

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Matemaatika-loodusteaduskond

Meresüsteemide Instituut

**MUUTUSED PEHME PÕHJA
MAKROPÕHJALOOMASTIKU KOOSLUSTES
SÕLTUVALT SÜGAVUSEST JA SETTETÜÜBIST
SOOME LAHE LÄÄNEOSAS**

Bakalaureusetöö

Kaia-Liisa Siimon

Juhendaja: Natalja Kolesova,

Meresüsteemide Instituut,

Nooremteadur

Maa-teadused

2014

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus ning kinnitan, et esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud. Kinnitan, et antud töö koostamisel olen kõikide teiste autorite seisukohtadele, probleemipüstitustele, kogutud arvandmetele jmt viidanud.

Kaia-Liisa Siimon

Allkiri:

Kuupäev:

Juhendaja: Natalja Kolesova

Töö vastab bakalaureusetööle/magistritööle esitatavatele nõuetele.

Allkiri:

Kuupäev:

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....
(nimi, allkiri, kuupäev)

SISUKORD

SISUKORD.....	3
SISSEJUHATUS	4
1. PÕHJALOOMASTIKU ÜLDISELOOMUSTUS JA TÄHTSUS LÄÄNEMERES	5
1.1. Üldiseloomustus	5
1.2. Eesti rannikumere põhjaloomastiku dominantliikide lühikirjeldused.....	7
1.2.1. Karbid (<i>Bivalvia</i>).....	7
1.2.2. Hulkharjasussid (<i>Polychaeta</i>)	9
1.2.3. Vähid (<i>Crustacea</i>).....	10
1.2.4. Teod (<i>Gastropoda</i>).....	11
1.3. Tähtsus.....	12
2. PÕHJALOOMASTIKU LEVIKUT MÕJUTAVAD KESKKONNATEGURID LÄÄNEMERES	14
2.1. Settetüüp.....	15
2.2. Sügavus	15
3. PÕHJALOOMASTIKU KOOSLUSTE LEVIKU UURING SOOME LAHE LÄÄNEOSA NÄITEL.....	17
3.1. Proovide kogumine.....	17
3.2. Andmete analüüs	19
4. TULEMUSED	20
4.1. Põhjasetete analüüsi tulemused	20
4.2. Põhjaloomastiku analüüsi tulemused	23
4.3. Kokkuvõtte läbiviidud uuringust.....	26
KOKKUVÕTE.....	27
ABSTRACT	28
KASUTATUD KIRJANDUS	29
LISAD	35
Lisa 1. Näide tavalise harjasliimuka poolt põhjustatud hapniku jaotusest settes. (Pischedda <i>et al.</i> , 2008)	35
Lisa 2. Põhjaloomastiku liikide arvukuse (ind/m ²) ja biomassi (g/m ²) keskmised väärtused uurimispiirkonnas.....	36

SISSEJUHATUS

Põhjaloostik ehk zoobentos on tähtis element mereökosüsteemis, mille levik, mitmekesisus ja koosluste struktuur sõltub erinevatest keskkonnateguritest. Peamisteks kooslusi mõjutavateks teguriteks on sügavus (Perus *et al.*, 2004), setete iseloom, toidu kättesaadavus, põhjalähedase veekihi hapnikusisaldus, soolsus ja veetemperatuur (Rousi *et al.*, 2013). Stabiilses häiringuteta keskkonnas muutuvad kooslused ajapikku vähe (Osowiecki *et al.*, 2008). Ranniku piirkonnas asuvad kooslused tavaliselt tugeva stressi all inimtegevusest tulenevate häiringute tõttu (Bonsdorff, 2006). Toitainete juurdekasv rannikumeres tekitab suurenenud primaarproduksiooni, setete orgaanikaga rikastumist ja eutrofeerumise intensiivistumist, mis võib esile kutsuda muutusi põhjaloomastiku koosluste struktuuris. Häiringute tõttu võivad kooslustest kaduda eutrofeerumisele tundlikud liigid, kuid tolerantsete liikide biomassid ja arvukused võivad vastupidi suurened. (Villnäs *et al.*, 2010) Tänu oma stabiilsusele ja võimele reageerida ümbritsevas keskkonnas toimuvatele muutustele kasutatakse põhjaloomastiku kooslusi indikaatorina merekeskkonna seisundi hindamiseks (Zettler *et al.*, 2007). Erinevad uuringud põhjaloomastiku valdkonnas aitavad omakorda paremini aru saada põhjaloomastiku reageerimisviisidest merekeskkonnas toimunud muutustele.

Käesoleva töö eesmärk on teha ülevaade Soome lahe pehme põhja põhjaloomastikust ning täiendada teadmisi pehme põhja põhjaloomastiku kooslustest ning nende levikut ja struktuuri mõjutavatest teguritest Eesti territoriaalmeres.

Käesoleva lõputöö praktiline osa põhineb uuringul, mille tellis AS Ramboll Eesti eesmärgiga analüüsida merekeskkonna hetkeseisundit piki transekti algusega Lahepere lahes ja lõpuga Soome lahe keskel. Uuringu käigus saadud põhjaelustiku ja –setete analüüsi tulemused on vormistatud aruandena, mida on võimalik kasutada taustmaterjalina kavandatava projektiga seotud tööde planeerimiseks ja gaasijuhtme rajamisega seotud keskkonnamõju hindamiseks. Lisaks on saadud tulemuste põhjal kirjutatud artikkel 2014. aasta mais toimunud IEEE/OES Balti Sümpoosiuni raames.

1. PÕHJALOOMASTIKU ÜLDISELOOMUSTUS JA TÄHTSUS LÄÄNEMERES

1.1. Üldiseloomustus

Makropõhjaloostikuks ehk makrozoobentoseks nimetatakse ühest millimeetrist suuremaid silmaga nähtavaid selgrootuid organisme, kes asustavad bentaali ehk veekogu põhjasetete pinda, ülakihte ja põhjalähedast vett umbes poole meetri kõrguseni. Need selgrootud organismid moodustavad põhjaelustiku ehk bentose peamise osa. (Masing, 1992) Käesolevas töös käsitletakse makropõhjaloostikku, mida edaspidi nimetatakse lihtsalt põhjaloostikuks. Põhjaloostik esineb merekeskkonnas peaaegu kõikjal moodustades sügavustsoonide ja settetüüpide lõikes erinevaid kooslusi. Läänemere põhjaloostiku kooslused on vähese veesoolsuse tõttu enamasti liigivaesed ning koosnevad riimvee tingimustega kohanenud mere- ja mageveeliikide ainulaadsest segust ning vähestest tõelistest riimveeliikidest (EE; Laine, 2002). Läänemere põhja- ja idaosas, kus soolsus on kõige madalam (Bonsdorff *et al.*, 1999; Osowiecki *et al.*, 2008; Zettler *et al.*, 2007), saab vähem mereliike elada ning mereelupaikades, eriti lehtersuudmetes ja rannikuvetes, on ülekaalus mageveeliigid (Keskkonnaministeeriumi kodulehekülg).

Madala soolsusega Läänemere ökosüsteem on küllalt noor ja selle põhjaloostik võib esindatud olla vaid paari liigina, mis muudab merekeskkonnas elutsejad tundlikumaks erinevatele häiringutele (TÜ EMI kodulehekülg). Häiringud võivad muuta koosluste struktuuri, liikide arvukust ja biomassi (Osowiecki *et al.*, 2008). Läänemere toiduvõrku kuuluvate põhjaloostiku liikide väike arv tähendab aga, et

igal liigil on ökosüsteemi struktuuris ja toiduahela toimimises oluline roll ning mõne võtmeliigi kadumine võib kahjustada kogu süsteemi (Ruskule *et al.*, 2009).

Vastavalt füsioloogiale jaotatakse põhjaloomastikku peamiselt toitumistüübi (Bonsdorff *et al.*, 1999; Veber *et al.*, 2009) või eluviisi järgi (Masing, 1992). Eluviisi järgi jagunevad põhjaloomad kahte suurde rühma: epifauna hulka kuuluvad selgrootud elavad vabalt veekogu põhjal liikudes, infauna hulka kuuluvad selgrootud aga elavad osaliselt või täielikult põhjasettesse kaevunult (Masing, 1992). Põhjaloomastiku toitumisrühmadesse jaotumine sõltub samuti nende eluviisist ning settetüübist ja toidu kättesaadavusest.

