

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Loodusteaduskond
meresüsteemide instituut

**BAKTERITE ARVUKUS JA BAKTERIPLANKTONI
FENOTÜÜPILINE STRUKTUUR NING AJALINE
MUUTLIKKUS SOOME LAHE RISTLÕIKE
EUFOOTILISES TSOONIS**

Magistritöö

Valeria Lukaševitš

Juhendaja: Kai Künnis-Beres, PhD

Tallinn

2017

Deklaratsioon

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.

Valeria Lukaševitš

Allkiri:

Kuupäev:

Juhendaja: Kai Künnis-Beres

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

Allkiri:

Kuupäev:

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

Sisukord

Resümee	5
Abstract	6
Sissejuhatus	7
1. Kirjanduse ülevaade	9
1.1. Soome lahe iseloomustus	9
1.1.1. Geomorfoloogia ja hüdrodünaamika.....	10
1.1.2. Soolsus ja temperatuur	11
1.1.3. Veesamba sesoonne läbisegunemine, up- ja downvellingud	11
1.1.4. Toitained ja eutrofeerumine	12
1.1.5. Fütoplankton ja tsüanobakterid	14
1.1.6. Bakteriplankton	15
1.2. Epifluorestsentsmikroskoopia bakteriplanktoni arvukuse ja biomassi analüüsimisel.....	18
2. Materjal ja meetodika	20
2.1. Proovivõtu piirkond.....	20
2.2. Ferrybox süsteemi kirjeldus	22
2.3. Bakterite arvukuse määramine ja bakteriplanktoni analüüs epifluorestsentsmikroskoopia meetodil.....	22
3. Tulemused	24
3.1. Bakteriplanktoni ajaline ja ruumiline jaotus ristlõikel Helsingi-Tallinn.....	24
3.2. Bakteriplanktoni fenotüüpiline struktuur	28
3.3. Bakteriplanktoni struktuur lähtudes bakterite aktiivsusest.....	31
3.4. Pinnavee mikroorganismide sesoonne iseloomustus	32
3.5. Bakteriplanktoni sõltuvus vee temperatuurist ja soolsusest	37
3.6. Bakteriplanktoni sõltuvus toitainetest	40
3.7. Bakteriplanktoni sõltuvus fütoplanktonist.....	43
3.8. Bakterite üldarvukus Soome lahe põhjapoolse ja lõunapoolse rannikumeres	45
Kokkuvõte	49
Kasutatud kirjandus.....	52

Lisa 1.....	57
Lisa 2.....	58
Lisa 3.....	59
Lisa 4.....	60

Resümee

Bakterite arvukus ja bakteriplanktoni fenotüüpiline struktuur ning ajaline muutlikkus Soome lahe ristlõike eufootilises tsoonis

Valeria Lukaševitš

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on uurida Soome lahe keskosa pindmise veekihi bakteriplanktoni arvukust ja struktuuri, nende näitajate aastaringset muutlikkust ja seda tingivaid tegureid. Eesmärgi täitmiseks analüüsiti Helsingi-Tallinna liinil sõitvale reisilaevale paigutatud Ferrybox süsteemiga ca 5 m sügavuselt kogutud merevee proove ajavahemikul jaanuar-detsember 2016. Veeproovid võeti reeglina kahe nädalase intervalliga, kokku 6 proovi ristlõike kohta. Proove analüüsiti kasutades filtratsiooni tehnikat koos epifluorestsentsmikroskoopilise uuringu ja bakterite loendusega. Bakterite visualiseerimiseks värviti filtril olev bioloogiline materjal eelnevalt RNA/DNA-spetsiifilise fluoreseeruva markeri akridiin-oranžiga (*HELCOM COMBAIN* meetod).

Bakterite üldarvukus (BÜA) oli uurimisperioodil Soome lahes 0.51-4.24 mln rakku milliliitris. BÜA esines kaks sesoonset tippu: esimene mais ja teine juulis/augustis. BÜA maksimumid langesid kokku fütoplanktoni kevadise ja suvise õitsengu hääbumisfaasiga. Uuringu tulemused näitasid, et sesoonsus (fütoplanktoni, vee temperatuuri dünaamika otseselt ja toitainete dünaamika niivõrd kui sellest oleneb fütoplanktoni dünaamika) on põhilised bakteriplanktoni arvukust reguleerivad tegurid Soome lahe eufootilises kihis. Proovivõtu asukoht ristlõikel (lahe avaosa või rannikumeri) mõjutas BÜA võrreldes sesoonsusega ebaoluliselt. Saadud tulemuste põhjal võib öelda, et heterotroofse bakteriplanktoni arvukus sõltub erinevatest teguritest, esmajärjekorras primaarproduktisioonist ja seejärel temperatuurist.

Võtmesõnad

Bakteriplankton, epifluorestsentsmikroskoopia, fütoplankton, temperatuur, Soome laht

Abstract

Bacterial number and bacterioplankton phenotypic structure and temporal variability in the euphotic zone of Gulf of Finland crosscut

Valeria Lukaševičš

The aim of this master's thesis is to study the amount (total bacterial number), structure and distribution of bacterioplankton year-round in the euphotic zone of Gulf of Finland crosscut. In addition, factors that can affect bacterial number and distribution were analyzed. Seawater samples (six samples of crosscut) were collected by Ferrybox automatic sampler system which was placed on the Helsinki-Tallinn rout ferryboat from January to December 2016. Samples were prepared for epifluorescence microscopic examination using the membrane filtration technique with acridine orange (RNA/DNA- specific fluorescent marker) staining.

