob kaasa olulisi keskkonnamõjusid. Igal aastal sõidab Läänemeres 54 000 registreeritud alust. Ligikaudu pooled laevad veavad eri tüüpi kaupu: konteinereid, sõidukeid, suurtes kogustes väetiseid, metalle, puitu jms. Ülejäänud meresõidukid on peamiselt naftatankerid ja reisilaevad. Nii

naftatankerite kui ka teiste laevade suurus ja arv on aastatega kasvanud. (Ruskule *et al.*, 2009, lk 64)

Kuigi laevatransporti peetakse üldiselt keskkonnasäästlikuks kaupade transportimise viisiks, on sellel oma kahjulikud keskkonnamõjud. Näiteks juhuslik reostus, mis võib tekkida avastamata lekete tagajärjel, jäätmed, õhureostus, võõrorganismide ja -liikide sissetoomine. (Ruskule *et al.*, 2009, lk 64; 65)

Juba 1970. aastail hakati rääkima mürkidest nagu polükloorbifenüülid (PCB) ja diklorodifenüültrikloroetaan (DDT), mida leiti ka Läänemere randadest. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 90) PCB-d on tsüklilised orgaanilised ühendid, mida kasutati ajavahemikul 1930–1980 elektriseadmetes, määrdeainetena, jahutusvedelikena ja erinevate õlide segus. Taimekaitsevahendit DDT kasutati palju põldudel, et suurendada saagikust. Eelnimetatud ained on väga toksilised ja ohtlikud ning võivad merre sattumisel põhjustada muutusi ökoloogilistes toiduahelates. (Vikipeedia, *Polüklooritud bifeniüülid*; Vikipeedia, *DDT*) Mürkide ladestumine on muret tekitav just toiduahela tipus olevatel liikidel, näiteks hüljestel ja kotkastel, sest see mõjutab nende sigimisvõimet. (Lips *et al.*, 1998, lk 15) (Ruskule *et al.*, 2009, lk 20)

Teatud kalaliigid võivad olla ohtlikest ainetest niivõrd saastunud, et inimene ei saa neid enam oma toidulauale panna, sest nad võivad olla mürgised või halvendada inimorganismi hormoon- ja immuunsussüsteemi tööd. (Ruskule *et al.*, 2009, lk 20)

Mereloomi mõjutavad ka raskmetallid nagu näiteks elavhõbe ja kaadmium. Alates 1976. aastast on uuritud raskmetallide sisaldust hall- ja viigerhüljestes. Tulemused näitavad, et loomade maksas ja neerudes on ohtlike raskmetallide tase lubatud ülempiirist mitu korda suurem. Uurimistulemused näitavad ka kõrget elavhõbeda, PCB ja dioksiinide sisaldust haugis, räimes ja lõhes. (Lips *et al.*, 1998, lk 15)

2.2.2. Naftareostusest

Naftareostuse oht on Soome lahes väga suur. Seda seepärast, et naftatankerite veoste ja inimtranspordi kasvu tõttu on õnnetuste tõenäosus piirkonnas kasvanud peaaegu neljakordseks. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 93) Märkimisväärne kogus naftasaadusi jõuab Soome lahte just Peterburi piirkonnast. (Lips *et al.*, 1998, lk 27) Kõige mahukam naftatransiit toimub torusüsteemide kaudu, mis on ühendatud Läänemere sadamatega Lätis, Leedus ja Venemaal. Läänemereäärased riigid impordivad naftat Venemaalt ja riigid sõltuvad 90% ulatuses just sealt tulnud naftast. Kuigi kogused pole suured, võib nii nafta puurimine kui ka vedu Läänemere,

eriti Soome lahe piirkonda mõjutada. Arvestades ohte, mis kaasnevad nafta puurimise ja torusüsteemide rajamisega, võib see muuta niigi hapra ökosüsteemi veelgi reostustundlikumaks. (Ruskule *et al.*, 2009, lk 66–67)

Nafta tekitatud kahju on mitmeilmeline ja mõjutab eri liikide isendeid erinevalt. Kui näiteks mereelustikule toiduks olev taimhõljum kattub naftaga, siis taimed surevad ja see toob omakorda kaasa muutusi toiduahela kõrgematel astmetel. Kui kalade või imetajate toidu hulk väheneb, siis muutub ka nende arvukus. See omakorda mõjutab meie toidulauale jõudvat toitu. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 95)

Eriti ohtlikud on naftalekked lindudele, kelle sulestik võib määrduda süsivesinike seguga, mille tagajärjel sulestiku vett tõrjuvad ja soojust isoleerivad omadused kaovad ja kogu soojussüsteem nende kehas aeglustub. Linnud pole võimelised enam lendama ega toitu otsima. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 95)

2.3. Läänemere kaitsest

Soome lahe 1996. aasta lõpparuande põhjal väidetakse, et toitainete ja kahjulike ainete koormus on 1990ndatel aastatel vähenenud, kuid kokkuvõttes on reostustase alanenud üsna vähe. Soome lahe seisund on hetkel muret tekitav, sest pikemas perspektiivis ei jõua veekogu toime tulla sinna jõudva reostuskoormusega. (Lips *et al.*, 1998, lk 31)

2.3.1. Ühine seire ja kaitse

Soome lahe eest vastutavad kolm riiki – Eesti, Soome ja Venemaa – ning õnneks ei ole lahe muret tekitav olukord jäänud tähelepanuta. Eelnimetatud probleemid on suured, kuid samas on need suurendanud teadlaste ja poliitikute teadlikkust, et kasutusele tuleks võtta meetmeid, mis aitaksid päästa Läänemere, eriti Soome lahe, õrna ökosüsteemi. Et meri püsiks jätkusuutlikuna ning selleks, et me ka tulevikus saaksime merest saadud toitu ja energiat tarbida, on veekogule tehtud mitmeid uuringuid. Läänemeri on üks maailma kõige põhjalikumalt uuritud meresid ning selle tulemusena on välja töötatud keskkonnakaitse programme, loodud rahvusvahelisi koostöövõrgustikke ja rakendatud erinevaid piiranguid ning seadusi nii kohalikul kui ka riiklikul tasemel. (Ruskule *et al.*, 2009, lk 69)

HELCOM on 1980. aastal loodud ühendus, mille eesmärk on kaitsta Läänemerd ja selle lahtesid kõikvõimalike reostusallikate eest. Enne seda, 1974. aastal, allkirjastasid Läänemere ääres olevad riigid Helsingis „Läänemere piirkonna merekeskkonna kaitse konventsiooni“ ehk Helsingi konventsiooni. Koostöö toimub Taani, Rootsi, Soome, Saksamaa, Eesti, Läti, Leedu,

Poola, Venemaa ja Euroopa Liidu vahel. HELCOM teeb koostööd nii teadlaste kui ka riigipeadega. Iga kahe aasta tagant vahetub koosoleku juhatajamaa, Eesti oli selleks aastatel 2014–2016. (HELCOM, *About Us*) (HELCOM, *Chairmanship*)

2.3.2. Üksikisiku võimalused Läänemerd kaitsta

Soome lahe seisundi parandamiseks on vaja tegutseda meil kõigil ning igaüks saab lahe reostuse vähendamisel kaasa aidata. Kodurannikut saab parandada reovee käitlemise kaudu. Elamutes, millel puudub kanalisatsioon, tuleb hoolitseda selle eest, et nende reo- ja heitveed oleksid korralikult käideldud. Kui majapidamises on kuivkäimla, siis peab laskma sellel imenduda maasse, sest imendusprotsess aitab kaasa reovee puhastumisele. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 100; 101)

Lisaks saab kaitsta Soome lahte kui liikuda nii vees kui ka maismaal kasutades vähesaastavaid liikumisviise: käia rohkem jala, kasutada ühistransporti. Vee peal liikudes tuleks vältida mootoriga masinad ja eelistada sõudmist, aerutamist või purjetamist. Nii on võimalik vähendada ka mürareostuse teket. Osta pigem looduslikult kasvanud kalu, nii väheneb lämmastikureostus. Veel aitab kaasa oma rannaala eest hoolitsemine, rannäärse aiamaa ja taimede vähene väetamine ning lõkke tegemine selleks ettenähtud kohtades, mitte otse mererannas, kust tuhk võib veekokku sattuda. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 100; 101)

3. SETTED KUI LOODUSLIK ARHIIV JA ORGAANILINE AINE SETETES

Setetes, täpsemalt järvesetetes, sisalduva info uurimisega tegeleb paleolimnoloogia. Paleo tähendab vana, muistset või iidset, limnoloogia on järveteadus. Mere kohta eraldi nimetust pole, kuid mõlemal juhul kehtivad samad põhimõtted ja meetodid. Uuritakse põhjasetete kihte, et teada saada veekogu seisundi muutusi ajas ja ruumis. Setete kogunemine veekogu põhja on loomulik ja paratamatu nähtus. Inimtegevus võib soodustada nii settematerjali juurdekannet valglalt erosiooni suurendamisega kui ka orgaanilise aine moodustumise kasvu toitainete suurema sissekande tulemusel. Vetikate ja teiste veekogus elavate organismide jäänused jäävad enamasti osaliselt lagundamata. See lagundamata orgaaniline aine ja erosioonil veekokku kantud materjal moodustab igal aastal veekogu põhja settekihi ja nii kasvab settekihi paksus. Setetes säilib info veekogus ja selle valglal toimunud muutuste kohta, nii muutuste kohta elustikus, kliimas, inim mõjus kui ka muus. Seetõttu võib veekogude põhjasetteid pidada varasemate keskkonnatingimuste looduslikuks arhiiviks: mida sügavamale settekihtides liikuda, seda vanemat infot saame uurida. (Douglas, 2007, lk 2020–2029)

Üha suurenev mure inimtegevusest tuleneva looduskeskkonna halvenemise pärast on suurendanud vajadust selgitada välja muutuste tagamaid. Et muutused keskkonnas võivad olla nii looduslikud kui ka inimtekkelised, siis just paleolimnoloogiliste uuringute kasutamine võimaldab neid kahte üksteisest eristada ja seeläbi teada saada, millised olid varasemad keskkonnatingimused ja millised muutused võivad meid tulevikus oodata. (Meyers *et al.*, 1995, lk 280)

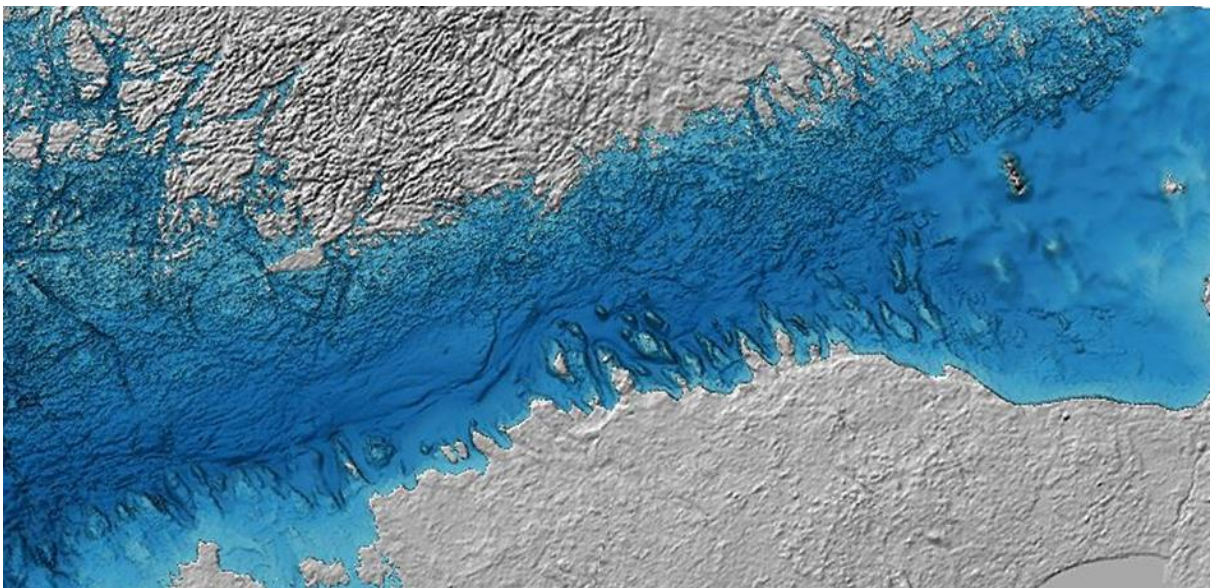
Orgaanilise aine osakaal settes on väike aga oluline. See koosneb lipiidide, valkude, süsivesikute ja muude biokeemiliste ainete keerulisest segust, mis pärineb varem veekogus ja veekogu ääres elanud organismide jäänustest. (Tinn *et al.*, 2006) (Meyers *et al.*, 1995, lk 279). Orgaaniline aine sisaldab orgaanilisi ühendeid: need on ühendid, mille molekulides on süsinikuaatomid. (Tenhunen *et al.*, 2014, lk 28)