Toitumistüübi järgi jagunevad põhjaloomad detrivoorideks, filtreerijateks, herbivoorideks ehk taimtoidulisteks ja karnivoorideks ehk kiskjateks (Bonsdorff *et al.*, 1999; Veber *et al.*, 2009). Detrivoorid ehk pudemesööjad, näiteks balti lamekarp ehk *Macoma balthica* (Worms), toituvad detriidist – osakesteks lagununud surnud planktonorganismide ja põhjataimestiku jäänused (orgaaniline aine), mis hõljuvad vees või on sadestunud veekogu põhja ja setetesse (Masing, 1992). Detrivoorid elavad tavaliselt piirkondades, kus toimub aktiivne orgaaniliste setete ladestumine – mudase ja savise põhjaga aladel (TÜ EMI, 2012). Filtreerijate hulka kuuluvad taimsest hõljumist toituvad põhjaloomad, mis püüavad aktiivselt toitu veesambast (TÜ EMI, 2012), näiteks söödav rannakarp ehk *Mytilus trossulus* ja liiva-uurikkarp ehk *Mya arenaria* (Pierścieniak *et al.*, 2010; Veber *et al.*, 2009; Worms). Eraldi rühma moodustavad vetikatest ja kõrgematest veetaimedest toituvad põhjaloomad ehk herbivoorid, kes elavad peamiselt põhjataimestiku võõndis (TÜ EMI, 2012). Herbivooride hulka kuuluvad näiteks lehtsarved ehk *Idotea* perekond, vesiking *Theodoxus fluviatilis* (Veber *et al.*, 2009) ja piklik punntigu *Radix perega* (Fink *et al.*, 2006). Merikilk ehk *Saduria entomon* (Veber *et al.*, 2009) kuulub kiskjate hulka ning toitub teistest väiksematest põhjaselgrootutest ja surnud kaladest.

1.2. Eesti rannikumere põhjaloomastiku dominantliikide lühikirjeldused

Läänemere põhjaosa kooslusi kujundavad enamasti karbid (Herkül, 2010; Laine, 2002). Eesti ranniku koosluste struktuuris domineerivad karbiliikidest balti lamekarp, söödav rannakarp, söödav südakarp (*Cerastoderma glaucum*), liiva-uurikkarp ja rändkarp (*Dreissena Polymorpha*) (Kolesova *et al.*, 2010; Lauringson, 2005). Filtreerijad on iseloomulikud aladele, kus taimse hõljumi osatähtsus on suur, näiteks eutrofeerunud alad. Herbivooride hulk näitab põhjataimede ohtrust ja taimekoosluste struktuuri stabiilsust. Muude toitumisrühmade ohter esinemine (detrivoorid ja kiskjad) on seotud orgaanilise aine akumulatsiooniga. (TÜ EMI, 2005)

1.2.1. Karbid (*Bivalvia*)

Merelise päritoluga **balti lamekarp ehk *Macoma balthica*** (Joonis 1) kuulub pehme põhjasubstraadi dominantliikide hulka ning on kõige laiemalt levinud ja suurema biomassiga põhjaloomastiku tunnusliik Läänemeres (Bonsdorff, 2006; Worms). Balti lamekarp on väike, tavaliselt alla 2 cm pikk (Jansen *et al.*, 2005), enamasti ovaalse kujuga valget, roosat, kollast või lillat värvi merekarp (Hayward *et al.*, 2008). Balti lamekarp toitub setetes ja sette pinna hõljuvatest pudeme- ehk detriidiosakestest ning planktilistest pisiorganismidest. Antud liik talub suurt veesoolsuse kõikumist ja võib esineda peaaegu kõikjal, seepärast on balti lamekarbi leviala väga suur. (Jüssi *et al.*, 2011) Liik esineb enamasti madalamas merepiirkonnas, kuni 40 meetri sügavusel, kuid soodsate hapnikutingimuste olemasolul võib laskuda veelgi sügavamale (TÜ EMI kodulehekül). Tavaliselt elab see liik mudastel ja liivastel põhjadel settesse maetult 5-20 cm sügavusel (Jansen *et al.*, 2005) asustades mõõdukalt avatud sedimentatsioonialasid (MTÜ EMÜ, 2012).



Joonis 1. Balti lamekarbid (*Macoma balthica*).
(http://www.visitbalticsea.net/est/Baltic_Macoma.html)

Söödav rannakarp ehk *Mytilus trossulus* (Joonis 2) on kõva põhjasubstraadi dominantliik, kes võib asustada ka pehme settetüübiga alasid (Bonsdorff, 2006; Worms). See merelise päritoluga karp levib Läänemeres kuni 40 meetri sügavuseni moodustades suuri kolooniaid (Selin *et al.*, 2006). Eesti vetes on söödava rannakarbi eluaeg 10-15 aastat, mille jooksul ta kasvab 3-4 cm pikkuseks. Söödav rannakarp on pikliku kujuga musta värvi paikse eluviisiga karp, kes kinnitub substraadile spetsiaalse kleepuva valkaine (büssuse) niidikeste abil (Jüssi *et al.*, 2011). Filtreerijana sõltub taimse hõljumi rohkusest eelistades intensiivse veevahetusega merealasad, nagu väinad ja rannikunõlvad. Söödava rannakarbi katvus oleneb jääst, sügavusest ja merevee läbipaistvusest, vähem setetest ja piirkonna avatusest lainetusele. (MTÜ EMÜ, 2012)



Joonis 2. Söödava rannakarbi (*Mytilus trossulus*) koloonia.
(<http://www.merebioloogia.ee/10585/>)

1.2.2. Hulkharjasussid (*Polychaeta*)

Läänemeres võõrliigina elutsev virgiinia keeritsuss ehk *Marenzelleria neglecta* talub hästi erinevaid soolsuse ja temperatuuri muutusi ning on vähenõudlik liik hapniku suhtes (TÜ EMI, 2008; Worms). Detrivooride hulka kuuluva keeritsussi seljasoomuseta rohekas või mustjas keha on kuni 16 cm pikkune ja 3 mm laiune (Joonis 3). Suudab tungida sügavale põhjasettesse ja ujuda ringi ka vabas vees. Sügavale kaevununa suurendab mere põhjasetete poorsust ja nende hapnikusisaldust, kuid muutub raskesti kättesaadavaks kaladele. Hea ujujana suudab vältida ebasoodsaid elupaiku ning kiiresti levida uutele merealadele, võib välja tõrjuda tavalise harjasliimuka ning selle kaudu vähendada kalade toidubaasi. Eesti vetest leiti virgiinia keeritsuss esmakordselt 1991. aastal. (Ojaveer *et al.*, 2011)



Joonis 3. Virgiinia keeritsussid (*Marenzelleria neglecta*).

(http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/elama/elioryhmat/elaimet/pohjaelaimet/fi_FI/pohjaelaimet/)

Samuti kuulub detrivooride hulka tavaline harjasliimukas ehk *Hediste diversicolor* (Joonis 4) (Veber *et al.*, 2009; Worms). See magestunud rannikuvee uss on levinud kõikjal Läänemeres (TÜ EMI, 2008). Värvilt võib varieeruda ja kasvab kuni 12 cm pikkuseks (EE). Asustab mudase settetüübiga alasid, elab kuni 20 cm põhjasettesse kaevunult (EOL).



Joonis 4. Tavalised harjasliimukad (*Hediste diversicolor*). (<http://www.sea.ee/huvitavat/10834/>)

1.2.3. Vähid (*Crustacea*)

Tavaline tõrvähk ehk *Amphibalanus improvisus* (Joonis 5) on filtreerijate toitumisrühma kuuluv mereline liik, talub vee tugevat magestumist ja kõrget soolsust, reostust ja eutrofeerumist. (Jüssi *et al.*, 2011; TÜ EMI, 2008; Veber *et al.*, 2009; Worms) Elab valdavalt rannalähedastes vetes sessiilse eluvormina kõvale substraadile kinnitunult (TÜ EMI, 2008). On paksu lubiplaadikestest kojaga loomad, kelle keha asub täielikult koja sees. Läänemerest leiti tavalist tõrvähki esmakordselt 1844. aastal. (Ojaveer *et al.*, 2011)



Joonis 5. Tavalised tõrvähid (*Amphibalanus improvisus*). (<http://www.sea.ee/huvitavat/10834/>)

Herbivooride hulka kuuluvad kirpvähid ehk *Gammarus* perekond (Joonis 6) (Veber *et al.*, 2009; Worms) elavad ranna lähedal taimestikuga kaetud merepõhjal, eelistavad liikuvat ja hapnikurikast vett (TÜ EMI, 2008). Läänemere kesk- ja põhjaosas levib kaheksa kirpvähi liiki. Kirpvähid on toiduobjektiks paljudele kaladele. (Jüssi *et al.*, 2011)