Bacterial total number fluctuated between 0.51-4.24 million cells/ml in the Gulf of Finland. The results demonstrated two seasonal peaks in the bacterioplankton number: one (the first) in May and the second in July/August. The study shows that seasonally changed factors such as the amount of phytoplankton (measured by Chl *a* concentration and visually by the microscope) and water temperature were primary factors which directed the amount of bacterioplankton. The annual distribution of nutrients was important as much as the nutrients were regulating the phytoplankton amount and diversity. Location of the sampling station (in open water or in near coast areas) influenced the number of bacteria much less than the seasonality. Based on these results, it is possible to summarise that the bacterioplankton number and diversity depend on different factors in the central area of the Gulf of Finland, but the most primary production and thereafter on marine water temperature.

Keywords

Bacterioplankton, epifluorescence microscopy, phytoplankton, temperature, Gulf of Finland

Sissejuhatus

Soome laht on Läänemere piirkond, kus inimtegevuse mõju peetakse suurimaks. Soome lahte suubub rohkesti jõgesid, suurim nendest on Neeva, mis kannavad lahte magedat vett ning valgala uhtevetes ja linnade heitvetes sisalduvat orgaanilist ainet, toiteaineid ja muud reostust (Schiewer, 2008).

Soome lahe seisundi parandamiseks on Helsingi Komisjoni (*HELCOM*) eestvedamisel ja lahe äärsete riikide, Eesti, Venemaa ja Soome, osalusel juba palju ära tehtud, mille tulemusena on punktreostusallikatest (reoveepuhastusjaamad, tööstusettevõtted) pärinev reostuskoormus oluliselt vähenemine. Kuni tänaseni on jäänud probleemiks hajureostusest tuleneva reostuskoormuse piiramine ja vähendamine (*HELCOM*, 2002). Selleks, et Soome lahe seisundist ja selle muutumisest objektiivne ülevaade saada on alates 1990-datest aastate algusest viidud Eesti osalusel läbi lahe avaosa ja rannikumere seiret (*HELCOM*, 1996). NSVL ajal 1980-datel aastatel sisaldas mereseire programm ka mikrobioloogilisi parameetreid (saprobakterite arvukus, bakterite üldarvukus) (Panov, 1983). Eesti vabariigi ajal Soome lahel ega ka Läänemerel tervikuna mikrobioloogilist seiret pole teostata (Künnis-Beres personaalsed andmed). Selle peamiseks põhjuseks on 2000. aastal vasu võetud Veepoliitika raamdirektiiv (2000/60/EÜ), kus veekodude ökoloogilise seisundi hindamisel mikrobioloogiline näitaja puudub. Samal ajal ei ole võimalik eirata mikroorganismide, eriti bakterite, suurt tähtsust mere ökosüsteemis ja seda nii toiuahela lülina kui ka orgaanilise aine mineraliseerijatena ja antropogeensete reoainete lagunajatena. Seega on bakteritel veekogude isepuhastamisprotsessis väga suur tähtsus. Meres toimuvate protsesside mõistmiseks ja Läänemere mereseisundi heale tasemele jõudmiseks on vaja teavet nii reostuskoormuste, ainevoogude, bioloogia ning füüsikalise-keemiliste protsesside kohta (Lips et al., 1998), kuid sisuliselt pole vähem tähtsad mere aset leidvad mikrobioloogilised protsessid (Künnis, 1999; Sorokin, 1981) ning nende seos kõigi eelpool nimetatuga.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on uurida bakteriplanktoni arvukuse struktuuri aastaringset muutlikkust ja arvukuse muutumist tingivaid tegureid Soome lahe ristlõike eufootilises tsoonis. Eesmärgi täitmiseks analüüsiti marsruudil Helsingi-Tallinna sõitvale reisilaevale paigutatud Ferrybox süsteemiga ca 5 m sügavuselt kogutud veeproove (kuus proovi ristlõike kohta) ajavahemikul jaanuar-detsember 2016.

1. Kirjanduse ülevaade

1.1. Soome lahe iseloomustus

Soome laht on Läänemere laht, mis eraldab Eestit ja Soomet ja idast külgneb Venemaaga. Suurim sügavus on 121 m. Lahe pikkus on ligikaudu 400 km ning laius varieerub 48 km-st lääne- ja keskosas Tallinn ja Porkkala poolsaare vahel kuni 135 km-ni Narva lahe ja Kotka vahel. Soome lahe ruumala on 1103 km^3 ning pindala on 29948 km^2 , mis moodustab 5 % Läänemere ruumalast ja 7.5 % pindalast. Oma suhteliselt väiksusest hoolimata on Soome lahel üsna suur mõju Läänemerele oma valgala kaudu, mille suuruseks on ligi 421 tuhat km^2 (Mayberg, 1998; Alenius et al., 1998).

Soome lahe valgala peetakse Läänemeres kui terviku suhtes kõige suuremaks. Lämmastiku (N) ja fosfori (P) koormus Soome lahes on sellest tulenevalt võrreldes Läänemere avaosaga vastavalt kuni kaks ja kolm korda suurem. Aeg-ajalt tekib Soome lahe süvavees hapnikupuudus ehk anoksia, millega kaasneb bentilise fosfori vabanemine, mis omakorda põhjustab laialdasi tsüanobakterite õitsenguid. Hapniku vaese seisundi põhjusi on mitu, nendest peamiseks on Soome lahes aset leidvad mahukad kevadised planktiliste vetikate õitsengud ning nende õitsengute käigus produtseeritud orgaanilise aine hilisem settimine ja mineraliseerumine, mis omakorda põhjustatud toitainete kõrge kontsentratsiooniga talvel (Schiewer, 2008).