Põhilise osa setetest moodustavad lagunenenud taimejäänused, mis kunagi on elanud veekogus või seda ümbritseval maismaal. Pääaegu kogu sette orgaaniline aine pärineb taimedelt; vaid vähem kui 10% on loomse päritoluga. Taimed, mis setteid moodustavad, jaotatakse kaheks: soonteta taimed ja soontaimed. Esimestel puuduvad puitjad tselluloosirikkad koed (nt vetikad). Soontaimede alla kuuluvad puud, rohttaimed ja põõsad, ning neil on eelnimetatud koed

olemas. Kahe taimerühma panust orgaanilise aine koguhulka mõjutavad nii veekogu morfoloogia kui ka valgla ning taimede endi arvukus vees ja maismaal. (Meyers *et al.*, 1995, lk 279; 280)

4. UURIMISOBJEKT JA MATERJAL

Soome laht on Läänemere kõige idapoolsem laht, mida ümbritsevad põhjast Soome, lõunast Eesti ja idast Venemaa. Lahe pindala on ligikaudu 30 000 km² ning ta on suhteliselt madal, keskmine sügavus 36–40 m (vt joonis 4). Tegemist on väga vahelduva põhjareleefiga, kus lahe keskel võib olla sügavus paar meetrit. Kõige sügavam koht on 121 meetrit. Lahe pikkus on 420 km ja laius 125 km. (Estonica, *Soome laht*)

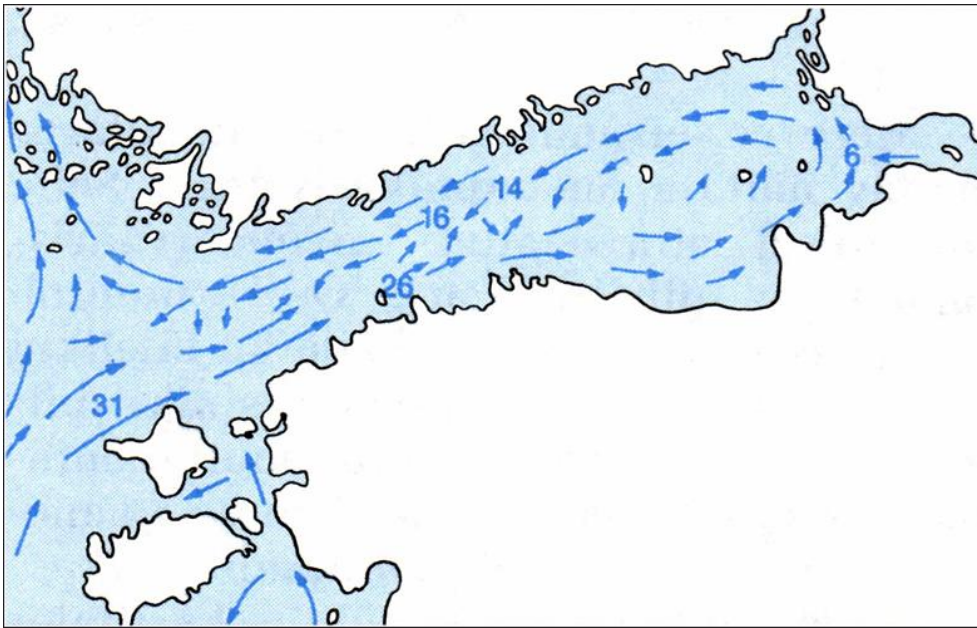


Joonis 4. Soome lahe sügavuskaart (Baltic Sea Bathymetry Database, Gulf of Finland)

Põhjarannikul asub palju kaljuseid saari ehk skääre ning lõunarannikut piiritleb Balti klint, mis võib asuda rannajoonest ka mitme kilomeetri kaugusel. Soome lahes on palju kõrgendikke: Tütarsaared, Suursaar jt, mis ulatuvad saartena veest välja, kuid leidub ka mitmeid veealuseid kõrgendikke, nn madalaid, näiteks Uusmadal, Tallinna madal jt. Põhjarannik on sopilise rannajoone ja rohket kaljusaartega. Lõunarannik seevastu on aluspõhja sette kivimitesse uuristatud. (EE, *Soome laht*)

Kui Läänemeri on üldiselt üks madalama soolsusega veekogusid, siis Soome lahe soolsus on eriti madal, vaid kümnendik maailmamere soolsusest. Pinnavee soolsus lahes väheneb läänest itta vastavalt 6‰–>2‰. (EE, *Soome laht*)

Soome lahes liiguvad nõrgad hoovused piki lõunarannikut läänest itta ja piki põhjarannikut idast läände (vt joonis 5). Et lahel valitsevad läänetuuled, võib see kaasa tuua veetaseme kõikumisi ja mõnel rannal ka üleujutusi. (EE, *Soome laht*)



Joonis 5. Soome lahe hoovuste kaart (EE, Soome laht)

Soome lahe idaosa jäähtub pea igal talvel ja see takistab laevaliiklust. Ulatuslik jäätumine on tingitud magedast veest ja lahe lõikumisest sügavale mandrisse. Soojadel talvekuudel ei pruugi jääkatet tekkida. (Estonica, *Soome laht*)

Nii nagu Läänemeri, on ka Soome laht väga tundlik saastele, sest veevahetus ookeaniga on väga aeglane. Soome lahest võib mõelda kui väga suurest jõesuudmest, kuhu sissetulevad jõed kannavad nii palju magedat vett, et soolane vesi, mis saabub Taani väinade kaudu, lahjeneb riimveeks. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 10)

Soome lahe valgal elab rohkem kui 20 miljonit inimest. Koos mitmete saarte ja randadega on Soome laht üks kõige rohkem eutrofeerumise all kannatav merepiirkond. Peamiselt viimase 50 aasta jooksul on mürkainete kogunemine loomade organismi ja toitainete rohkus üha selgemini silma hakanud. Kuigi erinevate meetmetega on vähendatud saasteainete sissekannet lahte, halveneb mere merevee seisund jätkuvalt. (Pajanen *et al.*, 2007, lk 10)

Aastatel 2014–2015 koguti projekti „Hinnangu andmine merekeskkonna ökosüsteemipõhiseks korraldamiseks Soome lahe merepõhja ja setete näitel (SedGoF)“ jaoks kuue mereekspeditsiooni käigus Soome lahest laboratoorsete analüüside tarbeks setteproovid. Meresette pindmiste, kuni 50 cm paksuste, väga suure veesisaldusega kihtide puurimiseks kasutati Gemax II proovivõtuseadet (vt lisa 1). Seade võimaldab kohe laeval settepuursüdamikku soovitud sentimeetrite kaupa tükeldada. Väljavõetud puursüdamikke pildistati ja kirjeldati kohapeal (värvimuutused, sette koostis ja tekstuur). Proovivõtustrateegia

määras ära setteläbilõigete tükeldamise intervalli. Monitooringupunktide korral tükeldati kogu läbilõige 1 cm kaupa, ülejäänud proovivõtupunktidest koguti vaid pindmised settekihid (0–3 cm ja 4–6 cm). (Suuroja *et al.*, 2016, lk 18)

Laeval pakiti proovid kilekottidesse, varustati etiketiga ning neid säilitati kuni laborisse jõudmiseni külmaelementidega varustatud külmakastides. Hiljem transporditi sete TalTechi geoloogia instituudi külmruumi, kus see säilitati kuni analüüside läbiviimiseni +4 °C juures, et hoida ära muutusi sette keemilises koostises. (Suuroja *et al.*, 2016, lk 16)

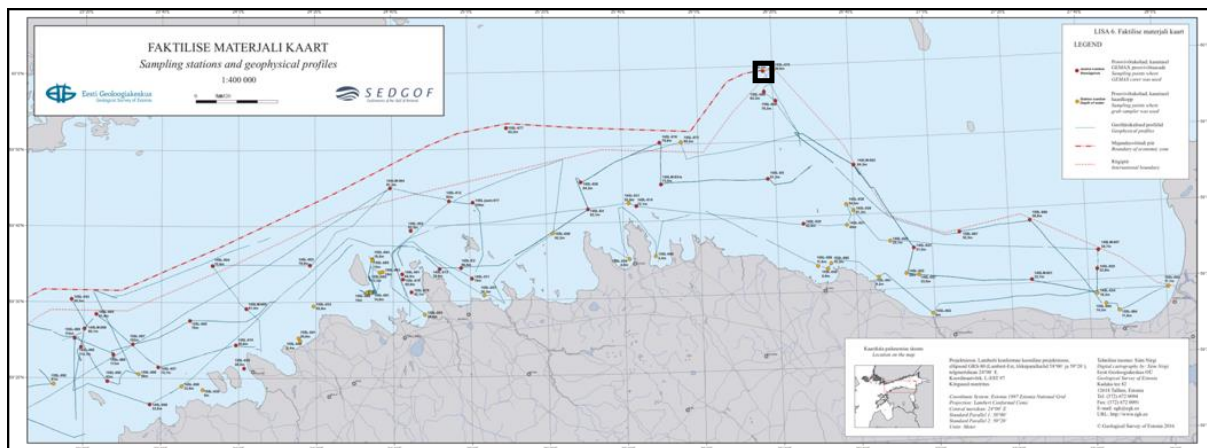
Oma praktilise töö jaoks valisin Soome lahe põhjasette profiili tähistusega 15SL071, mille kohta koostas in orgaanilise aine sisalduse analüüsi. Uuritav setteprofiil võeti 2015. aastal. Proovivõtukohas oli vee sügavus 68 meetrit. Setteprofiil oli 42 cm pikk ja tükeldatud sentimeetri kaupa kilekottidesse (vt lisa 2).

Lisaks kasutas in oma töös nimetatud projekti käigus võetud ja varem TalTechi geoloogia instituudis analüüsitud setteprofiilide andmeid ja pindmiste settekihtide (0–3 cm ja 4–6 cm) andmeid (Suuroja *et al.*, 2016, lk 16). Lisaks orgaanilise aine sisalduse analüüsile sain kasutada põhjasetteist määratud lämmastiku, süsiniku ja fosfori andmeid ning sette terasuuruse tulemusi.

5. UURIMISMETOODIKA

5.1. Orgaanilise aine sisalduse määramine ja katse kirjeldus

Praktilise töö eesmärk oli teada saada Soome lahe põhjasette läbilõike 15SL071 orgaanilise aine ja vee sisaldus (vt joonis 6).