Joonis 6. Vöötkirpvähk (*Gammarus tigrinus*). (<http://www.sea.ee/huvitavat/10834/>)

Riimveelise päritoluga merikilk ehk *Saduria entomon* esineb kõikjal Läänemere piirkondades (Joonis 7) (TÜ EMI, 2008; Worms). Merikilk kuulub karnivooride hulka (Veber *et al.*, 2009), toitub koorikloomadest, surnud kaladest ja vähesel määral ka taimedest. Toiduotsingutel liigub süvikute ja madalveealade vahel. Merikilk on toiduks paljudele põhjatoidulistele kaladele, näiteks tursale ja angerjale. (Jüssi *et al.*, 2011)



Joonis 7. Merikilk (*Saduria entomon*). (<http://www.sea.ee/huvitavat/10834/>)

1.2.4. Teod (*Gastropoda*)

Ümarkeermene vesitigu ehk *Ecrobia ventrosa* ja lamekeermene vesitigu ehk *Peringia ulvae* (Joonis 8) kuuluvad toitumistüübilt detriivooride hulka (Kofoed, 1975; Worms). Elavad eelkõige madalas vees, taimestikuga kaetud aladel (TÜ EMI, 2008). Need kollased või pruunid spiraalse kujuga teod on umbes 5 mm pikkused ja 3 mm laiused. Neil on varieeruv arv kerde, mille kuju on erinev. Erineva kojakuju järgi tulevad ka nimed lame- ja ümarkeermene tigu (EOL).



Joonis 8. Lamekeermesed vesiteod (*Peringia ulvae*). (<http://eol.org/pages/620374/overview>)

1.3. Tähtsus

Põhjaloostastikul on oluline roll kogu Läänemere ökosüsteemis. Põhjaloostastiku kooslused esinevad ühelt poolt toitainete akumulatsioonina, kuna toituvad vetikatest, fütoplanktonist ja vette sattunud maise päritoluga orgaanilisest ainest, ning teiselt poolt toiduallikana erinevatele kala- ja linnuliikidele (Devlin *et al.*, 2013; TÜ EMI, 2012; Villnäs *et al.*, 2010). Põhjaloostastikust toituvad kalad on näiteks lest, angerjas, lõhe ja meriforell (TÜ EMI, 2012). Lindudest on põhjaloomad toiduks nii sügavama merega seotud aulidele, vaerastele ja hahkadele, kui ka madalama merega seotud sukelpartidele (sõtkas ja vardid) ning ujupartidele (Kalamees-Pani *et al.*, 2013).

Teatud liigid, mis kuuluvad filtreerijate toitumisrühma (söödav rannakarp ja rändkarp), on võimelised vähendama taimse hõljumi sisaldust vees ja parandama vee läbipaistvust (Veber ja Lauringson, Karbikas...). Näiteks suudab söödavate rannakarpidega asustatud merepõhi puhastada 50-280 m³ vett ööpäevas (TÜ EMI kodulehekül; TÜ, EMI, 2008; Jüssi *et al.*, 2011). Söödava rannakarbi kolooniad on kinnitussubstraadiks ka teistele põhjaloomadele ja makrovetikatele (Norling, 2009). Kaevunult põhjasubstraadis elavad põhjaloomastiku liigid rikastavad bioturbatsiooni ehk läbisegamise protsessis setteid hapnikuga (Lisa 1) (Pischedda *et al.*, 2008; Villnäs *et al.*, 2010).

Enamik põhjaloomastiku kooslustest on paiksed, pika elueaga ja koosnevad erineva stressitaluvusega liikidest, seega on põhjaloomastik heaks bioindikaatoriks merekeskkonna pikaajalisema seisundi hindamisel (Perus *et al.*, 2004; Zettler *et al.*,

2007). Samuti levivad liigid ulatuslikul alal ning koosluste sesoonne varieeruvus on väike, mis võimaldab keskkonnamõju hindamist vastavalt põhjasubstraadile kord aastas kogutud andmete põhjal. (TÜ EMI, 2005) Põhjaloostikku on lihtne kvantitatiivselt lugeda, liigid on teaduslikult palju uuritud ja taksonoomia on olemas (HELCOM COMBINE, 29.10.2013; Villnäs *et al.*, 2010).

2. PÕHJALOOMASTIKU LEVIKUT MÕJUTAVAD KESKKONNATEGURID LÄÄNEMERES

Põhjaloostastiku levikut, mitmekesisust ning koosluste struktuuri kujundab piirkonna erinevate abiootiliste ja biootiliste tegurite kombinatsioon. Abiootiliste tegurite hulka, mis mõjutavad põhjaloostastiku koosluste ruumilist ja ajalist varieeruvust, kuuluvad setete iseloom (Rousi *et al.*, 2013; Veber *et al.*, 2009), hapnikusisaldus põhjalähedases veekihis (Bonsdorff, 2006; Rousi *et al.*, 2013; Zettler *et al.*, 2007), veetemperatuur (Bonsdorff, 2006; Rousi *et al.*, 2013; Veber *et al.*, 2009), soolsus (Bonsdorff, 2006; Kotta *et al.*, 2007; Rousi *et al.*, 2013), sügavus (Kotta *et al.*, 2007; Veber *et al.*, 2009), lainetus (Kotta *et al.*, 2007; Veber *et al.*, 2009) ja jää mõju (Veber *et al.*, 2009).

Kõige paremini selgitab üksikutest abiootilistest teguritest koosluste jaotusmustreid soolsus (Laine, 2002), seades Läänemeres piirangud mageveelistele ja merelistele eluvormidele (MTÜ EMÜ, 2012). Soolsus väheneb Läänemere põhja- ja idaosa suunas (Bonsdorff *et al.*, 1999; Osowiecki *et al.*, 2008) ja selles piirkonnas on ka põhjaloostastiku liikide arv väiksem (Zettler *et al.*, 2007). Pikaajaliste muutuste puhul on enim mõjutavaks abiootiliseks teguriks veetemperatuur (Rousi *et al.*, 2013), mille suurenedes kasvab ka põhjaloostastiku bioloogiline produktiivsus (Devlin *et al.*, 2013; MTÜ EMÜ, 2012).

Olulisemateks biootilisteks teguriteks on liikidevaheline konkurents, hõljuva aine sisaldus põhjalähedases veekihis, kisklus ning põhjataimestiku koosluste iseloom madalas rannikumeres (TÜ EMI, 2012; TTÜ MSI, 2005).

Kuna käesoleva töö uuringuosa käsitleb põhjaloomastiku kooslustega toimuvaid muutusi sõltuvalt sügavusest ja settetüübist, on allpool põhjalikumalt väljatoodud nende kahe keskkonnateguri võimalikud mõjud kooslustele kirjanduse põhjal.

2.1. Settetüüp

Enamasti stabiilne põhjasubstraat määrab põhjaloomastiku levikumustrid. Põhjaloomastiku koosluste elupaigana eristatakse tavaliselt kaht põhjatüüpi: pehme ja kõva põhi. Pehme põhjade kooslusi iseloomustavad settinud ainekogumised ehk detriivoorid, kes elavad peamiselt pehmesse settesse kaevununa (Bonsdorff, 2006; Worms).

Pehme põhja kooslused võivad erineda omavahel ka sõltuvalt sette terasuurusest. Vähem erinevusi põhjaloomastiku koosluste vahel on leitud liivmuda, liivsavi ja mudase settetüübiga aladel. Suurimad erinevused koosluste struktuuris on liivaste ning savimudaste põhjade vahel. Liivaseid põhjasid asustavad enamasti filtreerivad karbid. Herbivooride arvukus ja biomass on samuti kõrgem jämedateralisel settel (Veber *et al.*, 2009). Savimudastel põhjadel domineerivad detriivooridest karbid ja kiskjad, eelistades settiva orgaanilise ainega alasid. (Kotta *et al.*, 2007; TÜ EMI, 2005)

Kõvade põhjade kooslustes domineerivad fütoplanktonist toituvad filtreerijad, kes elavad kinnitunult kivide küljes. (Bonsdorff, 2006; Worms).