Soome lahe hüdrodünaamikat ja stratifikatsiooni kontrollivad kaks peamist tegurit. Magedat vett kannab Soome lahte Läänemere suurima vooluhulgaga Neeva jõgi, mis suubub Soome lahte idas. Läänest on laht ühenduses Läänemere avaosaga (Baltic Proper). Ligikaudu 75 % magevee sissevoolust Soome lahte tulebki Neeva jõest, mis tingib horisontaalne soolsuse gradient piki Soome lahte idast lääne suunas. Need kaks tegurit mõjutavad füüsikalist ja biokeemilist seisundit Soome lahes (Schiewer, 2008). Neeva jõgi on seega oluline faktor, mis mõjutab nii füüsikalisi, keemilisi kui ka bioloogilisi protsesse kogu Soome lahes (Elken et al., 2002).

1.1.1. Geomorfoloogia ja hüdrodünaamika

Soome lahe põhja reljeef on väga mitmekesine, mille tulemuseks on põhjasetete ebaühtlane ehk laiguline jaotumine ja elupaikade mitmekesisus (Kaskela et al., 2012). Kuna Soome lahe lõunarannikul läheb meri järsemalt sügavaks kui suhteliselt lamedalt sügavneval põhjarannikul, siis asub hapnikupuuduses olev põhjalähedase veega mereala eelkõige Eesti ranniku lähedal. Aegajalt liigub hapnikuvaene vesimööda merepõhja Soome lahte ka Gotlandi süvikust. Kõigest sellest tulenevalt on Soome lahe sügavamate alade (sügavamad kui 70 m) põhjalähedane vesi hüpoksiline kuni anaeroobne kevadest sügiseni (Raateoja ja Setälä, 2016).

Keskmine vee viibeaeg Soome lahes on 2-3 aastat (Alenius et al., 1998). Hüdrograafiliselt on Soome laht nagu osaliselt segunenud estuaar. Lahe avaosa saab jagada tinglikult kolmeks: sügav lääneosa ja keskosa (lääne pool Suursaart) ning idapoolne madalaveeline osa (ida pool Suursaart). Lahe lääneosa (lääne pool 26° E), kus pidevalt eksisteerib soolsuse hüppekiht on dünaamiline üleminekupiirkond mere avaosa ja Soome lahe kesk- ja idaosa vahel. Tänu suhteliselt seisvale süvaveekihile on hapniku seisund Soome lahe kesk- ja lääneosas üldiselt halvim (Andersin ja Sandler, 1991; Perttilä et al., 1995; Pitkänen et al., 2003). Selles piirkonnas esineb lineaarseid korrelatsioone põhjalähedase soolsuse, hapnikusisalduse ja fosforisisalduse vahel (Perttilä et al., 1995). Rannikuvete seisundi kujunemine on keerulisem, seda kujundavad samaaegselt nii kohalikud mõjurid kui mõjud seoses ühendusega Läänemere avaosaga (Pitkänen et al., 2001; Lehtoranta, 2003).

Veemassid Soome lahes pidevalt muutuvad. Vee liikumine on Soome lahes tsüklonaalne (vastupäeva), voolusuunaga itta lõunas ja voolusuunaga läände põhjas. Selline tsüklonaalse ringluse muster kirjeldus on lihtsustatud ja põhineb valdava edela tuule suunal ja Maa pöörlemisel. Tõeline ringlus on palju muutlikum ja sõltub kohaliku lühiajalise tuule tingimustest (Soomere et al., 2011).

Episoodilised apvellingud on kõige märgatavamad mesomastaapsed ilmingud Soome lahes (Marberg ja Andrejev, 2003; Lehmann et al., 2012). Soome lahe

upvellingute ulatus horisontaalselt on mõnest kilomeetritest kuni mõnekümned kilomeetriteni (Lips et al., 2014).

1.1.2. Soolsus ja temperatuur

Soome laht sarnaneb suure estuaariga. Lahe soolsus on kõrgeim lääneosas ja väheneb ida suunas kuni Neeva jõe suudmeni (Raateoja ja Setälä, 2016).

Soolsuse gradient pinnakihtides varieerub mageveest (0 g/kg) Neeva jõe suudmes kuni 6-6.5 g/kg Soome lahe lääneosas. Põhjakihtide soolsus on tavaliselt kõrgem (5 g/kg idas kuni 10 g/kg läänes). Soome lahe lääneosas, kus esineb halokliin, on soolsus halokliinist sügavamal 7 kuni 9 g/kg ja aeg-ajalt >10 g/kg (Elken et al., 2002; Lips et al., 2002).

Soome lahes, nagu Läänemeres tervikuna, mängib stratifikatsiooni kujunemisel rolli lisaks soolsusele ka sesoonsed temperatuuri muutused ehk aastaajad. Seega on veesamba kihistumine ehk stratifikatsioon Soome lahes määratud nii soolsusega kui temperatuuriga, mitte soolsusega nagu Maailmameres (Raateoja ja Setälä, 2016).

Soome lahes läheneb veepinnal vee temperatuur talvel külmumispunktile ja hooajalist termokliini sel ajal ei ole. Suvel pindmine veekiht soojeneb ning seguneb kuni teatud sügavuseni, millest allapoole jääb termokliin. Segatud pinnakihi keskmine sügavus on Soome lahes suvel keskmiselt 12.8 m (1978-2008 aastal), olles juulis keskmiselt 11.4 m ning augustis 14.9 m. Suvise termokliini sügavus Soome lahes on aastatega vähesel määral suurenenud (Liblik ja Lips, 2011).