Joonis 6. Soome lahe proovivõtupunktid (Suuroja *et al.*, 2016, lk 250) (Must kast tähistab punkti, kust pärinevad minu praktilise töö materjalid. Märgitud punkt on tähistusega 15SL071 ja vee sügavus on selles punktis 68 m. Punane joon tähistab Eesti territooriumit Läänemereel. Sinise joonega on tähistatud uurimislaeva teekond SedGoF projekti ajal ja punaste täppidega setete proovivõtupunktid.)

Setteprofiili iga sentimeeter oli eraldi pakendis, mille peale oli märgitud, kust ja kui sügavalt see täpselt võetud on. Enne proovide võtmist märkas, et pindmistes kihtides on sette värvus roheline, sügavamale minnes läks savikas materjal kollakaks, kuid kõige põhjas oli sete taas rohekas ja vedelam. Eeldasin, et põhjasette värvus ja olek sõltuvad orgaanilise aine hulgast settes.

Setteläbilõikest, mis oli 48 cm pikk (vt lisa 3) ja pakitud ühe sentimeetri kaupa, võtsin analüüsiks iga teise sentimeetri. Nende proovidega täitsin 24 tiiglit. Tööd tegin TalTechi geoloogia instituudi laboris ja kaalumisruumis, kasutasin muhvelahju Nabertherm LV15/11, kuivatuskappi Termaks TS8136 ja digitaalset laborikaalu Mettler Toledo XS205DU. Katset tegin kolmel päeval, ajavahemikul 26.02.2019–28.02.2019 (vt lisa 4).

Kasutasin niinimetatud kuumutuskao meetodit (Heiri *et al.*, 2001, 101–110), mis seisneb selles, et proove teatud temperatuuril kuumutades põleb osa proovist ära ja proovi kaal alaneb. Kaalukadu näitab põlenud materjali kogust. Erinevad materjalid vajavad erinevat temperatuuri.

Kasutasime temperatuuri 550 °C ja selle temperatuuri kuumutuskadu näitab orgaanilise aine kogust settes.

Esimene päev, 26.02.2019

Tühjad portselanist tiiglid olid paar tundi kuivatuskapis 105 °C juures. See oli vajalik selleks, et tiiglid oleksid täiesti kuivad ja õhuniiskus ei mõjutaks katse tulemusi. Seejärel panin tühjad tiiglid eksikaatorisse, mis on kausjas hoidik, mille sees on õhuniiskust siduvad CaCl_2 graanulid (vt joonis 7). See on samuti vajalik, et õhuniiskus ei mõjutaks mõõtmistulemusi. Järgmisena kaalusin ära 24 tühja tiiglit ning seejärel panin igasse tiiglitse ligikaudu 1–3 grammi setet. Savikad rohekad vedelad proovid olid pakendatud kilekottidesse. Enne kui proovid tiiglitesse panin, pidin koti sisu ühtlaseks segama. Selleks, et proovid oleksid paremini kättesaadavad, surusin joonlauaga koti sisu avause poole. Pärast proovide tiiglitesse asetamist kaalusin tiiglid uuesti ning samal ajal sisestas automaatne laborikaal tulemused Exceli tabelisse. Kaal näitas objekti raskust kolme komakoha täpsusega. Kaalulaud oli ümbritsetud klaasiga, et õhu liikumine tulemusi ei moonutaks. Seejärel asetasin proovid 24 tunniks kuivatuskappi temperatuuril 105 °C.



Joonis 7. Tiiglid eksikaatoris (Autori erakogu)

Teine päev, 27.02.2019

Võtsin proovid kuumatangidega kuivatuskapist välja, asetasin need eksikaatorisse, lasin jahtuda ning kaalusin ära, et teada saada, palju vett märgadest proovidest välja oli aurunud (vt joonis 8). Veehulk näitab, millise settega on tegemist ja kuivõrd on see kokku pressitud. Vesi on pigem kõrvalnäitaja, et paremini mõista millise settega meil on tegemist. Järgmiseks

panin tiiglid koos kuiva prooviga neljaks tunniks muhvelahju temperatuurile 550 °C, et määrata kuumutamisel põlenud orgaanilise aine kogus.



Joonis 8. Tiiglid koos materjaliga pärast kuivatuskapist välja võtmist (Autori erakogu)

Kolmas päev, 28.02.2019

Kolmandal päeval võtsin proovid muhvelahjust välja ja jätsin eksikaatorisse jahtuma (vt joonis 9). Samal ajal vaatasin kahte lühikest videot sellest, kuidas proovivõtt toimub ning tänu sellele sain aimu merel toimuvatest välitöödest. Umbes 15 minuti pärast kaalusin proove (vt joonis 10), et teada saada orgaanilise aine sisaldus. Et muhvelahju läbinud proovid olid edasisteks uuringuteks kasutud, tuli need prügikasti visata. Kui see samm oli tehtud, pesin tiiglid puhtaks, loputasin need destilleeritud veega üle ning panin kuivama (vt lisa 2).



Joonis 9. Tiiglid pärast muhvelahjust välja võtmist (Autori erakogu)

Kogu info salvestasin Microsoft Exceli tabelisse, mis näitab juba varem sisestatud valemite põhjal tehtud arvutustega, kui palju orgaanilist ainet ja vett proovides oli (vt joonis 10) (vt lisa 5).



Joonis 10. Tiiglite kaalumise- ja salvestamisprotsess (Autori erakogu)

5.2. Teised setete uurimise meetodid

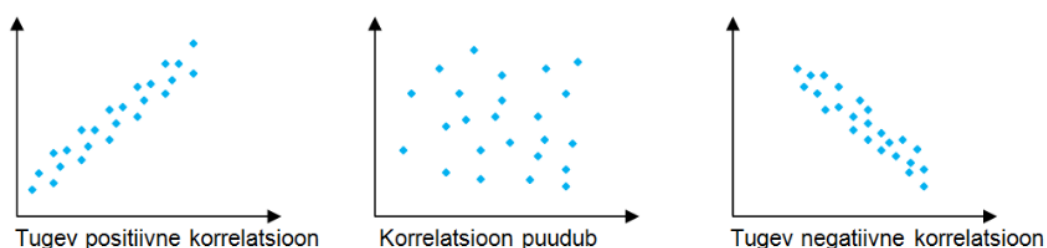
Setteosakesed on erineva suurusega: saviosakesed on väiksemad kui 0,002 mm, aleuriidiosakesed 0,002–0,063 mm ja liivaosakesed on suuruses 0,063–2 mm. Settetera suurused määratakse granulomeetrilise analüüsiga. Kasutati seadet Horiba Partica LA-950V2. Masin töötab destilleeritud vee või etanooliga. Mõõtmise toimus laseriga, mistõttu registreerib masin ka väga väikeseid osakesi. Mõõdetud setteosakeste suurused jaotatakse erinevatesse suurusklassidesse. (Suuroja *et al.*, 2016, lk 25)

Makroelemendid on keemilised elemendid, mida organismid vajavad elutegevuseks suhteliselt suurtes kogustes võrreldes mikroelementidega. Nende alla kuuluvad elemendid nagu C, H, O, N, S, Na, Ca jne. Orgaaniline aine sisaldab elemente C, N, O, P, H, S pluss mikroelemendid. (Tenhunen *et al.*, 2014, lk 27) (Tallinna Ülikool, *Orgaaniline keemia: lühikonspekt gümnaasiumile*) Nende elementide määramiseks kasutati erinevaid meetodeid. Süsiniku ja lämmastiku määramiseks kasutati orgaanilise aine CHNSO-analüsaatorit ThermoScientific FLASH 2000, fosfor määrati molübdeensinise värvusreaktsiooni meetodil spektrofotomeetril

SPECORD PLUS 250 (AnalytikJena) ja röntgenfluorestsents analüüsil Bruker S4 spektromeetriga, millega mõõdeti ka teised sette makroelemendid. (Suuroja *et al.*, 2016, lk 24)

Setteprofiilide vanuse määramist SedGof projektis tehti Taanis radiomeetria laboratooriumis. See on vajalik settimiskiiruse hindamiseks ning settesügavuste aja määramiseks. Neljas setteläbilõikes hinnati nende vanust ja settimiskiirusi. Seda tehti Pb^{210} meetodiga: jälgiti summaarse Pb^{210} sügavusprofiili käiku, mis peaks selle elemendi radioaktiivse lagunemise tõttu sette sügavuse suunas aeglaselt vähenema. (Suuroja *et al.*, 2016, lk 28) Arvutusmudeleid kasutades saame Pb^{210} väärtuste järgi teada settekihtide vanused. Vanuste täpsustamiseks kasutatakse ka inimtekkelise radioaktiivse Cs^{137} elemendi väärtusi settekihtides. Selle elemendi väärtused olid atmosfääris kõrged 1960. aastatel, kui oli tuumakatsetuste kõrgaeg, ja hiljem 1986. aastal, kui toimus Tšornobõli tuumaõnnetus. Need Cs^{137} kõrged väärtused tolleaegses atmosfääris kajastuvad samamoodi veekogude setetes ja aitavad meil tänapäeval setete vanust määrata. (Suuroja *et al.*, 2016, lk 28)

Statistilistest meetoditest kasutasin setteanalüüsi tulemuste iseloomustamiseks korrelatsiooni. Korrelatsioonanalüüs näitab, kuidas kaks andmerida omavahel seotud on, kas nende seos on tugev või nõrk ja kas see on positiivne või negatiivne (vt joonis 11). Mida lähemal punktid sirge suhtes asetsevad, seda tihedamalt on kaks vaadeldavat tegurit omavahel seotud. Kõige sagedamini kasutatakse kahe tunnuse vahelise seose tugevuse iseloomustamiseks lineaarset korrelatsioonikordajat (tähistatakse tähega r). Mida lähemal on korrelatsioonikordaja väärtus ühele, seda tugevam on kahe uuritava omavaheline seos (vt joonis 12). (Tallinna Ülikool, *Korrelatsioonianalüüs*)



Joonis 11. Erinevate korrelatsioonide liigid (Tallinna Ülikool, Korrelatsioonianalüüs)

-1		0						+1	
-1...-0,9	-0,9...-0,7	-0,7...-0,4	-0,4...-0,2	-0,2...0	0...0,2	0,2...0,4	0,4...0,7	0,7...0,9	0,9...1,0
Väga tugev seos	Tugev seos	Keskmine seos	Nõrk seos	Olematu, väga nõrk seos	Olematu, väga nõrk seos	Nõrk seos	Keskmine seos	Tugev seos	Väga tugev seos
Negatiivsed seosed					Positiivsed seosed				

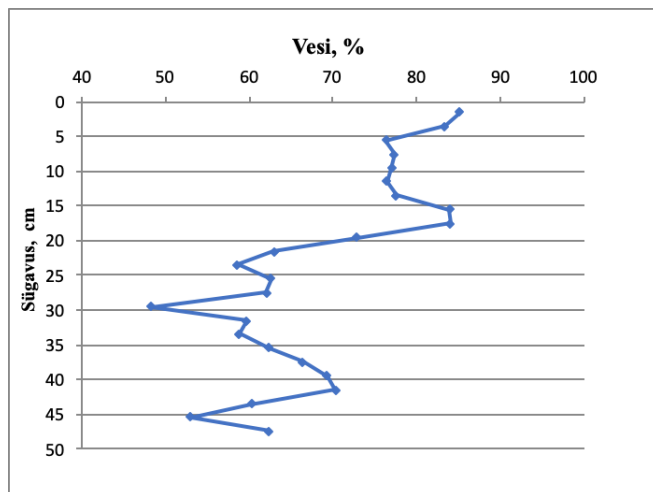
Joonis 12. Positiivsete ja negatiivsete seoste, korrelatsioonikordaja r , arvulised väärtused (Tallinna Ülikool, Korrelatsioonianalüüs)