2.2. Sügavus

Sügavus mõjutab põhjaloomastikku peamiselt settetüübi iseloomu, vee liikumise, hapnikusisalduse ja põhjataimestiku leviku kaudu (TÜ EMI, 2009). Rannikule lähedases madalas piirkonnas esinevad peamiselt jämedateralised liivased või kivised põhjataimestikuga kaetud põhjad, mõjutades positiivselt filtreerijate ja herbivooride levikut. Madala rannikumere suurem hüdrodünaamiline aktiivsus, võrreldes

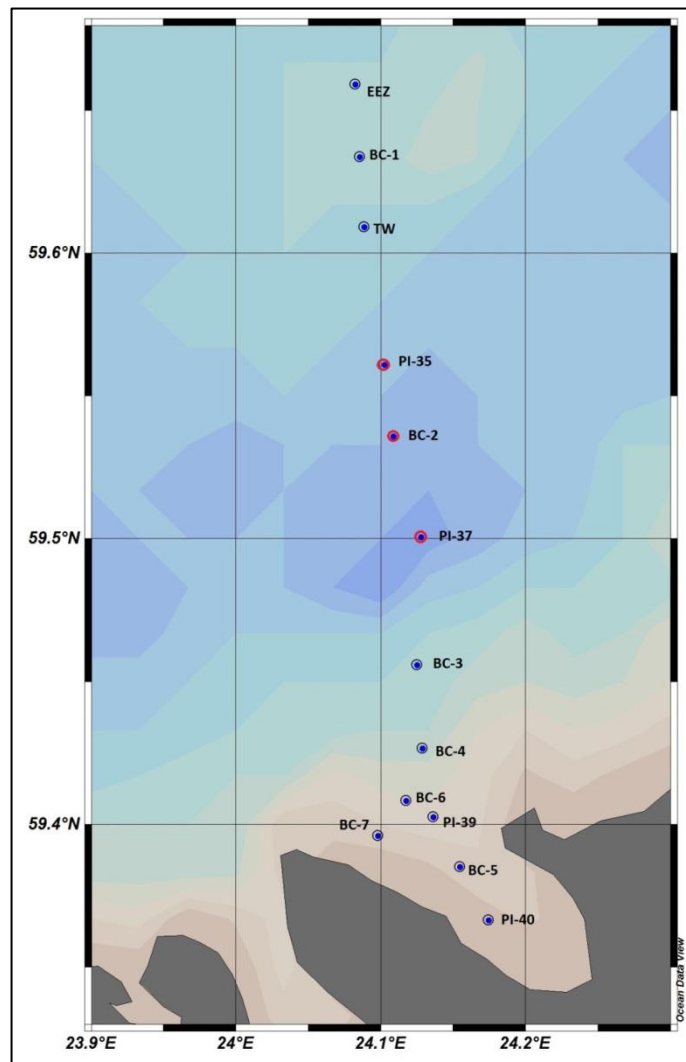
sügavama veega, soodustab samuti filtreerijate esinemist, parandades nende toidu kättesaadavust. (Kotta *et al.*, 2007; TÜ EMI, 2012).

Sügavas afootses vees puudub põhjataimestik ja jämedateraline põhjasubstraat asendub peeneteraliste setetega. Sügavas vees on reeglina madal hüdrodünaamiline aktiivsus ja toimub intensiivne orgaanilise aine settimine, mis hapniku juuresolekul loob soodsaid elutingimusi settinud ainest toituvatele põhjaloomadele ehk detriivooridele. (Kotta *et al.*, 2007; TÜ EMI, 2005)

3. PÕHJALOOMASTIKU KOOSLUSTE LEVIKU UURING SOOME LAHE LÄÄNEOSA NÄITEL

3.1. Proovide kogumine

Balticconnector torujuhtme rajamisega seotud merekeskkonna uuringu käigus teostati põhjaloomastiku proovide kogumine piki kaldaga risti kulgevat transekti algusega Lahepere lahe lõunaosas ja lõpuga Soome lahe keskosas, kokku kolmeteistkümnest jaamast (Joonis 9). Põhjaloomastiku proovid koguti TTÜ Meresüsteemide Instituudi uurimislavaga Salme 3.-4. juulil 2013 aastal ligikaudu 33 km pikkuselt uuringualalt. Proovivõtu punktid, mille koordinaadid määrati GPS seadmega, valiti põhimõttel, et terve uuritav piirkond oleks esindatud. Proovivõtmise käigus registreeriti ka proovivõtu sügavust, põhjalähedase veekihi temperatuuri, soolsust ja hapnikusisaldust. Igas proovivõtujaamas koguti põhjaloomastiku proovid kolmes korduses, et saada usaldusväärsemad tulemused. Proovid koguti kasutades Van Veen põhjakoppa haardepindalaga 0.1 m². (TTÜ MSI, 2013)



Joonis 9. Põhjaloostiku ja –setete proovivõtupaigad. Punasega on märgitud proovivõtupaigad, kus esines anoksia ja puudus põhjaloostik. (TTÜ MSI, 2013)

Välitööde käigus saadud põhjaloostiku proovid sõeluti laeva pardal läbi sõela võrgusilmaga 0.25 mm. Iga proov sõeluti, dokumenteeriti ja hoiustati eraldi. Proovid pakiti kilekottidesse, mis varustati vastava proovi informatsiooniga – kuupäev, koht, sügavus, proovivõtuvahend ja proovi number. Võetud proovid külmutati ning hoiti kuni laboratoorse analüüsini sügavkülmas -20°C juures. (TTÜ MSI, 2013)

Põhjaloostiku proovide laboratoorne analüüs teostati Tallinna Tehnikaülikooli Meresüsteemide Instituudi Mereökoloogia laboris. Kõik proovid vaadati läbi

stereomikroskoobi Olympus SZX7 abil kasutades 8-56 kordset suurendust. Igas proovis määrati põhjaloomastiku liigiline koosseis, arvukus ja biomass kuivkaaluna. Kuivkaalu leidmiseks kuivatati isendeid Sanyo MOV-212F tüüpi kuivatusahjus 60°C juures konstantse kaalu saavutamiseni (kuni 48 tundi) ning kaaluti analüütilisel kaalul Mettler Toledo AB104-S/FACT. Analüüsimisel saadud arvukuse ja biomassi väärtused arvutati ühe ruutmeetri merepõhja kohta. (TTÜ MSI, 2013)

Settetüübi määramiseks koguti igas jaamas põhjasetteproovid settekihist 0-20 cm. Proovide kogumisel üheksast jaamast (EEZ kuni BC-6) kasutati Niemistö setteproovivõtjat. Ülejäänud jaamades (PI-39, BC-7, BC-5, PI-40) ei olnud võimalik Niemistö setteproovivõtja kasutamine jämeteralise substraadi tõttu, sellepärast koguti proovid Van Veen settekopaga. Kogutud setteproovid pakiti ja sildistati. Setteproovid analüüsiti Ramboll Analytics laboris, kus tehti setete lõimisanalüüs ning määrati kogu orgaanilise süsiniku osakaal proovi kuivkaalu kohta (TOC, %). (TTÜ MSI, 2013)

Põhjaloomastiku proovide kogumisel ja analüüsil kasutati HELCOM poolt väljatöötatud juhendeid. (HELCOM COMBINE, 29.10.2013)

3.2. Andmete analüüs

Koosluste kirjeldamiseks arvutati igas proovivõtijaamas saadud andmete põhjal Shannon-Wiener'i mitmekesisuse indeks, mis on kõige enam levinud mitmekesisuse mõõde. Antud indeks põhineb arvukusel ning on leitav valemiga:

$$H' = -\sum_i p_i \log(p_i), \quad (1)$$

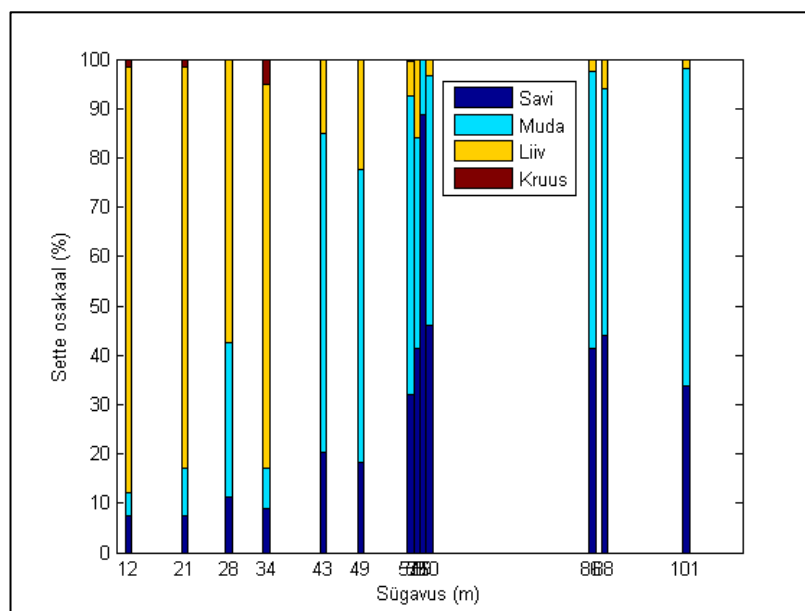
kus p_i näitab ühe liigi arvukuse ja kõigi liikide arvukuse suhet ühes kopaproovis. (Clarke *et al.*, 2001)