1.1.3. Veesamba sesoonne läbisegunemine, up- ja downvellingud

Soome lahele on iseloomulikud kevadel ja sügisel toimuv veesamba läbisegunemine ja episoodilised *upvellingud* ja *downvellingud*.

Kevadel ja sügisel toimuva temperatuuri muutumisest tingitud vertikaalse läbisegunemise käigus veesamba kihistumine kaob, vee parameetrid veesambas

ühtlustuvad ning põhjalähedane veekiht rikastub hapnikuga (Raateoja ja Setäla, 2016).

Episoodilisi *upvellinguid* peetakse Soome lahe kõige märkimisväärsemateks mesomastaapseteks nähtusteks. Soome lahe *upvellingud* on valdavalt rannatüüpilised ja põhinevad Ekmani transpordil, tuulte liikumiste horisontaalse divergentsi tulemusena pinnakihtides (Myrberg ja Andrejev, 2003). Piki Soome lahte puhuv tuul tekitab *upvellinguid* Soome lahe ühe ranna ja *downvellinguid* teise ranna lähedal. Seega kui valdavaks on läänetuuled tekivad *upvellingud* põhjapoolse ranniku lähedal ehk Soome rannikumeres ja kui valdavaks on idatuuled siis lõunapoolse ranniku lähedal ehk Eesti rannikumeres. Sellised paaris aset leidvad *upvellingud/downvellingud* põhjustavad mesomastaapseid *upvellingu* filamente ja keeriseid, mis liiguvad rannikumere ja lahe avaosa vahel (Zhurbas et al., 2008).

Upvellingute puhul kerkib suurema tihedusega soolasem ja külmem põhjalähedane vesi, mis reeglina on toitainerikkam, mere pinna suunas ja seda olenemata aastaajast. Suvel kui vee temperatuur Soome lahes on aasta kõrgeim võib *upvellingu* tõttu pinnavee temperatuur lokaalselt langeda kuni 10 °C (Raateoja ja Setäla, 2016; Mayberg et al., 2010).

1.1.4. Toitained ja eutrofeerumine

Toitainetega rikastumine ja sellest põhjustatud loodusliku eutrofeerumisprotsessi kiirenemine on olnud nii Läänemeres tervikuna, eriti aga Soome lahes, probleemiks aastakümneid. Toitained võivad liikuda mere produktiivsesse pinnakihti peamiselt kolmest allikast: 1) looduslike vetega maismaalt; 2) reovetega ja 3) toitesooladerikka süvavee tõusuga (*upvellingud*). Lisaks tuleb osa lämmastikust merre ka atmosfäärist (Larsson et al., 1985; Andersen et al., 2011; Ojaveer, 2014).

Kuna suurem osa toitaineid lisandub merre maismaalt, siis avalduvad ka tagajärjed kõigepealt rannikumeres. Läänemere toitelisuse hindamisel on

indikaatorina kasutusel talvine (detsember-veebruar) pindmise veekihi (0-10 m) anorgaanilise lämmastiku ja fosfori keskmine sisaldus. Kuna talvel on meres vetikaid vähe, siis ongi just talvine toitainete sisaldus kõige tõelähedasem maismaalt ja õhu kaudu mere kanduva toitainete hulgas näitaja (Raateoja ja Setälä, 2016).

Fütoplankton ja fütobentos assimileerivad lämmastikku ja fosforit anorgaaniliste ioonidena, lämmastikku põhiliselt nitraatide, ammoniumi või urea kujul, fosforit peamiselt fosfaatidena. Mitmed bakterid ja tsüanobakterid (sinivetikad), on võimelised kasutama ka atmosfäärset molekulaarset lämmastikku (N_2) ning toovad sel teel lämmastikku merre juurde. Bakteriaalne protsess on ka denitrifikatsioon ehk nitraatide reduktsioon, mis käivitub juhul kui vees esinev vaba hapnik on äratarbitud. Denitrifikatsiooni käigus liigub N_2 veest tagasi atmosfääri. Fosfor satub merre peamiselt pinnasest ning jõe- ja reoveega. Osa fosforist seotakse (tihti ühinenult rauaga) meresetetes, kust see olenevalt keskkonnatingimustest, eelkõige põhjalähedasest hapnikurežiimist, võib setetes lahustuvaks muutuda ja uuesti vette minna (Ojaveer, 2014).

Eutrofeerumine väljendub kõige selgemalt fütoplanktoni ja makrovetikate produktsiooni tõusus. Soome lahe eutrofeerumise põhjused on nii looduslikud kui antropogeensed (Raateoja ja Setälä, 2016).

Suvist (juuni-september) klorofüll-*a* keskmist sisaldust pindmises veekihis (0-10 m) koos vee läbipaistvusega (mõõdetud Secchi kettaga) on võetud kasutusele eutrofeerumise indikaatorina (Andersen et al., 2017).

Soome lahe seisund eutrofeerumise osas on Veepoliitika Raandirektiivi raames kehtestatud skaala järgi alla “hea” taset ning piirkondlikult enamasti “kesine” või “halb” (HELCOM, 2010; HELCOM, 2014a).

Eutrofeerumise kõige negatiivsem tagajärg mere ökosüsteemile on liigse produktsiooni mikrobioloogilisest lagunemisest tingitud hapniku otsalõppemine põhjalähedasest vees (Sinkko et al., 2013).