Korrelatsioonikordaja on positiivne, kui ühe tunnuse väärtuste kasvades teise tunnuse väärtused samuti kasvavad. Kui aga ühe tunnuse väärtuste kasvades teise tunnuse väärtused kahanevad, siis on korrelatsioonikordaja negatiivne. Korrelatsioonikordaja ruut R^2 ehk determinatsioonikordaja näitab, kui suur osa ühe tunnuse hajuvusest on kirjeldatud teise poolt. (Matemaatilise Statistika Instituut, *Seose tugevuse iseloomustamine*)

6. AJALIS-RUUMILISED MUUTUSED SOOME LAHE PÕHJASETETE KOOSTISES JA SELLE PÕHJUSED

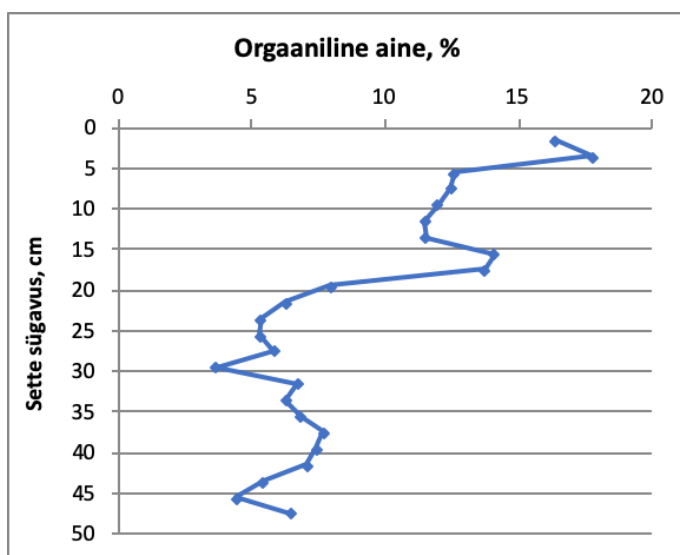
6.1. Ajalised muutused põhjasetete koostises

Määrasin Soome lahe põhjasette läbilõikest 15SL071 orgaanilise aine ja vee sisalduse.



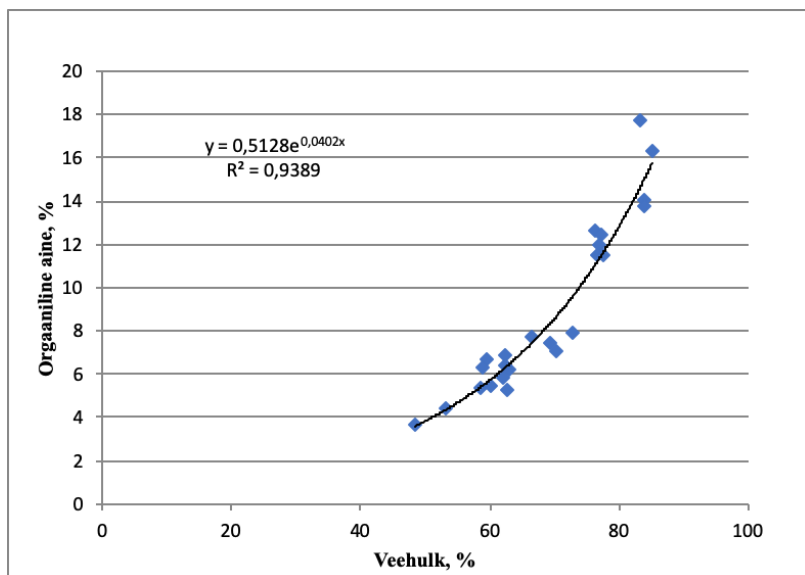
Joonis 13. Vee sisaldus setteläbilõikes 15SL071

Saadud tulemused näitasid, et veesisaldus on kõige väiksem 30 cm sügavusel (umbes 45%) ja kõige suurem on see setteläbilõike pinnakihtides (85%) (joonis 13). Üldiselt võib näha, et veesisaldus suureneb pindmiste kihtide poole liikudes.



Joonis 14. Orgaanilise aine sisaldus setteläbilõikes 15SL071

Setteläbilõikest 15SL071 määratud orgaanilise aine sisaldus on sügavamates settekihtides pigem ühetaoline ja kõigub vahemikus 4–7% (joonis 14). Umbes 20 cm sügavuselt tõuseb orgaanilise aine sisaldus järsult ning jätkab tõusutrendi kuni kõige pindmise kihini. Selles vahemikus tõuseb orgaanilise aine sisaldus 7%-lt kuni 17%-ni.



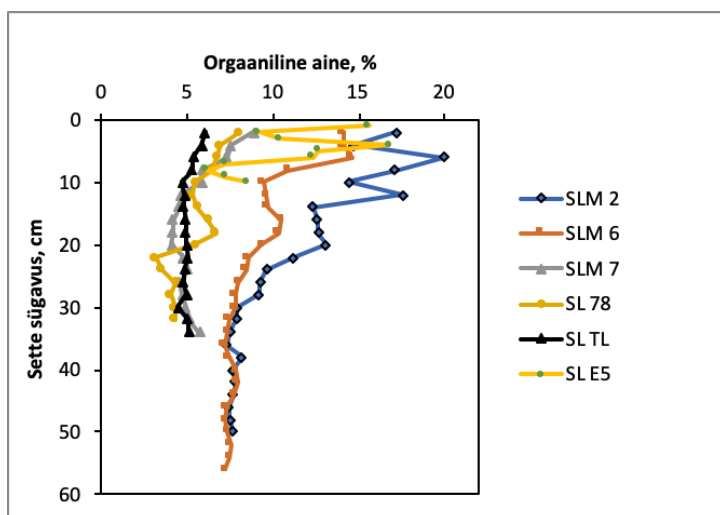
Joonis 15. Orgaanilise aine ja veehulga vaheline seos setteläbilõikes 15SL071

Kui vaadelda setteläbilõike 15SL071 vee ja orgaanilise aine sisaldust, siis neil on sügavuse suunas sarnane käik. Veesisalduse ja orgaanilise aine vahel on eksponentsiaalne seos (joonis 15). Eksponentsiaalne seos näitab siinkohal kuhupoole graafik liigub, st antud juhul ülespoole ehk on positiivne seos. Joonisel 15 näeme, et mõõtmistulemused asuvad üsna tihedalt eksponentsiaalse kõvera juures. Mida lähemal kõverale punktid asetsevad, seda tihedamalt on kaks vaadeldavat tegurit seoses. Mida lähemal on korrelatsioonikordaja väärtus ühele, seda tugevam on kahe uuritava näitaja seos. Antud juhul on korrelatsioonikordaja r väärtus 0,94 ja tegemist on väga tugeva positiivse seosega. Tulemused näitavad, et mida rohkem on orgaanilist ainet, seda suurem on sette veesisaldus. R^2 väärtus näitab, et peaaegu kogu orgaanilise aine muutlikkus kirjeldab veehulka settes ja ka vastupidi.

Põhjus, miks settes orgaanilise aine hulk tõuseb, on ilmselt eutrofeerumine. Tõenäoliselt on aja jooksul toitainete rohkuse lisandumine merre põhjustanud elustiku üha suurema vohamise, mistõttu on tänapäeval settesse salvestunud ka rohkem orgaanilist ainet. Kui võrrelda neid tulemusi teiste analüüsitud setteläbilõigetega Soome lahest (Suuroja *et al.*, 2016, lk 147), siis on näha, et ka neis suureneb sarnaselt läbilõikele 15SL071 sette pindmistes kihtides orgaanilise aine hulk (joonis 16). Need läbilõiked on küll erineva pikkusega, kuid orgaanilise aine sisaldusel on settes sarnane muster. Sügavamates settekihtides on orgaanilise aine

protsent ühetaoline ning siis hakkab see teatud sügavusel suuremal või väiksemal määral neis kõigis tõusma. Tõus algab eri läbilõigetel eri sügavusel. Kuid enamikus neis on käik sama, mis tähendab, et ajalised muutused on samad ja sarnased üle terve Soome lahe ning ka põhjus on ilmselt sama: see on eutrofeerumine. Miks aga orgaanilise aine hulk neis läbilõigetel erinevatel settesügavustel hakkab tõusma? See on seotud sellega, et neis proovivõtupunktides on settimiskiirus erinev. (Suuroja *et al.*, 2016, lk 155) Kui settimiskiirus on aeglane, siis settib ühe sentimeetrine kiht pikema aja jooksul kui kiire settimise korral. Seetõttu on ühel ja samal ajal toimunud muutused settes erineval sügavusel: ühel juhul sügavamal settes, teisel juhul ülevalpool. Settimiskiirus sõltub proovivõtukohast. Kõik analüüsitud setteläbilõiked olid võetud eri sügavuselt. (Suuroja *et al.*, 2016, lk 145)

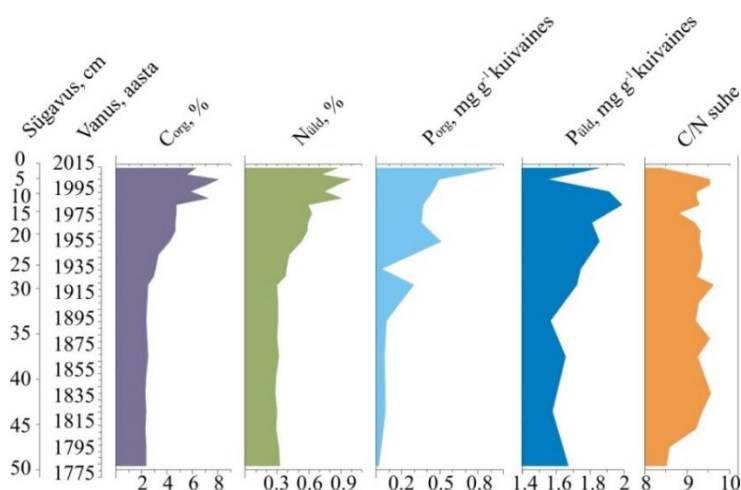
Et läbilõikel 15SL071 puuduvad vanusemäärangud, siis ei saa öelda, mis ajal (aastakümnel) orgaanilise aine sisaldus hakkas tõusma. Kui võrrelda neid tulemusi teiste analüüsitud setteläbilõigetega, millel on vanusemäärangud tehtud, siis on see võimalik.