4. TULEMUSED

4.1. Põhjasetete analüüsi tulemused

Saadud lõimiseanalüüsi tulemuste interpreteerimisel kasutati järgmist setete geoloogilist liigitust terasuuruse alusel (mm): kruus = 2.0-64.0; liiv = 0.063-2.0; muda (aleuriit) = 0.002-0.063; savi (peliit) \leq 0.002. (TTÜ MSI, 2013)

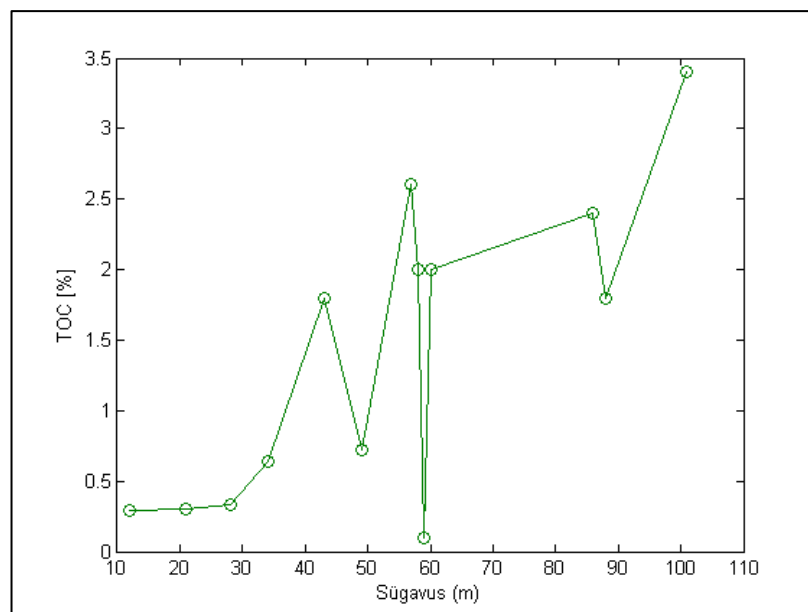
Setete terasuurus varieerus proovivõtupaikade vahel. Sügavamates ja rannikust kaugemal asuvates jaamades domineerisid peeneteralised setted (rohke savi- ja mudasisaldusega), mis rannikule lähenemisel ja sügavuste vähenemisel asendusid jämedateraliste setetega (Joonis 10). (TTÜ MSI, 2013)



Joonis 10. Setete struktuur proovivõtupunktides.

Kõige suurema oli sette savisisaldus jaamas TW, 88.6% (Tabel 1). Jaamades EEZ, BC-1, PI-35, BC-2, PI-37, BC-3 varieerus savi sisaldus vahemikus 31.9-46.1%. Savist suurema terasuurusega muda, esines nendes jaamades osakaaluga 40-65%. Liiva osakaal oli 15% ja alla selle. Proovivõtujaamades BC-4 ja BC-6 oli savisisaldus vastavalt 18.4 ja 20.3%, suurema osa settest (60-65%) moodustas muda ning liiva osakaal oli vahemikus 15-23%. Lahepere lahe suudmes (PI-39, BC-7) ja lahe sees asuvates jaamades (BC-5, PI-40) olid valdavaks kõige jämedamad ehk suurema teraga setted. Savi osakaal setetes oli vaid vahemikus 7.4-11.4%. Nende jaamade setetes leidis suurema osakaaluga liiva, vähemalt 55%. Kõige suurem liivasisaldus (ca 85%) oli jaamas PI-40. Peale jaama PI-39 esines kõigis proovides ka kruusa. Kruusa sisaldus proovides oli alla 10%. (TTÜ MSI, 2013)

Kogu orgaanilise süsiniku sisaldus setetes (TOC, %) näitas üldiselt suurenemistendentsi sügavusega (Joonis 11) ja oli suurem jaamades, mille setted sisaldasid rohkem muda ja savi (Tabel 1). Kõige kõrgemad TOC väärtused olid jaamades BC-2, PI-37 ja BC-3.



Joonis 11. Kogu orgaanilise süsiniku (TOC, %) sisalduse muutused uurimispäikonna setetes sõltuvalt sügavusest.

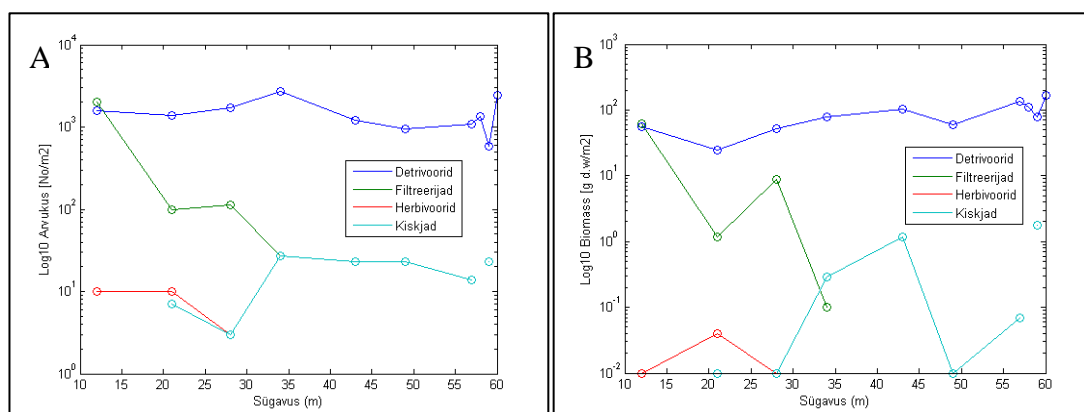
Tabel 1. Proovivõtu jaamades mõõdetud parameetrid. (TTÜ MSI, 2013)

Jaam	Kuupäev	Aeg	N	E	Sügavus, m	Soolsus, psu	Temp, °C	O ₂ (põhi), mg/L	TOC, m-%	Kruus, %	Liiv, %	Muda, %	Savi, %	Liikide arv jaamas	Shannon indeks
EEZ	3.07.2013	13:10	59°39.550	24°04.996	60	7.73	3.25	7.7	2	0	3.5	50.4	46.1	3	0.06
BC-1	3.07.2013	14:20	59°37.986	24°05.172	58	7.27	2.58	10.2	2	0	16	42.5	41.5	3	0.14
TW	3.07.2013	15:15	59°36.475	24°05.273	59	7.51	2.93	8.6	0.1	0	0	11.4	88.6	4	0.46
PI-35	3.07.2013	17:25	59°33.625	24°06.106	88	9.32	4.76	0.21	1.8	0	6	50.1	43.9	0	-
BC-2	3.07.2013	18:28	59°31.939	24°06.491	86	9.43	4.84	0.16	2.4	0	2.5	56.1	41.4	0	-
PI-37	3.07.2013	19:19	59°29.867	24°07.541	101	9.81	5.04	0.12	3.4	0	2	64.3	33.7	0	-
BC-3	3.07.2013	21:15	59°27.375	24°07.445	58	7.23	2.57	9.72	2.6	0.5	7	60.6	31.9	6	0.75
BC-4	3.07.2013	22:07	59°25.653	24°07.658	49	7.01	2.36	11.08	0.72	0	22.5	59.1	18.4	5	1.23
BC-6	3.07.2013	22:42	59°24.515	24°07.010	43	6.77	2.88	11.61	1.8	0	15	64.7	20.3	7	1.25
PI-39	4.07.2013	0:28	59°24.204	24°08.280	34	6.5	4.31	11.6	0.33	0	57.5	31.1	11.4	9	1.17
BC-7	3.07.2013	23:17	59°23.822	24°06.022	28	6.33	6.23	10.53	0.64	5	78	8.2	8.8	13	1.29
BC-5	4.07.2013	0:51	59°23.130	24°09.218	21	5.86	16.63	9.58	0.3	1.5	81.5	9.6	7.4	11	1.57
PI-40	4.07.2013	1:12	59°22.037	24°10.475	12	5.88	16.95	9.43	0.29	1.5	86.5	4.6	7.4	17	1.62

4.2. Põhjaloomastiku analüüsi tulemused

Laboris analüüsisime põhjaloomastiku proovid kümnest jaamast. Kolmest jaamast (PI-35, BC-2 ja PI-37) kogutud proovide põhjasetete sõelumise käigus loomastikku ei leitud (Joonis 9). Nendes jaamades mõõdetud põhjalähedase veekihi hapnikusisaldus varieerus vahemikus 0.12-0.21 mg/l (Tabel 1), mis omakorda näitab anoksiat nendes jaamades (Gray *et al.*, 2002). Samuti oli proovivõtmise käigus tunda nende jaamade setetest tugevat divesiniksulfiidi (H₂S) lõhna. (TTÜ MSI, 2013)