1.1.5. Fütoplankton ja tsüanobakterid

Soome lahe rannikuvetes ei erine fütoplanktoni koosseis palju avamere omast. Kuid jõesuudmetes ja eutrofeerunud aladel sõltub see tugevasti magevee juurdevoolust. Rannikuvete fütoplankton kujutab endast seega magevee-, riimvee- ja merevormide segu (Ojaveer, 2014).

Fütoplanktoni produktsioonis ilmnevad Soome lahes kaks sesoonset biomassi tippu: esimene, kus domineerivad ränivetikad ja dinoflagellaadid on aprillis/mais ja teine, mille moodustavad peamiselt tsüanobakterid esineb suve teisel poolel juulis/augustis (Kotta et al., 2000; Telesh et al., 2001). Fütoplanktoni õitsengute algus ja kestvus oleneb konkreetse aasta meteoroloogilistest tingimustest. Fütoplanktoni biomassi suurimad väärtused langevad üldjuhul ajale, kui on tekkinud nõrk temperatuuri hüppekiht. Fütoplanktoni areng kestab üldjuhul nitraatide lõppemiseni pinnakihist (Ojaveer, 2014). Peale kevadist õitsengut (suve alguses) fütoplanktoni hulk langeb ja koosseis mitmekesistub. Pikaajalised vaatlused on näidanud, et alates juulist hakkavad Soome lahes reeglina domineerima niitjad tsüanobakterid nagu *Aphanizomenon flos-aquae* ja *Nodularia spumigena*, kes on võimelised lämmastiku allikana tarbima ka õhulämmastikku (Farnelid et al., 2009). Tsüanobakterid võivad sooja ja vaikse ilmaga massiliselt veepinnale tõusta. Pinnaõitsengu intensiivsuse suurenemist on täheldatud alates 1990ndatest aastatest (Kahru et al., 2000). Tsüanobaktereid võib rohkesti esineda mõnel aastal veel oktoobriski. Novembris ja hiljem talve poole on avameres algproduktsioon väga väike, sest veekihid segunevad intensiivselt ja valgustingimused on ebasoodsad. Valguse intensiivsuse kasvades kevadel algab taas fütoplanktoni areng (Ojaveer, 2014).

1.1.6. Bakteriplankton

1.1.6.1 Bakteriplanktoni levik ja arvukus

Soome lahe mikrobioloogilised uuringud algasid möödunud sajandi alguses, kuid jäid episoodilisteks. 1980-aastate uuringud näitasid, et bakterite kontsentratsioon Soome lahes (0.3–6.4 mln rakku milliliitris vees) ületab Läänemere avaosa rannikuvööndi vastavad arvud (Künnis, 1999). Alljärgnevas tabelis on toodud bakteriplanktoni keskmised arvukused ja bakterirakkude keskmised suurused Soome lahe eufotilises kihis aastatel 1987-1990.

Tabel 1. Bakteriplanktoni hooaja keskmised arvukused ja bakteriraku keskmine suurus aastatel 1987-1990 (Heinänen, 1992)

Aeg	Rakkude keskmine arv (bakterite arv $\times 10^6$ /ml)	Rakkude keskmine suurus (μm^3)
Kevad 1988-1990	0.5-4.8	0.036-0.103
Hilissuvi 1987-1988	2.7-6.6	0.016-0.046
Sügis 1988	0.6-2.3	0.056-0.077
Talv 1988	0.5-1.5	0.025-0.106

Varasest kevadest kesksuveni suureneb Soome lahes heterotroofsete bakterite arvukus positiivses korrelatsioonis vee temperatuuriga. Kevadel aprillis esinesid bakterite suurimad arvukused eelkõige pinnalähedases veekihi ja halokliini kohal asuvas vees. Ajavahemikus juulist septembrini, ajal kui Soome lahes on vesi tugevalt stratifitseeritud, on heterotroofsete bakterite arvukus kõrgeim termokliini pealses veekihi. Vegetatsiooni perioodi lõpul üldjuhul heterotroofsete bakterite arvukus väheneb (Künnis, 1999).

Kõige suurema mikroorganismide kontsentratsiooniga paistab silma Neeva suue (3.5–6.4 mln rakku milliliitris vees). 80 % juhtudel paikneb saprofüütsete bakterite maksimumkontsentratsioon bakterneustoni levikusügavuses. Bakterbentose suurimad kontsentratsioonid (120–263 mln rakku grammis settes) asustavad liivast muda,

väikeseteralises hallis liivas on vastav arv väiksem (20–86 mln rakku grammis settes) (HELCOM, 1996; HELCOM, 2002).

1.1.5.2 Bakteriplanktoni koht mere toiduahelas

Bakterite ja teiste mikroorganismide roll mereökosüsteemis seisneb mitte ainult orgaanilise aine lagundamisel, aga ka vees lahustunud ja osaliselt lahustunud aine assimileerimisel ehk tarbimisel. Seega on bakteritel tähtis roll mitte ainult meres toimuvates laguprotsessides vaid ka produktsioonis, toiduahelas ning biokeemilistes ja biogeokeemilistes protsessides (Sorokin, 1981).

Heterotroofsed bakterid tarbivad ligikaudu 20-60 % kogu primaarproduktsiooni süsiniku ekvivalendist ning bakterite produktsioon on 10-30 % suurem, kui primaarproduktsioon (Williams, 1981).