Joonis 16. Soome lahe teistest setteläbilõigetest määratud orgaanilise aine sisaldus (Suuroja *et al.*, 2016, lk 147)

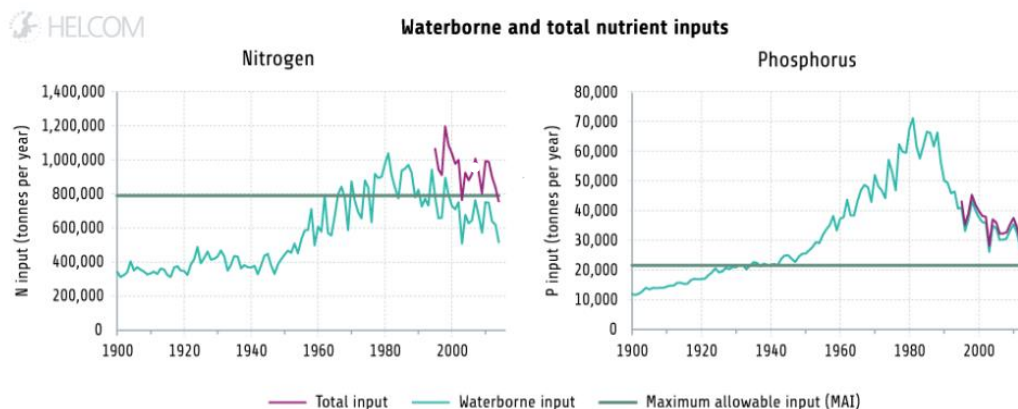
SedGoF projektis tehti mitmele setteläbilõikele vanusemäärangud. Siin võrdlen enda analüüsitud läbilõike 15SL071 tulemusi Kundast põhjapoole jäävast proovivõtupunktist SLM2 saadud tulemustega. Vee sügavus selles proovivõtupunktis oli 84 meetrit. SLM2 läbilõikest määrati orgaanilise aine sisaldus ja need tulemused on tähistatud joonisel 16 sinise värviga. Et vesi on SLM 2 proovivõtukohas sügav, siis on selles kohas settimine kiire ning muutused, kus orgaanilise aine sisaldus suureneb, on näha sügavamal settes kui enamuses teistes läbilõigetel. SedGoF projekti käigus tehti läbilõike SLM2 vanusemäärangud ning analüüsiti peale orgaanilise aine koguse veel näiteks süsiniku, lämmastiku ja fosfori sisaldust setetes

(joonis 17). (Suuroja *et al.*, 2016, lk 166) Kuna setteläbilõikel oli vanus määratud, siis sai uurida toitainete (fosfori, lämmastiku) ja teiste näitajate sisalduse muutumist ajas. Nagu juba varem märkisin, on orgaanilises aines põhilised elemendid süsinik, vesinik, hapnik, lämmastik, väiksemal määral ka fosfor ja väävel. Tavaliselt on süsiniku protsent orgaanilises aines 45%–55%. Kahe joonise võrdlemisel on näha, et süsiniku sisalduse muutus SLM2 setteprofiilis (joonis 16) ongi sarnane orgaanilise aine sisalduse muutustega samas läbilõikes (joonis 17). Läbilõikes SLM2 algab süsiniku sisalduse tõus settes 1920ndatel ja järsum tõus on 1930ndatel (joonis 17) ning sama näitavad ka teised setteläbilõiked Soome lahest, millel on vanusemäärangud tehtud (Suuroja *et al.*, 2016, lk 166). Seega on tõenäoliselt minu analüüsitud setteläbilõikes 15SL071 umbes 20 cm sügavus, kus orgaanilise aine sisaldus järsult tõuseb, settinud eelmise sajandi 30ndatel aastatel.



Joonis 17. Orgaanilise süsiniku (Corg), üldlämmastiku (Nüld), üld- ja orgaanilise fosfori (Püld ja Porg) sisaldus ning süsiniku ja lämmastiku aatomsuhe (C/N) setteläbilõikes SLM2 (Suuroja *et al.*, 2016, lk 166) Setteläbilõike vanus on määratud ja tulemused on esitatud nii sügavuse- kui ka vanuseskaalas.

Lisaks süsiniku sisalduse tõusule, hakkas 1930ndatel järsult tõusma toitainete sisaldus settes (joonis 17). Nii lämmastiku kui ka fosfori erinevad vormid näitavad sisalduse tõusu kuni peaaegu sette pinnakihtideni. Üldfosfori maksimumväärtused SLM2 setteläbilõikes määrati umbes 10 cm sügavusel, mis vastab 1980ndatele aastatele. Üldlämmastiku sisaldused on kõrgeimad 1980–1990ndatel aastatel settinud setetes (joonis 17).



Joonis 18. Läänemere sissekantud lämmastiku ja fosfori hulk aastatel 1900–2014 (Eutrophication, 2018)

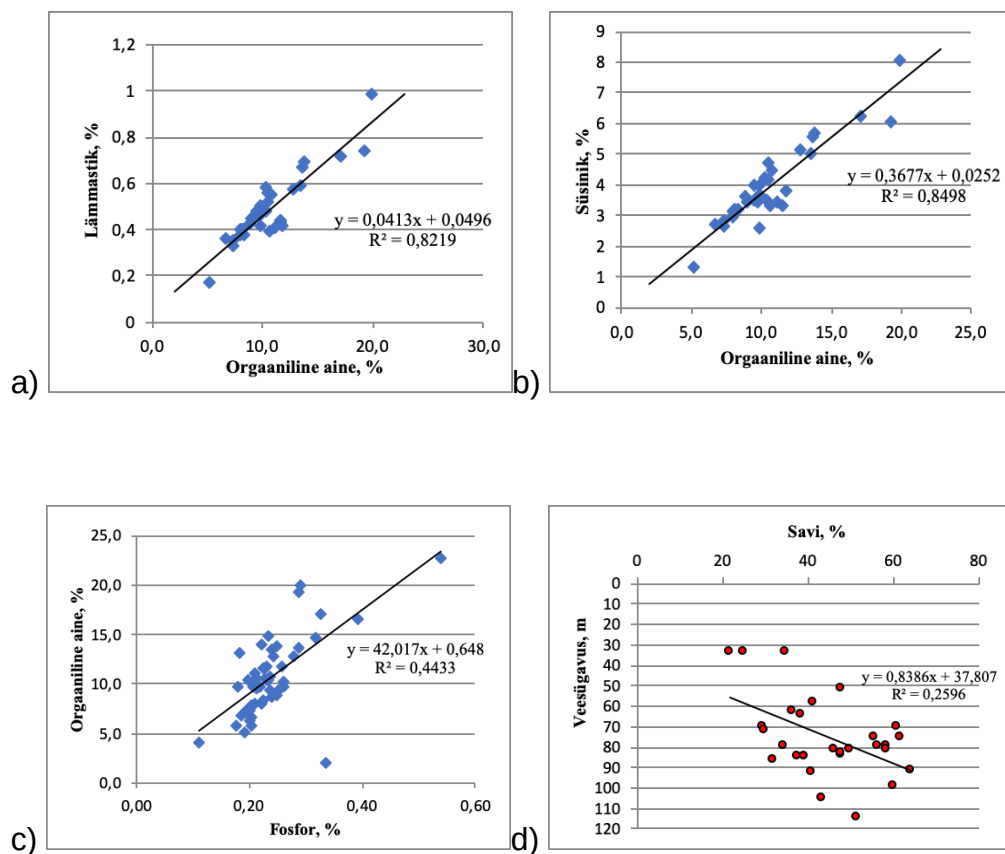
Joonisel 18 on näha, et lämmastiku sissekanne Läänemere tõusis järsult alates 1950test ning selle haripunkt oli 1980ndal aastal. Pärast seda on lämmastikukogused, mis merre satuvad vähenenud, kuid ilmselt pole suudetud vähendada kogu reostust. Tänapäevased lämmastikukogused, mis veega Läänemere kantakse, on võrreldavad 1960ndate kogustega. Suurim reostuse hulk oli 1980. aastal, üle ühe miljoni tonni lämmastikku. Fosfori sissekanne merre hakkas tõusma alates 20. sajandi algusest ja alates 1950ndatest aastatest oli tõus juba väga järsk ning see kestis kuni 1980. aastani, kui veed kandsid merre 70 000 tonni fosforit. Tänapäeval on hakanud merre kantavad fosfori kogused vähenema. Jõutud on umbes sarnaste kogusteni, mis olid 1950ndatel, kuid mere seisund on endiselt halb. Kui võrrelda merre kantud toitainete koguseid settest määratud kogustega, siis langevad need päris hästi kokku. Ka settest määratud toitainete sisaldused näitavad tõusutrendi kuni maksimumväärtusteni 1980ndatel aastatel (joonis 17). Kuigi pärast seda hakkasid veega merre kantud toitainete hulgad vähenema, siis fosfori ja lämmastiku sisaldus setetes väheneb vaid veidi. Samuti ei ole Soome lahe ja kogu Läänemere seisund paranenud. Põhjuseks on aastakümnetega setetes kogunenud suured lämmastiku ja fosfori kogused, mis nüüd põhjustavad toitainete sisekoormust merekeskkonnale.

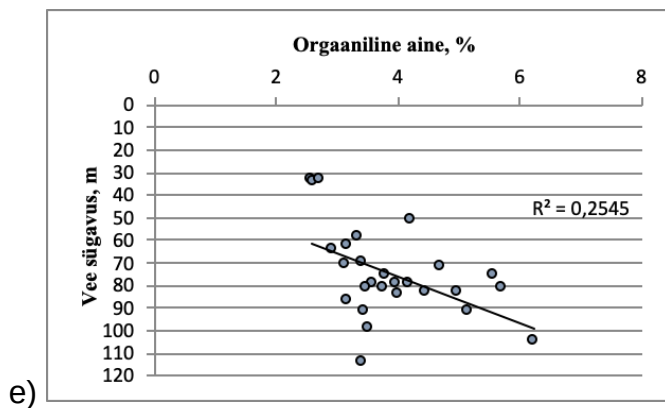
Kui veelkord vaadata joonist 16, kus on esitatud Soome lahe erinevate setteläbilõigete orgaanilise aine sisaldused, siis on näha, et neis läbilõigetes on orgaanilise aine sisalduse väärtused erinevad. Kõigil neil on küll näha orgaanilise aine sisalduse tõusu teatud sügavusel, aga ühes proovivõtupunktis on väärtused vaid natuke üle 5%, teistes aga 15% või isegi 20%. Võib tekkida küsimus, et kas selles proovivõtupunktis, kus orgaanilise aine sisaldus on

kõrgem, on suurem reostatus ja intensiivsem eutrofeerumise mõju. Aga nii see päriselt pole, sest orgaanilise aine sisaldust setetes mõjutavad ka teised tegurid. Mõningatest neist tuleb juttu peatükis 6.2.

6.2. Ruumilised muutused põhjasetete koostises

Selles peatükis kasutan SedGoF-projekti andmeid, mis pärinevad teistest proovivõtupunktidest üle terve Soome lahe (joonis 19). (Suuroja *et al.*, 2016, lk 3) Kasutasin proovivõtupunktidest võetud kolme sentimeetri paksuse pindmise settekihi (4–6 cm) andmeid, kus olid analüüsitud orgaaniline aine, süsiniku, lämmastiku ja fosfori sisaldused ning sette terasuurus. Kirjeldan orgaanilise aine sisaldust proovides võrreldes lämmastiku, fosfori ja süsiniku sisaldusega. Lisaks vaatlen süsiniku sisalduse sõltuvust proovivõtukoha vee sügavusest ning sette terasuurusest.





Joonis 19. Orgaanilise aine sisalduse seos sette süsiniku, fosfori ja lämmastiku sisaldusega, sette terasuurusega ja proovivõtukohta sügavusega Soome lahe pindmistes setteproovides (Suuroja *et al.*, 2016, lk 10)

Kuna Exceli süsteemid annavad valemiga arvutades korrelatsioonikordaja ruudu (R^2) ehk determinatsioonikordaja, siis selle peab käsitsi ümber arvutama korrelatsioonikordajaks, et saadud tulemusi võrrelda. Joonisel 19 näeme, et settes on lämmastiku ja orgaanilise aine sisalduse protsent tugevas korrelatsioonis (joonis 19a). Seos on tugevalt positiivne, sest korrelatsioonikordaja väärtus on 0,8.