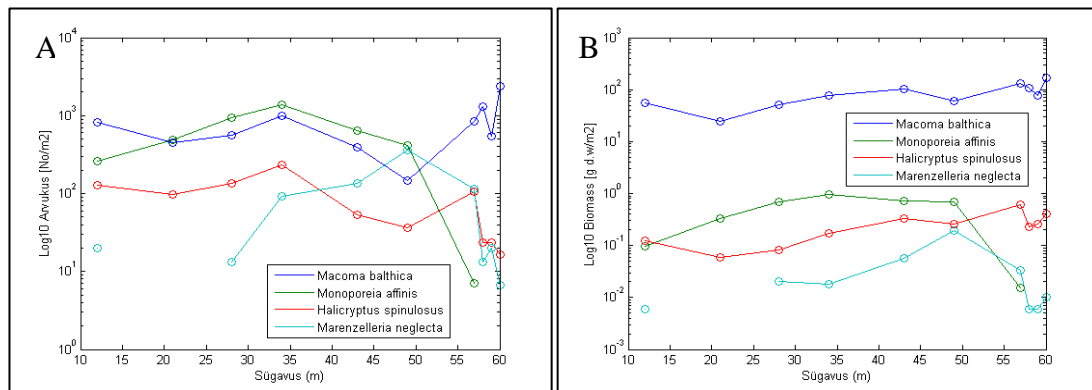
Kokku leidsime kogutud proovidest 19 põhjaloomastiku liiki (Lisa 2) sügavusvahemikus 12-60 m. Kõige arvukamalt ja suurema biomassiga esinesid uuritud piirkonnas detriivoorid (Joonis 12). Detriivooridest domineerisid balti lamekarp (*Macoma balthica*), harilik silinderkärslane (*Halicryptus spinulosus*), virgíinia keeritsuss (*Marenzelleria neglecta*) ja tavaline harjaslabane (*Monoporeia affinis*).



Joonis 12. Põhjaloomastiku erinevate toitumisrühmade arvukuste (A) ja biomasside (B) muutused uurimispiirkonnas sõltuvalt sügavusest.

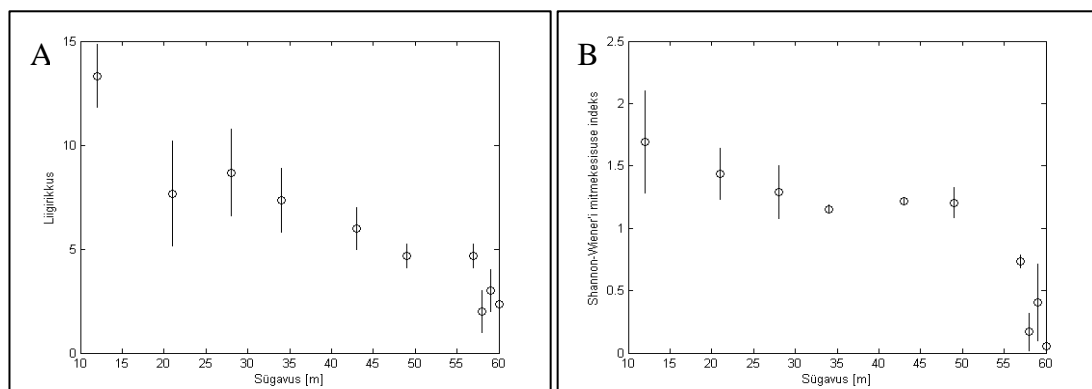
Herbivooride ja filtreerijate hulka kuuluvad põhjaloomad esinesid vaid madalamates jaamades, sügavusvahemikus 12-34 m. Filtreerijatest leidsid eelnimetatud proovivõtujaamades söödav rannakarp (*Mytilus trossulus*), liiva-uurikkarp (*Mya arenaria*), söödav südakarp (*Cerastoderma glaucum*) ja tavaline tõruvähk (*Amphibalanus improvisus*). Söödav rannakarp domineeris biomassi ja arvukuse poolest kõige madalamas jaamas PI-40, sügavusel 12 m. Herbivoorid olid esindatud vaid kolme liigina, need olid mere kirpvähk (*Gammarus salinus*), valgelaup-kakand (*Jaera albifrons*) ja rändtigu (*Potamopyrgus antipodarum*) ning nende arvukus analüüsitud proovides oli väike. Sarnaselt herbivooridega esinesid väikese arvukusega ka karnivoorid ehk kiskjad. Karnivoorid olid arvukamad sügavamates jaamades ning olid esindatud kahe liigina: merikilk (*Saduria entomon*) ja soomususs (*Bylgides sarsi*).

Kuna uuritud piirkonna põhjaloomastiku esmaanalüüsi tulemusena selgus, et detrivoorid on antud uurimispiirkonnas domineerivaks rühmaks, on käsitletud käesolevas töös ka eraldi detrivoorsete võtmeliikide biomassi ja arvukuse muutuseid sõltuvalt sügavusest ja settestruktuurist. Meie tulemused näitasid, et balti lamekarp ja harilik silinderkärslane esinesid kõigis sügavustes ja settetüüpides (Joonis 13). Virgiinia keeritsuss puudus ainult proovivõtujaamas BC-5. Tavaline harjaslabane oli registreeritud rannikule lähedastes jaamades ja puudus kaugemates jaamades Soome lahe keskel. Balti lamekarp ja tavaline harjaslabane domineerisid arvukuse poolest, kuid balti lamekarp lisaks ka biomassi poolest. Üldiselt balti lamekarbi ja hariliku silinderkärslase biomassid suurenesid sügavuse ja TOC sisaldusega setetes. Kuid silinderkärslase arvukus oli suurem madalates jaamades, kus domineerivaks settetüübiks oli liiv.



Joonis 13. Detrivooridest võtmeliikide arvukuse (A) ja biomassi (B) muutused sõltuvalt sügavusest.

Koosluste mitmekesisus, mis väljendub liigilise koosseisu ja mitmekesisuse indeksi (H') kaudu oli madalam sügavamates (58-60 m) ja kaldast kaugemal asuvates jaamades (EEZ, BC-1, TW). Liikide arv nendes jaamades oli 3-4 ja Shannon indeks varieerus vahemikus 0.06-0.46 (Tabel 1; Joonis 14). Vahepealsetes jaamades (BC-3, BC-4, BC-6), mis asusid sügavusvahemikus 43-58 m, varieerusid liikide arv ja mitmekesisuse indeks vastavalt 5-7 ja 0.75-1.25. Madalamates (sügavusvahemikus 12-34 m) ja suurema liiva sisaldusega jaamades (PI-39, BC-7, BC-5, PI-40; Joonis 10) olid võrreldes teiste jaamadega kõige liigirikkamad ja mitmekesisemad kooslused, mis koosnesid 9-17 liigist. Nendes proovivõtupaikades olid ka kõrgemad mitmekesisuse indeksid, 1.17-1.62 (Joonis 14).



Joonis 14. Liikide arvu (A) ja Shannon mitmekesisuse indeksi (H') (B) väärtuste muutused sõltuvalt sügavusest.

4.3. Kokkuvõte läbiviidud uuringust

Vastavalt saadud tulemustele varieerusid põhjaloomastiku kooslused märkimisväärselt sügavuse ja settetüübi lõikes. Üldiselt võib uurimispiirkonna, kus põhjaloomastik esines, jagada kolmeks osaks: Lahepere lahe rannikulähedane madal osa (PI-40, BC-5, BC-7), sügavam lahe suudmeosa ja seda ümbritsev meri (PI-39, BC-6, BC-4) ning sügav avameri (BC-3, TW, BC-1, EEZ).

Detriivoorid domineerisid teiste toitumisrühmade üle kogu uuritud piirkonnas sõltumata põhjatüübist ja sügavusest. Balti lamekarp esines kõikides jaamades suure arvukuse ja biomassiga.