Tarbides lahustunud orgaanilist ainet teevad bakterid selle kättesadavaks toiduahela kõrgematele troofilistele tasemetele (vt. tabel 2). Veesambas on bakterite poolt tarbitav lahustunud orgaaniline aine välise reostuse puudumisel peamiselt fütoplanktoni pärioluga, kuna on leitud, et 5-50 % fütoplanktoni poolt fikseeritud süsinikust lekib keskkonda lahustunud orgaanilise aina (Larsson ja Hagstrom, 1982).

Tabel 2. Pelaagilise mikrotoiduahela ehk mikroobse lingi (*microbial loop*) heterotroofsed komponendid. (Heinänen, 1992; Kivi et al. 1993)

Organismi rühm	Esindatus	Suurusklass	Toitumistüüp
Bakterid, arvukus	0.4-6.6 x 10 ⁶ / ml	0.2-5 µm	Heterotroofid/Autotroofid
Flagelaadide, biomass	0.005-0.04 mg C/l (ww)	2-25 µm	Heterotroofid/Autotroofid /Miksotroofid
Ripsmeloomade, biomass	0.0-0.3 mg C/l (ww)	10-400 µm	Heterotroofid
Mesozooplankton, biomass	0.03-0.3 mg C/l (ww)	0.2-20 mm	Heterotroofid

Mikroobses toiduahelast ehk mikroobsest lingist („microbial loop“), mis eksisteerib mere ökosüsteemis paralleelselt klassikalise toiduahelaga, kirjutas esmakordselt meremikrobioloog Farog Azam 1983 aastal (Azam et al., 1983). Ilmnes, et eksisteerib üksnes mikroorganismidest koosnev toiduahel, mis on sama tähtis või mere ökosüsteemis seisukohalt isegi tähtsam kui klassikaline toiduahel (vetikas - zooplankton – kalad – veeimetajad/linnud), olles samas klassikalise toiduahela lahutamata osa. Mikroobses toiduahelas on oluline koht heterotroofsete bakterite ühel osal - saprofüütidel, mis arvukuselt moodustavad vaid murdosa heterotroofsete bakterite koguarvukusest (kooslusest), kuid reageerivad kiiremini kergesti laguneva orgaanilise ainele kui teised heterotroofsete bakterite rühmad (tselluloosilagundajad jne.) (Künnis, 1999).

Uuringud on näidanud, et peamised merebaktereid toiduks tarbijad on flagellaadid ehk viburloomad, kes reguleerivad merebakterite arvukust ning suurus-selektiivse toitumise kaudu mõjutavad ka bakteri planktoni koostist - struktuuri. Enamasti toituvad flagellaadid vabalt-elavatest planktilistest bakteritest, kellest enamuse (ligi 82 %) moodustavad kokid (ümarad rakud) ja kokkobatsillid (ovaalsed rakud), suurusvahemikus 0.1-0.2 μm^3 . Selle tulemusena jäävad kooslusse alles vähese toiteväärtusega väga väikesed kokid ja suuruse tõttu väikestele flagellaatidele söömiskõbmatud pikad filamentsed bakterid (Capriulo et al., 1991; Künnis, 1997; Künnis, 1999).

Bakterid on kõrgekvaliteetne lämmastikurikas toit ning kui nad on kinnitunud osakestele tõstavad nad oluliselt valdavalt süsinikust ja teatud juhtudel ka ränist (ränivetikate panserid ja nende fragmendid) koosneva detriidi toiteväärtust. See tähendab, et bakterid on detriidi toiduahela oluline komponent nii tarbides/lagundades kui ka väärtustades surnud orgaanilist ainet (Heinle et al., 1977; Künnis, 1997).

1.2. Epifluorestsentsmikroskoopia bakteriplanktoni arvukuse ja biomassi analüüsimisel

Selleks, et aru saada mikroobiökoloogiast meres, on esmalt vaja teada bakteriplanktoni hulka ehk kontsentratsiooni (arvukust, biomassi) ja selle horisontaalset ja vertikaalset jaotumist. Bakterite raku väiksus ning elupaikade heterogeensus piirab oluliselt uurimismeetodite valikut (Bölter et al., 1977). Meetodid, mis tänapäeval võimaldavad määrata bakterite koguhulka ehk üldarvukust vees ja samas ka baktereid näha (saada ülevaade vees leiduvate mikroorganismide mitmekesisust) on vähe. Täpsemalt öeldes on selleks üks meetod – klassikaline mikroskoopia. Mikroskoopiline otsese loendamise tehnika võimaldab koos rakkude värvimisega nii nende arvukust loendada, suurust mõõta kui ka aktiivsust hinnata. Võrreldes mikroskoopilise otsese rakkude loendamise meetodiga on kasutusel ka kaudsemaid bakterite hulga määramise meetodeid, nagu igas rakus sisalduva elutähtsa energeetilise molekuli adenosiintrifosfaadi (ATP) kontsentratsiooni määramine või bakterite aktiivsuse hindamine rakus esineva elektron-transport süsteemi (electron transport system – ETS) mõõtmisel. Mõlema nimetatud laialdaselt kasutatud leidnud meetodi puhul on puuduseks nende ebaspetsiifilisus, eriti kui koos bakteritage esineb vees ka fütoplankton (Bell et al., 1971; Jassby, 1975).

Otsese mikroskoopilise loendamise meetod seisneb veeproovi filtrile filtreerimises, bioloogilise materjali spetsiifilise värviga värvimises ning filtrite uurimises mikroskoobiga (suurendus 1000-1200 korda). Algselt kasutati värvimiseks suhteliselt ebaspetsiifilist punast värvi nimetusega erütromütsiin (Razumov, 1932). Tavalist valgust kasutatav mikroskoopiline väikeste bakterite eristamine suuruselt sarnasest teistest osakestest oli selle tehnika puhul väga keeruline, mis mõjutas tulemuste usaldusväärsust.