Samuti on orgaanilise aine ja süsiniku omavaheline seos tugevalt positiivne (joonis 19b). Korrelatsioonikordaja on 0,8. Tulemus on ootuspärane, sest orgaanilises aines on umbes 45–55% süsinikku. Orgaanilise aine ja fosfori sisalduse vahel on samuti positiivne korrelatsioon (joonis 19c). Seos on keskmise tugevusega, korrelatsioonikordaja on 0,6. Ka toitainete, fosfori ja lämmastiku positiivne korrelatsioon orgaanilise aine hulga on oodatav, sest orgaanilises aines on suur lämmastiku sisaldus, ühtlasi on seal teatav kogus fosforit. Kokkuvõtvalt võib öelda, et sette orgaanilise aine sisaldus määrab väga suurel määral ära sette süsiniku ja lämmastiku sisalduse, umbes 80% ulatuses (R^2 väärtused joonisel 19), ja ligikaudu 45% ulatuses fosfori sisalduse setteproovides.

Joonis 19d näitab meile proovivõtukohta vee sügavuse ja kõige peenema terasuurusega setteosakeste klassi ehk saviosakeste protsentuaalse sisalduse seost. Korrelatsioon on jällegi positiivne. Et korrelatsioonikordaja on 0,4, siis on tegemist keskmise tugevusega seosega. R^2 näitab, et proovivõtukohta vee sügavus määrab umbes 25% ulatuses ära sette terasuuruse varieeruvuse. Mida rohkem ja mida peenemad setteosakesed on, seda suurem on veesügavus, st mida sügavam koht meres, seda peenem settematerjal sinna settib.

Negatiivne korrelatsioon on proovivõtukohta vee sügavuse ja sette orgaanilise aine sisalduse vahel (joonis 19e). Tegemist on keskmise tugevusega seosega, kus korrelatsioonikordaja on

0,4. Sarnaselt sette terasuurusega määrab proovivõtukoha vee sügavus umbes 25% ulatuses ära sette orgaanilise aine sisalduse varieeruvuse.

Saadud tulemuste põhjal saab teha järelduse, et orgaanilise aine sisaldus settes sõltub vee sügavusest proovivõtukohal ja sette terasuurusest. Mida sügavam proovivõtukoht, seda peenem on sete ja seda suurem orgaanikasisaldus.

KOKKUVÕTE

Minu uurimistöö käsitleb Soome lahe põhjasetete uurimist erinevate näitajate (orgaanilise aine sisaldus, süsiniku, lämmastiku ja fosfori sisaldus, terasuurus ja veehulk) kaudu. Töö eesmärk oli välja selgitada veekogu põhjasetete orgaanilise aine ja toitainete sisalduse varieeruvus erinevates piirkondades ning selle muutumine ajas, et leida seosed erinevate faktorite vahel, mis muutumist võivad mõjutada. Selleks kasutasin nii oma tehtud katsete tulemusi kui ka 2016. aastal avaldatud SedGof projekti uurimistulemusi. Analüüsisin ühes Soome lahe setteläbilõikes orgaanilise aine sisaldust ja veehulka. Töö hüpotees oli, et orgaanilise aine ja toitainete sisaldus Soome lahe setetes on mõjutatud mitmest faktorist, sealhulgas settimistingimustest ja sette terasuurusest. Hüpotees leidis kinnitust. Selgus, et orgaanilise aine ja toitainete sisaldused setetes on mõjutatud Soome lahte sissekantud fosfori ja lämmastiku kogustest, mis on alates eelmise sajandi esimesest poolest näidanud tõusutrendi ja sellega seoses põhjustanud veekogu eutrofeerumise. Uurimistöö tulemused näitasid sarnast tõusutrendi setetesse mattunud orgaanilise aine, lämmastiku ning fosfori sisalduses. Samuti näitasid tulemused tugevat positiivset seost sette orgaanilise aine, süsiniku, lämmastiku ja fosfori sisalduste vahel. Uurimistöö kinnitas, et lisaks sissekantud toitainete kogustele, mõjutab setete orgaanilise aine (sealhulgas fosfori ja lämmastiku) sisaldust veekogu sügavus proovivõtukohal ja sette terasuurus. Selgus, et mida sügavam on proovivõtukoht, seda peenem sete sinna settib ja seda suurem on setete orgaanika, fosfori ja lämmastiku sisaldus.

Uurimistöö näitas, et Soome lahes on veel palju reostust. Kuigi pärast 1980ndaid hakkasid merre kantud toitainete hulgad vähenema, siis setetes on fosfori ja lämmastiku sisaldused endiselt suured ning seega on toitainete sisekoormus muutunud oluliseks eutrofeerumist põhjustavaks faktoriks.

Kuigi viimastel aastatel on olukord paranenud, peab siiski vaeva nägema, et Soome laht saaks puhtamaks. Probleem on suur ning sellele peaks kindlasti rohkem tähelepanu pöörama.

Tänu sellele uurimistööle õppisin ma palju Soome lahe hetkeolukorra kohta. Sain uusi teadmisi tegurite kohta, mis võivad veekogudes põhjustada reostust. Samuti sain kogemuse, kuidas teha praktilist tööd ning analüüsida saadud tulemusi. Kuigi teemast oli alguses raske aru saada, läks tööga tegeledes pilt selgemaks. Lisaks tean ma nüüd rohkem veekogus

toimuvatest seadmisprotsessidest. Sain uurimistöö kirjutamise kogemuse – varem polnud ma nii mahukat teaduslikku tööd kirjutanud.

RESÜMEE

Siinse uurimistöö pealkiri on „Orgaanilise aine ja toitainete sisalduse muutlikkus Soome lahe põhjasetetes ja selle põhjused“. Soome laht on üks kõige halvemas seisundis olevaid maailmamere piirkondi. Taimetoitainete – fosfori ja lämmastiku – sissevool Soome lahte on põhjustanud mere eutrofeerumise ehk rikastumise toitainetega ja sellest põhjustatud vetikate vohamisega kaasnevad probleemid. Lisaks kannatab Soome laht ka inimtegevuse, näiteks pideva laevaliikluse, jääkide sissekande ja ülepüügi tõttu. Soome lahte on viimastel aastakümnetel pidevalt uuritud, et välja selgitada, mis olukorras laht hetkel on. Isegi kui on tehtud palju seiretööd, on Soome laht endiselt väga halvas olukorras.

Töö eesmärk on uurida Soome lahe põhjasetete orgaanilise aine ja toitainete sisalduse varieeruvust erinevates piirkondades ning muutumist ajas, et leida seoseid erinevate faktorite vahel, mis muutumist võivad mõjutada.

Teoreetilises osas keskendub autor teguritele, mis võisid veekogudes reostust tekitada, andis ülevaate toitainetest ja iseloomustas üldjoontes Läänemerd ning Soome lahte. Samuti seletas autor, kuidas reostust tekitavad ained settivad ja kuidas kaitsta Soome lahte. Uurimistöö praktilises osas uuris autor reostustaset, tehes selleks ühe põhjasette profiiliga nn kuumutuskaotuse katseid.

Praktiline osa oli Soome lahe orgaanilise aine ja veehulga mõõtmine ühe setteprofiili põhjal. Setteprofiil võeti 2015. aastal SedGofi projekti raames, mis oli ulatuslik Soome lahe uuring aastatel 2015–2016. Orgaanilise aine sisalduse määramiseks kasutati nn kuumutuskaotuse meetodit, mis tähendab, et spetsiaalsetes ahjudes eraldunud massi osa näitas sette orgaanilise aine sisaldust, mis omakorda andis meile infot Soome lahe hetke olukorrast. Praktiline töö kestis kolm päeva. Esimesel päeval kaalus autor setteproovid ja pani need kuivatamiseks spetsiaalsesse ahju. Järgmisel päeval kaalus ta setteproovid uuesti ning paigutas need muhvelahju. Kolmandal päeval kaalus ta proove uuesti. Seda kõike tehti sellepärast, et põletamisel eraldunud osa näitas sette orgaanilise aine sisaldust ja sai uurida veekogu reostatuse taset. Andmed sisestati Exceli tabelisse, mis oli ühendatud kaaluga.

Tulemustest selgus, et pinnapoolsemates settekihtides on orgaanilise aine sisaldus suurem. Eriti hüppeliselt kasvas see alates 15 sentimeetri sügavuselt kuni pinnani. See näitab, et hiljem settinud setted on sisaldanud suuremal hulgal orgaanilisi aineid nagu lämmastik ja süsinik, mis näitab reostuse taseme suurenemist. Lisaks uuris autor veehulga protsendi suhet orgaanilise

aine protsendi kohta, mis näitas, et veehulk ja orgaaniline aine on tihedalt teineteisest sõltuvuses. Veel võrdles autor teisest punktidest võetud setteproove ja nende uurimisel selgus, et kõigis viies punktis on orgaaniline aine settekihi pinnapoolsemas osas suurenenud.

Soome laht on väga reostatud veekogu. Seda näitasid katsed, kus oli näha, et nii ajas kui ka ruumis on orgaaniline aine suurenenud ning põhjuseks on inimtegevusest tingitud vetikate vohamine ehk eutrofeerumine. Soome laht ei suuda ise end reostusest vabastada, selleks on vaja võtta vastu veelgi karmimad reeglid ning edasi uurida Soome lahe olukorda.

SUMMARY

The title of this research is "Organic matter and nutrient variability in bottom sediments of the Gulf of Finland and its causes" („Orgaanilise aine ja toitainete sisalduse muutlikkus Soome lahe põhjasetetes ja selle põhjused“). The Gulf of Finland is one of the most polluted areas of the world sea. The influx of plant nutrients - phosphorus and nitrogen - into the Gulf of Finland has caused problems with the eutrophication (enrichment) of the sea and the resulting proliferation of algae. In addition, the Gulf of Finland also suffers from human activities such as constant vessel traffic, scrapping and overfishing. The water body has been constantly researched over the past decades to determine the current state of the Gulf. Even though much monitoring work has been done, the Gulf of Finland is still in a very poor state.

The aim of this work is to investigate the variation in the organic matter and nutrient content of the sediments of the Gulf of Finland in different regions and their changes over time to find the relationships between different factors that may influence the changes.

In the theoretical part, the author focused on the factors that can cause pollution in water bodies, provided an overview of nutrients and broadly described the Baltic Sea and the Gulf of Finland. The author also explained how the pollutants settle and how to protect the Gulf of Finland. In the practical part of the research, the author investigated the level of pollution by performing so-called heat loss experiments with a single bottom sediment profile.

The practical part was measuring the organic matter of the Gulf of Finland from a single sediment profile. The sediment profile was taken in 2015 as part of the SedGof project, which was an extensive survey of the Gulf of Finland in 2015-2016. The organic matter content was determined using the so-called heat loss method, which means that the fraction of mass emitted in special furnaces indicates the organic matter content of the sediment, which in turn gave us information about the current situation of the Gulf of Finland. The work lasted three days. On the first day the author weighed the sediment samples and placed them in a special oven for drying. The next day she weighed the sediment samples again and placed them in a muffle furnace. On the third day, she weighed the samples again. All this was done because the fraction released during the incineration shows the organic matter content of the sediment and the pollution level of the water body could be investigated. The data were entered into an Excel spreadsheet that was linked to the weights.

The results showed that the shallower sediment layers have higher organic matter content. In particular, it increased from a depth of 15 centimeters to the surface. This indicates that the sediments subsequently deposited contain higher levels of organic matter such as nitrogen and carbon, indicating an increase in pollution levels. In addition, the ratio of the percentage of water to the percentage of organic matter was investigated, showing that water and organic matter are closely interdependent. Sediment samples from other points were also compared and examined to show that organic matter had increased at all five points.