Lahepere lahe rannikulähedases madalas osas oli domineerivaks põhjasubstraadiks liiv. Seda uurimispiirkonna osa iseloomustasid mitmekesisemad kooslused kõige suurema liikide arvuga. Siin esinesid kõik põhjaloomastiku toitumisrühmad. Kõige arvukamalt olid esindatud detriivoorid ja filtreerijad, vähemal määral esines kiskjaid ja herbivoore. Detriivooride ja kiskjate arvukused suurenesid antud piirkonnas sügavuse suurenemisega, filtreerijate ja herbivooride arvukused vähenesid. Lahepere lahe suudmeosa võib nimetada vahepealseks piirkonnaks. Siin domineerisid detriivoorid ja kiskjad. Üldiselt detriivooride arvukused vähenesid antud piirkonnas, biomassid aga suurenesid. Liikide mitmekesisus oli võrreldes eelmise osaga madalam.

Avamere sügavamas osas domineerisid peeneteralised põhjad suurema savisisaldusega. Antud piirkond oli kõige madalama mitmekesisusega, samuti siin puudusid herbivoorid ja filtreerijad. Balti lamekarbi arvukused ja biomassid olid antud piirkonnas suuremad võrreldes teiste piirkondadega. Ülejäänud detriivooride arvukused vähenesid antud piirkonnas.

KOKKUVÕTE

Bentiliste koosluste liigiline koosseis sõltub tavaliselt põhjasubstraadist, sügavusest, ranniku avatusest lainetusele, hapniku kättesaadavusest ja soolsusest. Põhjaloostiku koosluste oluliseks osaks on pika elueaga liigid, mis seeläbi võivad olla head bioindikaatorid keskkonnaseisundi muutustele. (HELCOM COMBINE, 26.10.2013)

Käesolev lõputöö uuris sügavuse ja settetüübi mõju pehme põhja makropõhjaloostiku kooslustele. Uuringuala sügavamates jaamades (58-60 m) esines kõigest kolm kuni neli liiki ühes proovivõtupunktis. Võtmeliikidena esinesid neis jaamades balti lamekarp, harilik silinderkärslane ja virgiinia keeritsuss. Sügavusvahemikus 43-58 m leidus kooslustes viis kuni seitse liiki, lisaks eelnevatele võtmeliikidele lisandusid ka tavaline harjaslabalane ja soomususs. Madalate jaamade (12-34 m) kooslustes esines kuni seitseteist liiki, domineerisid karbiliigid. Uuringuala settetüüp muutus kruusast ja liivast Lahepere lahe sees muda ja savini avamere aladel.

Tulemused näitasid, et sügavus ja settetüüp olid kõige olulisemad keskkonnategurid, mis mõjutasid põhjaloostiku koosluste struktuuri ja mitmekesisust. Sügavuse ja settetüübi lõikes muutusid kooslused enamasti sõltuvalt põhjaloostiku toitumistüübist. Kooslused olid liigirikkamad jämedateralise settetüübiga Lahepere lahe sees, mis tähendab, et üldiselt vähenes liigirikkus sügavuse suurenedes. Settetüübi poolest jaotusid põhjaloostid kahte suuremasse rühma – pehme jämedateralise ja pehme peeneteralise sette kooslused.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et ranniku- ja avamere kooslused eristusid selgelt üksteisest. Kooslused muutusid liigirikkamaks jämedateralise settetüübiga madalamates piirkondades. Pehme põhja üks levinumaid dominantliike – balti lamekarp – asustas uurimistransekti täies ulatuses (välja arvatud hapnikupuuduses proovivõtupunktid).

ABSTRACT

This paper is based on the analysis of zoobenthic communities from Lahepere bay of Estonian coastal sea and its region up to off-shore area. The samples were collected on 3.-4. July of 2013 from thirteen stations using Van Veen grab with the opening area of 0.1 m². From three stations no zoobenthos was found due to absence of oxygen in the near bottom layer. Bottom macrofauna was identified to the species level, abundance and dry biomass were also determined.

In deeper areas of the study (57-60 m) only two to four species were found in each sampling station, whereas key species included *Macoma balthica*, *Halicryptus spinulosus* and *Marenzelleria neglecta*. In depth range 43-57 m the species composition consisted of five to seven species, including key species *Monoporeia affinis* and *Bylgides sarsi* in addition to previous. Shallower stations (12-34 m) had up to 17 species in one community, key species included bivalves. The results showed that zoobenthic communities were more diverse in the shallow Lahepere Bay with coarse sediment type. The sediment type changed from gravel and sand to mud or clay from the southern part of the Lahepere Bay towards the open sea area.

The observed coastal and deep water communities were clearly distinguished from each other. Depth and clay-mud-sand proportion in the sediment were the most important environmental factors that explain composition and diversity of macrozoobenthic communities. Also the performed analysis indicated a significant relationship between biomass of several deposit feeders (*Macoma balthica*, *Halicryptus spinulosus*) and content of the total organic carbon (TOC) in the sediment.

This paper is based on a study ordered by Ramboll Eesti AS to analyse the environmental conditions and status of macrofauna communities in Lahepere bay and outside it before performing an environmental impact assessment (EIA) related to Balticconnector gas pipeline construction on the sea bottom.

KASUTATUD KIRJANDUS

Artiklid:

Bonsdorff, E. (2006). Zoobenthic diversity-gradients in the Baltic Sea: Continuous post-glacial succession in a stressed ecosystem. – *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 330, 383–391.

Bonsdorff, E., Pearson, T. H. (1999). Variation in the sublittoral macrozoobenthos of the Baltic Sea along environmental gradients: a functional-group approach. – *Australian Journal of Ecology*, 24, 312-326.

Devlin, S., Vander Zanden, M. J., Vadeboncoeur, Y. (2013). Depth-specific variation in carbon isotopes demonstrates resource partitioning among the littoral zoobenthos. – *Freshwater Biology*, 58, 2389–2400.

Fink, P., Von Elert, E. (2006). Physiological responses to stoichiometric constraints: nutrient limitation and compensatory feeding in a freshwater snail. – *Oikos*, 115, 484-494.

Gray, J. S., Wu, R. S., Or, Y. Y. (2002). Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. – *Marine Ecology Progress Series*, 238, 249-279.

Jansen, A., Gotthardt, T. A. (2005). Baltic *Macoma*. – *State Conservation Status, Element Ecology & Life History*.

Kofoed, L. H. (1975). The feeding biology of *Hydrobia ventrosa* (Montagu). II. Allocation of the components of the carbon-budget and the significance of the secretion of dissolved organic material. – *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 19 (3), 243–256.

Kolesova, N., Raudsepp, U., Alari, V. (2010). Dominant zoobenthic species in the northwestern coastal sea of Estonia – potential role of abiotic stresses. – *Baltic International Symposium (BALTIC), 2010 IEEE/OES US/EU*.

- Kotta, J., Lauringson, V., Kotta, I. (2007). Response of zoobenthic communities to changing eutrophication in the northern Baltic Sea. – *Hydrobiologia*, 580, 97-108.
- Laine, A. O. (2002). Distribution of soft-bottom macrofauna in the deep open Baltic Sea in relation to environmental variability. – *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57, 87-97.
- Norling, P. (2009). Importance of blue mussels for biodiversity and ecosystem functioning in subtidal habitats. – *Department of System Ecology, Stockholm Univeristy*.
- Osowiecki, A., Łysiak-Pastuszak, E., Piątkowska, Z. (2008). Testing biotic indices for marine zoobenthos quality assessment in the Polish sector of the Baltic Sea. – *Journal of Marine Systems*, 74, 124–132.
- Perus, J., Bäck, S., Lax, H.-G., Westberg, V., Kauppila, P., Bonsdorff, E. (2004). Coastal marine zoobenthos as an ecological quality element: a test of environmental typology and the European Water Framework Directive. – *Coastline Reports* 4, 27 – 38.
- Pierścieniak, K., Grzymała, J., Wołowicz, M. (2010). Differences in reproduction and condition of *Macoma balthica* and *Mytilus trossulus* in the Gulf of Gdańsk (Southern Baltic Sea) under anthropogenic influences. – *International Journal of Oceanography and Hydrobiology*, 39 (4), 17-32.
- Pischedda, L., Poggiale, J. C., Gilbert, F. (2008). Imaging Oxygen Distribution in Marine Sediments. The Importance of Bioturbation and Sediment Heterogeneity. – *Acta Biotheoretica*, 56, 123-135.
- Rousi, H., Laine, A. O., Peltonen, H., Kangas, P., Andersin, A.-B., Rissanen, J., Sandberg-Kilpi, E., Bonsdorff, E. (2013). Long-term changes in coastal zoobenthos in the northern Baltic Sea: role of abiotic environmental factors. – *ICES Journal of Marine Science*, 70, 440-451.

Selin, N. I., Lysenko, V. N. (2006). Size and Age Composition of Populations and Growth of *Mytilus trossulus* (Bivalvia: Mytilidae) in the Subtidal Area of Western Kamchatka. – *Russian Journal of Marine Biology*, 32 (6), 360-368.