Epifluorestsentsmikroskoopia, üliõhukeste polükarbonaatsete membraanfiltrite ja fluoressseeruvate DNA/RNA spetsiifiliste markervärvide (akrediinoranž, DAPI) kasutuselevõtt meremikrobioloogias ületas bakterite loendusega seotud põhilised

raskused (väga väikeste bakterite halb nähtavus, puudulik eristatavus) (Zimmermann, 1975).

Uus otsese loendamise tehnika oli *HELCOM* meremikrobioloogia töörühma poolt soovitatav mikrobioloogilise seire meetod Läänemeres. Nimetatud meetodit rakendati bakterite üldarvukuse, biomassi ja bakterikoosluse fenotüüpilise struktuuri määramiseks nii Läänemere mikrobioloogilise seire raames kui ka mikrobioloogilistel uuringutel Kiel Fjordis, Kiel Abajas ja teistes riimveelistes alades, arvestades piirkondlike ja hooaja muutusi. Lisaks nemetatule teostati Läänemere mikrobioloogilise seire raames ka saprobakterite/heterotroofsete bakterite hulga määramist külvimeetodil Zobell agar 2216 söötmele (Höfle ja Brettar, 1996).

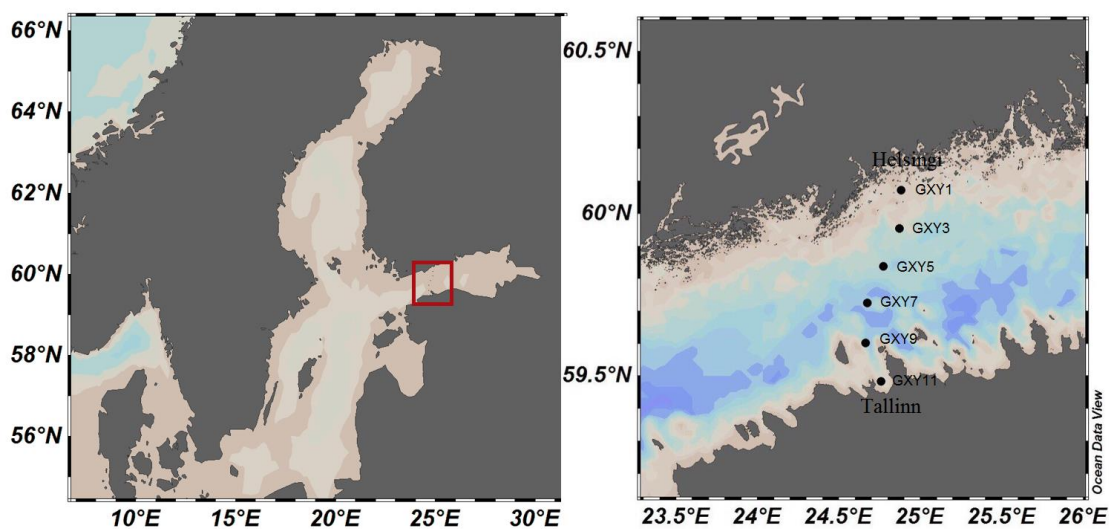
Uus otsese loendamise tehnika oli *HELCOM* meremikrobioloogia töörühma poolt soovitatav mikrobioloogilise seire meetod Läänemeres (*HELCOM*, 2014b). Nimetatud meetodit rakendati bakterite üldarvukuse, biomassi ja bakterikoosluse fenotüüpilise struktuuri määramiseks nii Läänemere mikrobioloogilise seire raames kui ka rannikumere mikrobioloogiliseks seireks, näiteks Kiel Fjordis ja Kiel Abajas (Rheinheimer, 1977). Lisaks bakterite üldarvukuse ja biomassi mõõtmisele teostati Läänemere mikrobioloogilise seire raames ka saprobakterite/heterotroofsete bakterite arvukuse määramist külvimeetodil Zobell agar 2216 söötmele (Höfle ja Brettar, 1996).

2. Materjal ja meetoodika

2.1. Proovivõtu piirkond

Analüüsitud veeproovid koguti 2016 aastal Soome lahes Ferrybox'i mõõtesüsteemiga. Proovide võtmine toimus Soome lahe lääneosas (joonis 1). Antud töös kasutati 6 proovi igas seerias, võetud erinevatest asukohtadest ülesõidul Helsingi-Tallinn 4 m sügavuselt. Analüüsiks võeti järgmised proovide numbrid: 2, 6, 10, 14, 18, 22. Proovivõtu koordinaadid on toodud tabelis 3.

Proovide võtmine toimus alates jaanuarist kuni detsembrini 2016, intervallidega 1-3 nädalat. Analüüsise kogumise kuupäevad on toodud alljärgnevas tabelis (tabel 4).



Joonis 1. Proovivõtupunktide asukoht Soome lahe ristlõikel

Tabel 3. Proovivõtupunktide täpne asukoht (koordinaadid)

Proovi nr.	Proovivõtu koht	Laiuskraad	Pikkuskraad
2	GXY1	60.07	24.89
6	GXY3	59.95	24.87
10	GXY5	59.84	24.76
14	GXY7	59.72	24.67
18	GXY9	59.60	24.67
22	GXY11	59.48	24.76

Analüüsitavad merevee proovid on toodud tabelis 4.