The Gulf of Finland is a heavily polluted water body. This was demonstrated by experiments which showed that organic matter has increased in time and space, due to human-induced algae proliferation or eutrophication. The Gulf of Finland itself cannot decontaminate itself, which requires stricter rules and further investigation of the Gulf of Finland.

Le résumé

Le titre de cette étude est « Variabilité organique et nutritive dans les sédiments du golfe de Finlande et ses causes » (Orgaanilise aine ja toitainete sisalduse muutlikkus Soome lahe põhjasetetes ja selle põhjused). Le golfe de Finlande est l'une des régions les plus défavorisées de la mer mondiale. L'afflux d'éléments nutritifs pour les plantes - phosphore et azote - dans le golfe de Finlande a causé des problèmes d'eutrophisation ou d'enrichissement de la mer et de la prolifération d'algues qui en a résulté. En outre, le golfe de Finlande souffre également d'activités humaines telles que le trafic maritime constant, la mise au rebut et la surpêche. Le golfe de Finlande a fait l'objet de nombreuses recherches au cours des dernières décennies afin de déterminer son état actuel. Bien que de nombreux travaux de surveillance aient été effectués, le golfe de Finlande est toujours dans un très mauvais état.

Le but de ce travail est d'étudier la variation de la teneur en matière organique et en éléments nutritifs des sédiments du golfe de Finlande dans différentes régions et leur évolution dans le temps afin de déterminer les relations entre différents facteurs susceptibles d'influencer ces changements.

Dans la partie théorique, l'auteur se concentre sur les facteurs qui peuvent causer la pollution dans les plans d'eau, donne un aperçu des nutriments et décrit largement la mer Baltique et le golfe de Finlande. L'auteur explique également comment les polluants se déposent et comment protéger le golfe de Finlande. Dans la partie pratique de la recherche, l'auteur a étudié le niveau de pollution en effectuant des tests de perte de chaleur avec un seul profil de sédiments de fond.

Une partie pratique consiste à mesurer la matière organique du golfe de Finlande à partir d'un seul profil sédimentaire. Le profil des sédiments a été réalisé en 2015 dans le cadre du projet SedGof, qui consistait en une étude approfondie du golfe de Finlande en 2015-2016. La teneur en matière organique est déterminée à l'aide de la méthode dite de perte de chaleur, ce qui signifie que la fraction de masse émise dans des fours spéciaux indique la teneur en matière organique du sédiment, ce qui nous donne des informations sur la situation actuelle dans le golfe de Finlande. Le travail a duré trois jours. Le premier jour, l'auteure a pesé les échantillons de sédiment et les a placés dans un four spécial pour le séchage. Le lendemain, elle pesa à nouveau les échantillons de sédiment et les plaça dans un four à moufle. Le troisième jour, elle pesa à nouveau les échantillons. Tout cela a été fait parce que la fraction libérée lors de

l'incinération montre que la teneur en matière organique des sédiments et le niveau de pollution de la masse d'eau pourraient être étudiés. Les données ont été entrées dans une feuille de calcul Excel liée au poids.

Les résultats ont montré que les couches de sédiments peu profondes ont une teneur en matière organique plus élevée. En particulier, il a augmenté d'une profondeur de 15 centimètres à la surface. Cela indique que les sédiments déposés par la suite contiennent des niveaux plus élevés de matière organique comme l'azote et le carbone, indiquant une augmentation des niveaux de pollution. En outre, l'auteure a examiné le rapport entre le pourcentage d'eau et le pourcentage de matière organique, ce qui a montré que l'eau et la matière organique étaient étroitement interdépendantes. L'auteure a également comparé des échantillons de sédiments des autres points, et après examen de ceux-ci, il a été constaté qu'en cinq points, la matière organique avait augmenté dans la partie inférieure de la couche de sédiments.

Le golfe de Finlande est une masse d'eau fortement polluée. Cela a été démontré par des expériences qui ont montré que la matière organique avait augmenté dans le temps et dans l'espace, en raison de la prolifération d'algues ou de l'eutrophisation induite par l'homme. Le golfe de Finlande lui-même ne peut pas se décontaminer lui-même, ce qui nécessite des règles plus strictes et un complément d'enquête sur le golfe de Finlande.

KASUTATUD ALLIKAD

Douglas, M. 2007. Paleolimnology. Overview. Amsterdam: Elsevier.

Eesti Entsüklopeedia EE 11, 2002. *Läänemere hüdroloogiline iseloomustus*. Kättesaadav: http://entsyklopeedia.ee/artikkel/laanemere_hydroloogiline_iseloomustus. (26.8.2019).

Eesti Entsüklopeedia EE 12, 2003; muudetud 2011. Soome laht. Kättesaadav: http://entsyklopeedia.ee/artikkel/soome_laht1. (26.8.2019).

Estonica. Entsüklopeedia Eestist (Estonica, 2001; muudetud 2009). Soome laht. Kättesaadav: http://www.estonica.org/et/Loodus/Soome_laht_ja_Pohja-Eesti_rannikumadalik/Soome_laht/. (26.8.2019).

Baltic Sea Bathymetry Database. Gulf of Finland. Kättesaadav: <http://data.bshc.pro/#3/59.84/25.75>. (8.12.2019).

Development of oxygen depletion in the Baltic Sea over time 2016. European Environment Agency, 20. dets. Kättesaadav: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/development-of-oxygen-depletion-in>. (8.12.2019).

Eutrophication 2018. State of the Baltic Sea. Kättesaadav: <http://stateofthebalticsea.helcom.fi/pressures-and-their-status/eutrophication/>. (8.12.2019).

Finland's future: Wet winters, warming Baltic, forested fells (2019). Yle Uutiset, 26. sept. Kättesaadav: https://yle.fi/uutiset/osasto/news/finlands_future_wet_winters_warming_baltic_forested_fells/10990845. (8.12.2019).

Heiri, O., Lotter, A. ja Lemcke, G. 2001. Loss on Ignition as a Method for Estimating Organic and Carbonate Content in Sediments: Reproducibility and Comparability of Results. *Journal of Paleolimnology*, nr 25.

Helcom. About Us. Kättesaadav: <http://www.helcom.fi/about-us>. (25.7.2019).

Helcom. Chairmanship. Kättesaadav: <http://www.helcom.fi/about-us/chairmanship/>. (28.8.2019)

Keskkonnaministeerium. Läänemere kaitse. Kättesaadav: <https://www.envir.ee/et/laanemere-kaitse>. (23.7.2019)

Keskkonnaministeerium. Merekeskkonna kaitse. Läänemeri. Kättesaadav: <https://www.envir.ee/et/merekeskkonna-kaitse>. (22.7.2019).

Lennuk, L. 2014- Soome lahe tervis. *Sirp*, 16.07. Kättesaadav: <https://www.sirp.ee/s1-artiklid/c21-teadus/soome-lahe-tervis-2/>. (23.7.2019).

Lips, U., Loigu, E., Lääne, A., Martin, G., Pachel, K. ja Raia, T. 1998. Soome lahe seisund ja tulevik. Tallinn: Ortwil.

Matemaatilise Statistika Instituut. Seose tugevuse iseloomustamine. Kättesaadav: <http://www-1.ms.ut.ee/mart/biomeetria2009/ANOVA.pdf>. (2.12.2019).

Meyers, P. ja Ishiwatari, R. 1995. Organic Matter Accumulation Records in Lake Sediments. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Nutrient load into the Baltic Sea continues to be too high, and global warming also increases the risk of blue-green algae blooms. 2018. *Finish Environment Institute*, 18.7. Kättesaadav: [https://www.syke.fi/en-US/Current/Nutrient_load_into_the_Baltic_Sea_contin\(47430\)](https://www.syke.fi/en-US/Current/Nutrient_load_into_the_Baltic_Sea_contin(47430)). (8.12.2019).

Oidermann, J.-J. (toim) 2016. TTÜ teadur: Soome laht on vähem saastatud kui Läänemeri Gotlandi saare ümbruses. *Eesti rahvusringhääling*, 8.1. Kättesaadav: <https://novaator.err.ee/258354/ttu-teadur-soome-laht-on-vahem-saastatud-kui-laanemeri-gotlandi-saare-umbruses>. (27.7.2019)

Pajanen, K., Soulando, M. ja Sikk, E. (toim) 2007. Soome laht – ürgmerest tänaseni. Tallinn: Roheline Trükis.

Piirimäe, K. 2006. Eesti pinnaveekogude tulevik. *Eesti Loodus*, nr 9, lk 34–37. Kättesaadav: http://vana.loodusajakiri.ee/eesti_loodus/artikkel2083_2072.html. (26.7.2019)

Rakko, A. 2009. Veeõitsengud Eesti järvedes. *Eesti Loodus*, nr 7. Kättesaadav: <http://www.eestiloodus.ee/index.php?artikkel=2839>. (26.7.2019).

Ruskule, A., Kuris, M. ja Leipute, G. 2009. Läänemeri : meie ühine ja kordumatu aare. Tallinn: Tallinna Raamatutrükikoda.

Sults, Ü. 2003. Rohke- ja liigtoitelisus:veekogude loomuliku vananemise kiirendaja. Käsiraamat eutrofeerumise mõjudest pinnaveekogule [võrguteavik]. Tartu: Peipsi Koostöö Keskus.

Suuroja, S., Heinsalu, A., Alliksaar, T., Lips, U., Lepland, A., Kask, A., Petersell, V., Pajusaar, S., Liiv, M., Mikomägi, A., Marzecova, A., Buschmann, F., Erm, A., Nirgi, S., Milvek, H., Karimov, M., Kiipli, T., Kallaste, T., Vandel, E. ja Ehrlich, K. 2016. Hinnangu andmine

merekeskkonna ökosüsteemipõhiseks korraldamiseks Soome lahe merepõhja ja setete näitel (SedGof). Tallinn: Eesti Geoloogiakeskus.

Tallinna Ülikool. Korrelatsioonianalüüs. Kättesaadav: <http://www.tlu.ee/~kairio/failid/seos1.pdf>. (2.12.2019).

Tallinna Ülikool. Orgaaniline keemia: lühikonspekt gümnaasiumile. Kättesaadav: <http://www.tlu.ee/~kertm/G%FCmnaasiumi%20%F5ppematerjalid/ORGaanILINE%20KEEMI A.pdf>. (10.12.2019)

Tenhunen, A., Hain, E., Venäläinen, J., Tihtarinen-Ulmanen, M., Holopainen, M., Sotkas, P. ja Happonen, P. 2014. Bioloogia õpik gümnaasiumile I. Tallinn: Avita Kirjastus.

Terviseamet. Sinivetikad: kes nad on ja miks nad on ohtlikud. Kättesaadav: https://www.terviseamet.ee/sites/default/files/content-editor/vanaveeb/Kasulikku/Keskkonnatervis/sinivetikad_Laugaste.pdf. (26.8.2019)

Tinn, O. ja Meidla, T. 2006. Kuidas tekib kivistis. *Eesti Loodus*, nr 5. Kättesaadav: http://www.eestiloodus.ee/artikkel1482_1476.html. (15.10.2019).

Vikipeedia. DDT 2019. Kättesaadav: <https://et.wikipedia.org/wiki/DDT>. (15.10.2019).

Vikipeedia. Polüklooritud bifenüülid 2019. Kättesaadav: https://et.wikipedia.org/wiki/Polüklooritud_bifenüülid. (24.8.2019).

WaterChain. Fosfor ja lämmastik. Kättesaadav: <http://waterchain.eu/et/laanemere-probleemid/toitained/>. (25.7.2019)

LISA 1. Setteprofiili 15SL071 merest võtmine



Pilt, kuidas setteprofiili 15SL071 merest välja võeti. Pilt pärineb SedGof aruandest.