Zettler, M. L., Schiedek, D., Bobertz, B. (2007). Benthic biodiversity indices versus salinity gradient in the southern Baltic Sea. – *Marine Pollution Bulletin*, 55, 258–270.

Veber, T., Kotta, J., Lauringson, V., Kotta, I. (2009). Influence of the local abiotic environment, weather and regional nutrient loading on macrobenthic invertebrate feeding groups in a shallow brackish water ecosystem. – *Oceanologia*, 51 (4), 541-559.

Villnäs, A., Perus, J., Bonsdorff, E. (2010). Structural and functional shifts in zoobenthos induced by organic enrichment – Implications for community recovery potential. – *Journal of Sea Research*, 65, 8–18.

Raamatud:

Clarke, K. R., Warwick, R. M. (2001). *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. 2nd ed. PRIMER-E: Plymouth.

Hayward, P. J., Ryland J. S. (2008). *Handbook of Marine Fauna of North-West Europe*. Oxford University Press.

Jüssi, I., Kalamees, A., Kuris, M., Kuus, A., Martin, G., Möller, T., Vetemaa, M. (2011). *Väärtuslikud avameremadalikud Eesti vetes*. MTÜ Balti Keskkonnafoorum.

Kalamees-Pani, K., Runnel, V. (2013). *Lindude elupaigad: Õppekogumik*. Tartu Ülikooli loodusmuuseum. [WWW]

http://natmuseum.ut.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1189225/Oppekogumik_Lindude_elupaigad_2013.pdf (02.05.2014)

Masing, V. (1992). *Ökoloogialeksikon*. Tallinn: Eesti Entsüklopeediakirjastus.

Ojaveer, H., Eek, L., Kotta, J. (2011). *Vee võõrliikide käsiraamat*. Tallinn. [WWW]
<http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1170275/Vee+v%F5%F5rl iikide+k%E4siraamat.pdf> (02.05.2014)

Ruskule, A., Kuris, M., Leiputè, G., Vetemaa, M., Zableckis, Š. (2009). *Läänemeri: meie ühine ja kordumatu aare*. Tallinn: Raamatutrukikoda. [WWW]
http://www.visitbalticsea.net/download/Book_EE.pdf (02.05.2014)

Aruanded:

MTÜ Eesti Merebioloogia Ühing (EMÜ), (2012). *Ruumilise planeerimise jaoks bioloogiliste anmdekihtide ettevalmistamine Hiiu maakonna merealal*. Tallinn.

TTÜ Meresüsteemide Instituut (MSI), (2005). *Paldiski Põhjasadama süvendusaegne aruanne*. Tallinn.

TTÜ Meresüsteemide Instituut (MSI), (2013). *Balticconnector gaasijuhtme rajamisega seotud merekeskkonna uuring*. Tallinn.

TÜ Eesti Mereinstituut (EMI), (2005). *Rannikuvee tüüpide interkalibreerimine*. Tallinn. [WWW]

http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1098676/Rannikuvee_t%FCpide_interkalibreerimine_aruanne.pdf (02.05.2014)

TÜ Eesti Mereinstituut (EMI), (2008). *Hiiumaa looderanniku offshore tuulepargi merepõhjaelustiku ja –elupaikade inventuur*. Tallinn. [WWW]

<http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1170186/Lisa+5+merep%F5hjaelustik.pdf> (02.05.2014)

TÜ Eesti Mereinstituut, (EMI) (2009). *Pakrineeme detailplaneeringu keskkonnamõju strateegiline hindamine: rannikumere põhjaloomastiku, -elupaikade ja kalastiku inventuur ning merevee kvaliteedi hinnang*. Tallinn.

TÜ Eesti Mereinstituut (EMI), (2012). *Eesti mereala keskkonnaseisundi esialgne hindamine. Aruanne EL-i merestrateegia raamdirektiivi artikkel 8-st tulenevate riiklike kohustuste täitmiseks*. Tallinn. [WWW]

http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1188071/IA_aruanne.pdf
(02.05.14)

Muud:

Eesti Entsüklopeedia (EE). [WWW]

http://entsyklopeedia.ee/artikkel/eesti_mereselgrootud (24.02.2014)

Encyclopedia of Life (EOL). [WWW] <http://eol.org/> (24.02.2014)

HELCOM COMBINE. Manual for Marine Monitoring in the COMBINE Programme of HELCOM. [WWW] <http://helcom.fi/action-areas/monitoring-and-assessment/manuals-and-guidelines/combine-manual/> (27.02.2014)

Herkül, K. (2010). Effects of physical disturbance and habitat-modifying species on sediment properties and benthic communities in the northern Baltic Sea: doktoritöö. Tartu Ülikool, Tartu.

Keskkonnaministeeriumi kodulehekül. [WWW] <http://www.envir.ee/471030>
(02.05.2014)

Lauringson, V. (2005). Eutrofeerumise mõju põhjaloomastiku kooslustele Eesti rannikumeres: magistritöö. Tartu Ülikool, Tartu.

TÜ Eesti Mereinstituudi (EMI) kodulehekül. [WWW]

<http://www.sea.ee/huvitavat/10834/> (24.02.2014)

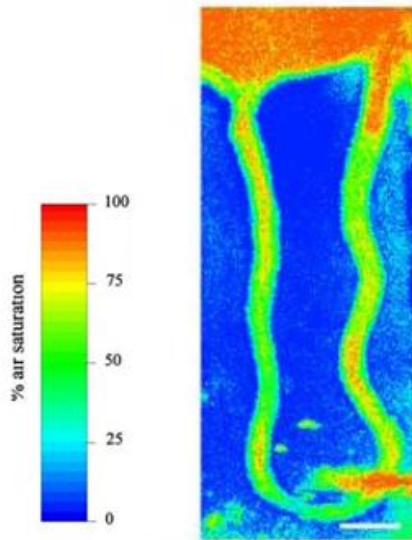
Veber, T., Lauringson, V. Karbikasvatuse võimalused Läänemeres. [WWW]

<http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1206508/KKM+seminar+TV+VL.pdf> (02.05.2014)

World Register of Marine Species (Worms). [WWW] <http://www.marinespecies.org/>
(24.02.2014)

LISAD

Lisa 1. Näide tavalise harjasliimuka poolt põhjustatud hapniku jaotusest settes.
(Pischedda *et al.*, 2008)



Lisa 2. Põhjaloostiku liikide arvukuse (ind/m²) ja biomassi (g/m²) keskmised väärtused uurimispiirkonnas.

	EEZ		BC-1		TW		BC-3		BC-4		BC-6		PI-39		BC-7		BC-5		PI-40		
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
Detritivoorid	<i>Macoma balthica</i>	2410	166.85	1293	108.49	543	77.31	843	133.31	147	59.13	390	102.5	993	78.06	553	51.27	453	24.24	820	55.15
	<i>Corophium volutator</i>																			10	0.01
	<i>Monoporeia affinis</i>							7	0.02	410	0.69	613	0.72	1357	0.95	943	0.70	487	0.33	233	0.10
	<i>Pontoporeia femorata</i>											23	0.08	7	0.01					27	0.01
	<i>Ecrobia ventrosa</i>															3	0.01			73	0.22
	<i>Peringia ulvae</i>																	10	0.03	73	0.17
	<i>Marenzelleria neglecta</i>	7	<0.00	13	0.01	20	0.01	113	0.03	363	0.20	133	0.06	93	0.02	13	<0.00			20	0.01
	<i>Halicryptus spinulosus</i>	17	0.40	23	0.23	23	0.26	107	0.61	37	0.25	53	0.33	233	0.17	133	0.08	97	0.06	127	0.12
	<i>Chironomidae</i>															10	<0.00	3	<0.00	37	0.01
	<i>Oligochaeta</i>													10	<0.00	37	<0.00	323	0.01	143	0.01
Filtreerijad	<i>Mytilus trossulus</i>															30	7.07	67	1.05	1827	58.97
	<i>Cerastoderma glaucum</i>																			20	0.39
	<i>Mya arenaria</i>													27	0.10	80	1.61	33	0.12	67	2.16
	<i>Amphibalanus improvisus</i>															3	0.01			107	0.70
Herbivoorid	<i>Gammarus salinus</i>																			3	0.01
	<i>Jaera albifrons</i>																			7	<0.00
	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>															3	0.01	10	0.04		
Kiskijad	<i>Saduria entomon</i>				23	1.76	7	0.07			3	1.17	20	0.29	3	<0.00	7	0.01			
	<i>Bylgides sarsi</i>						7	<0.00	23	0.01	20	0.01	7	<0.00							