LISA 2. Praktilise töö päevik ja märkmed

Praktiline töö: mõõdetakse ühe Soome lahest võetud u 50 cm pikkuse setteprofiili orgaanilise aine sisaldus. Määramiseks kasutatakse nn kuumutuskao meetodit. Setteproovid kaalutakse portselanist tiiglitesse, kuivatatakse spetsiaalsetes ahjudes, hiljem kaalutakse uuesti ning seejärel põletatakse proov muhvelahjus. Kaalutakse uuesti. Põletamisel eraldunud osa näitab sette orgaanilise aine sisaldust.

Praktilisel osal olid abiks Tiiu Alliksaar ja Merlin Liiv.

Soome lahest võetud sette läbilõige on pärit 2015. aastast ja võetud umbes 68 meetri sügavuselt.

26.02.2019

Tiiglite ettevalmistamine: tiiglid pidid ahjus (105 °C) paar tundi kuivama ning seejärel asetasin need eksikaatorisse (kausjas hoidja, mille alumises osas on CaCl_2 , mis tõmbab enda sisse õhuniiskuse, mis ei tohi tiiglisse sattuda, sest võib niimoodi kaalumisel vigu tekitada).

Kõigepealt läksin Tallinna Tehnikaülikooli geoloogia instituuti, et teha seal oma uurimistöö praktilist osa. Töö tegin seal, sest seal on aparatuur, mida koolil pakkuda pole. Alustuseks kaalusin 24 tiiglit ära (pärast igat kaalumist asetasin need taas eksikaatorisse), millesse pärast seda umbes 1–3 gr Soome lahe põhjasette proovi panin. Iga kihi proov oli eraldi kotis ning selleks, et sisu paremini kätte saada, pidin alguses kilekotis olevat proovi natuke segama. Kaalusin tiiglid koos proovidega ära ja panin proovid 105 °C kuivatuskappi 24 tunniks kuivama.

27.02.2019

Alustuseks võtsin proovid kuivatuskapist välja, lasin neil eksikaatoris jahtuda ning kaalusin need uuesti üle. See näitas mulle kui palju vett proovist ära läks. Lisaks sain teada palju oli proovides kuivainet. Seejärel panin proovid muhvelahju (550 °C) 4 tunniks.

28.02.2019

Võtsin tiiglid muhvelahjust välja ning jätsin need eksikaatorisse jahtuma. 15 minutit hiljem kaalusin proovid üle. Selle põhjal sain teada orgaanilise aine sisalduse. Kõige lõpuks pesin tiiglid kraaniveega puhtaks, valasin destilleeritud veega üle ning panin kuivama.

Tähelepanekud:

Kaal oli ühendatud arvutiga, millega sai automaatselt andmed Exceli faili panna. Kaal oli milligrammi täpsusega.

26.07.19.

15SL 041 Some lake islandette lābilōge
fēkēdētēd em fēkēdētēd
nigādā dī nīgālām (kōtis)

W8m sēgawūgē

W8m sēgawūgē

kōtē wē	nīgāwūs	fīgū' wē
1214	1-2 cm	1
1216	3-4 cm	2
1218	5-6	4
1220	7-8	5
1222	8-10	9
1224	11-12	10 //
1226	13-14	11
1228	15-16	12
1230	17-18	13
1232	19-20	14

W8m kōtē fīgūlisse, sēgawūgē "kōtē mōkē"
nōkōkō fīgūlissēmū (74-67)

1234	21-22	16
1236	23-24	17
1238	25-26	22
1240	27-28	23
1242	29-30	24 //
1244	31-32	25
1246	33-34	26
1248	35-36	27
1250	37-38	29 //
1252	39-40	31
1254	41-42	33
1256	43-44	35
1258	45-46	37
1260	47-48	39

p.g.
Sēgawūgē
Kōpē
105%
24 h
↓
fēdāsī
mūhūl-
atū
pōkōmūkē
[Kōtē]
Kōtē
Mē
Kōtēdēsē
+ Kōtēdēsē
Gōtē kōtē pōkē

Woch	Weg	Weg	Weg
18.11	1-2 cm	1	
18.11	3-4 cm	2	
18.11	5-8	4	
18.11	9-8	5	
18.11	8-10	8	
18.11	11-12	10	
18.11	13-14	11	
18.11	15-16	12	
18.11	17-18	13	
18.11	19-20	14	

Insika täis tükilise, seelamaga kott nööka

hothouse filiculus (14-68)

12304	23-24	16	Prig. Sevichuk Koppe 105x 24 in → head ↑ mekh- alyn pashonist head me head Got a head
1236	23-24	17	
1239	25-26	22	
1240	24-28	23	
1242	28-30	24	
1244	31-32	25 //	
1246	33-34	27	
1248	35-36	28	
1250	37-38	29 //	
1252	39-40	31	
1254	41-42	33	
1256	43-44	35	
1258	45-46	37	
1260	47-48	39	

prog.
benifactor
koppe
105x
24 h
jedasi
mukel-
alyu
perdomix
Sarat
heada
isel
Sardes
+ kumal head
to hold wood

obj 105°C → beschärfen & 
 page
light scattered CaCl₂ (pulver)
Wahrscheinliche Chemikalie mit granuliert
(schub pulver mit siegel (?)
senke parat)

Klausur Kryptol. 26.02.19

panin proavid sisse

Kaalestin tüglid + proov

stige knivskaffi

Wohnsitz: Buchenbühlstr. 27.02.19.

välja (saadakse palju õhumiseks ja läbi)

koalusion jälle
pandora multivitamin

kaaluseid
kaaluseid 28.02.19

pasin tūgēd (isadada palyin ong ainet
oer)

Lehed, millel on kolme päeva praktilise töö märkmed. (Autori erakogu)

LISA 3. Setteprofiil 15SL071



Pilt setteprofiilist, mida kasutasin oma praktilises töös. Pilt on tehtud Salme uurimislaeval aastal 2015 ja pärineb SedGof aruandest.

LISA 4. Pildid praktilise töö sooritamisest



Proovivõtt setteläbilõikest 15SL071, mis pärineb Soome lahest umbes 68 meetri sügavuselt. (Autori erakogu)



Pildid kuivatuskapist ja muhvelahjust, kuhu tiiglid paigutati. (Autori erakogu)

LISA 5. Exceli tabelid kogutud andmetest

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1																						
2																						
3																						
4		Tilgli nr	NIM	Tilgli kaal	Tilget+ määr proov	määr proov	vee %	Tilget+ kuiv proov	kuiv proov	Tilget+ proov 550	Proov 550	Orgaaniline aine %										
5																						
6		1	15SL071	33,4696	34,5394	1,1	85,1	33,6287	0,1591	33,6027	0,1331	16,3										
7		2		28,6934	29,9328	1,2	83,4	28,8993	0,2059	28,8627	0,1693	17,8										
8		4		30,5824	31,5649	1,0	76,3	30,8151	0,2327	30,7858	0,2034	12,6										
9		5		25,9763	27,2272	1,3	77,3	26,26	0,2837	26,2247	0,2484	12,4										
10		8		24,7592	26,9677	2,2	77,0	25,2668	0,5086	25,2059	0,4477	12,0										
11		10		30,4863	31,9285	1,4	76,5	30,8259	0,3396	30,7869	0,3006	11,5										
12		11		30,3436	31,6772	1,3	77,5	30,6438	0,3002	30,6092	0,2656	11,5										
13		12		30,9701	31,9571	1,0	83,9	31,1286	0,1585	31,1063	0,1362	14,1										
14		13		23,1990	24,2162	1,0	84,0	23,3615	0,1625	23,3392	0,1402	13,7										
15		14		29,6955	30,7498	1,1	72,8	29,982	0,2865	29,9592	0,2637	8,0										
16		16		28,4060	29,0822	0,7	62,9	28,6569	0,2509	28,6412	0,2352	6,3										
17		17		22,7272	24,3767	1,6	58,5	23,4111	0,6839	23,3744	0,6472	5,4										
18		22		20,3012	21,5321	1,2	62,5	20,7624	0,4612	20,7379	0,4367	5,3										
19		23		25,6383	28,0043	2,4	62,1	26,5359	0,8976	26,4835	0,8452	5,8										
20		24		23,1186	26,4266	3,3	48,3	24,8296	1,711	24,7671	1,6485	3,7										
21		25		31,1235	32,7864	1,7	59,6	31,7949	0,6714	31,7499	0,6264	6,7										
22		27		31,2458	32,4550	1,2	58,7	31,7446	0,4988	31,7133	0,4675	6,3										
23		28		30,9109	32,8135	1,9	62,4	31,6263	0,7154	31,5774	0,6665	6,8										
24		29		33,4518	34,6741	1,2	66,4	33,8631	0,4113	33,8314	0,3796	7,7										
25		31		30,3196	32,8841	2,6	69,2	31,1087	0,7891	31,05	0,7304	7,4										
26		33		23,5673	25,0698	1,5	70,3	24,0137	0,4464	23,9822	0,4149	7,1										
27		35		33,6500	35,8234	2,2	60,2	34,5141	0,8641	34,467	0,817	5,5										
28		37		31,5690	33,3657	1,8	53,0	32,4128	0,8438	32,3756	0,8066	4,4										
29		39		32,1978	33,7080	1,5	62,3	32,7667	0,5689	32,7301	0,5323	6,4										
30																						
31																						
32																						
33																						
34																						
35																						
36																						
37																						
38																						
39																						
40																						
41																						

Praktilise töö ajal täidetud tabel. Pildil on kõik andmed, mis kolmel päeval koguti.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
1	15SL071		Sügaus, cm	Tilgli nr		vee %	Orgaaniline aine %	Mineraalne aine %																				
2			1	2	1,5	85,1281	16,34192332	83,65807668																				
3			3	4	3,5	83,3871	17,77561923	82,22438077																				
4			5	6	5,5	76,3155	12,5913193	87,4086807																				
5			7	8	7,5	77,3203	12,44272118	87,55727882																				
6			9	10	9,5	76,9812	11,9740464	88,0259536																				
7			11	12	11,5	76,4526	11,48409894	88,51590106																				
8			13	14	13,5	77,4895	11,52564957	88,47435043																				
9			15	16	15,5	83,9412	14,08940063	85,9059937																				
10			17	18	17,5	84,0248	13,72307692	86,27692308																				
11			19	20	19,5	72,8256	7,958115183	92,04188482																				
12			21	22	21,5	62,8956	6,257473097	93,7425269																				
13			23	24	23,5	58,539	5,36628162	94,63371838																				
14			25	26	25,5	62,5315	5,312228968	94,68777103																				
15			27	28	27,5	62,0626	5,837789661	94,16221034																				
16			29	30	29,5	48,2769	3,6528346	96,3471654																				
17			31	32	31,5	59,6248	6,702412869	93,29758713																				
18			33	34	33,5	58,7496	6,275060144	93,72493986																				
19			35	36	35,5	62,3988	6,855336874	93,14466313																				
20			37	38	37,5	66,3503	7,707269633	92,29273037																				
21			39	40	39,5	69,2299	7,438854391	92,56114561																				
22			41	42	41,5	70,2895	7,056451613	92,94354839																				
23			43	44	43,5	60,242	5,450758014	94,54924199																				
24			45	46	45,5	53,0361	4,408627637	95,59137236																				
25			47	48	47,5	62,3295	6,433468096	93,5665319																				
26																												
27																												
28																												
29																												
30																												
31																												
32																												
33																												
34																												
35																												
36																												
37																												
38																												
39																												
40																												
41																												

Praktilise töö andmed, kus on väljaarvutatud mineraalse aine protsent. Pildil on andmed, mida kas