Tabel 4. Analüüsitud mereveeproovid kogumise kuupäevad

Prooviseeria number	Proovi võtmise kuupäev	Prooviseeria number	Proovi võtmise kuupäev
1	17.01.2016	14	26.06.2016
2	28.02.2016	15	10.07.2016
3	13.03.2016	16	24.07.2016
4	20.03.2016	17	07.08.2016
5	27.03.2016	18	21.08.2016
6	25.04.2016	19	04.09.2016
7	01.05.2016	20	18.09.2016
8	08.05.2016	21	02.10.2016
9	22.05.2016	22	23.10.2016
10	30.05.2016	23	07.11.2016
11	05.06.2016	24	20.11.2016
12	12.06.2016	25	04.12.2016
13	19.06.2016		

2.2. Ferrybox süsteemi kirjeldus

Ferrybox`i mõõtesüsteem kasutab läbivoolumeetodil põhinevat automaatset mõõtmis- ja proovikogumissüsteemi ja paikneb laeva alamtekil umbes 4-5 meetrit veepiiri all. Suurte osakeste sattumise mõõtesüsteemile takistab kohe pärast vee laeva sisenemist paigutatud 1 mm-ste avadega filter. Ferrybox`i mõõtekompleksiga, mis 2016. aastal asus reisiparvlaeval „Baltic Princess“, mõõdetakse igal ülesõidul (Tallinn-Helsingi-Tallinn) 4 m sügavuselt läbi süsteemi pumbatava vee temperatuur, soolsus ning klorofüll *a* fluorestsentsi väärtused ligikaudu 150 m horisontaalse lahutusega. Süsteem kogub vastavalt sisestatud programmile ka veeproove laboratoorseteks analüüsiks (keemia, fütoplankton, 2016. aastal esmakordselt ka bakteriplankton (Kikas ja Lips, 2016).

2.3. Bakterite arvukuse määramine ja bakteriplanktoni analüüs epifluorestsentsmikroskoopia meetodil

Proove analüüsiti kasutades filtratsiooni tehnikat koos epifluorestsentsmikroskoopilise uuringu ja rakkude loendusega (Zimmermann ja Meyer-Reil, 1974). Nimetatud meetod on soovitatud mikrobioloogiline meetod Lääneme metoodikakogus COMBAIN (*HELCOM*, 2014b). Bakterite visualiseerimiseks tilgutati filtritele peale veeproovi filtreerimist RNA/DNA-spetsiifilist fluoreseeruvat markerit akridiinoranži (AO). Uuring toimus suures osas vastavalt Hobbi et al. (1977) kirjeldatud ja Zimmermann (1977) poolt täiendatud meetodile (Rheinheimer, 1977).

Analüüsi lühikirjeldus: 5 ml formaldehüüiga fikseeritud merevee proov (formaldehüüdi lõppkontsentratsioon on 0.8-1.2 %) filtreeriti kasutades vaakumpumpa (0.15 bar) läbi väga õhukese musta polükarbonaatse membraanfiltri (diameeter 25 mm, pooride suurus 0.2 µm). Rakkude nähtavaks tegemiseks tilgutati filtrile 0.5 ml akridiinoranži (AO) vesilahust (1:10⁴), mis eemaldati vaakumiga 3-5

minuti möödudes vaakumiga. Seejärel loputati filtrilt seostumata jäänud AO jäägid 2-3 ml eelnevalt läbi 0.1 µm süstlafiltril filtreeritud deioniseeritud veega. Seejärel valmistati filtrist preparaate epiluoretsentsmikroskoopiliseks. Parema lahutusvõime saamiseks asetati alusklaasile filtrile ning objektiivi ja preparaadi vahele klaasiga sama murdumisnäitajaga ($n_e=1.518$) mittefluorestseeruvat immersionõli (Olympus, IMMOIL-F30CC, Type-F, $n_e=1.518$, Japan). Preparaate vaadeldi ja bakteid loendati epifluoretsentsmikroskoobiga Olympus XC30 (objektiiv 100x oil, üdsuurendus koos okulaaride suurendusega 1000x) kasutades sinist valgust. (KP 490, Kp 500, dichroic beam splitting filter 510, LP 520) kasutades *cellSens* (Vers 1.5) tarkvara.

Bakereid loendati iga proovi (filtril) puhul vähemalt 10-20 erinevalt juhuslikult valitud vaateväljalt (filtril piirkonnas). Loendus toimus otse arvutiekraanilt või digifotodelt. Bakterite keskmise arvukuse (N_b) ühes milliliitris vees arvutamiseks kasutatakse järgmist valemit (*HELCOM*, 2014b):

$$Nb = \left(\frac{F_t}{F_l} \times BA\right)/V, kus$$

F_t – filtril tööpindala (μm^2), F_l – filtril loendus pindala (μm^2), BA - bakterite loendatud arv ühes vaateväljas, V – veeproovi maht (ml).

Analüüsiti ka bakterikoosluse visuaalset struktuuri (raku kuju ja suuruse järgi, raku aktiivsuse järgi – värvuse/helenduse alusel). Kasutatud värvimismeetodi puhul omandavad füsioloogiliselt aktiivsed bakterid oranži kuni kollase värvuse ja puhkeolekus viibivad või surnud rakud roheline värvuse. Rakkude loendusel arvestati seega nii bakterite erinevat värvumist kui ka bakterirakkude suust ja kuju.

3. Tulemused

3.1. Bakteriplanktoni ajaline ja ruumiline jaotus ristlõikel Helsingi-Tallinn

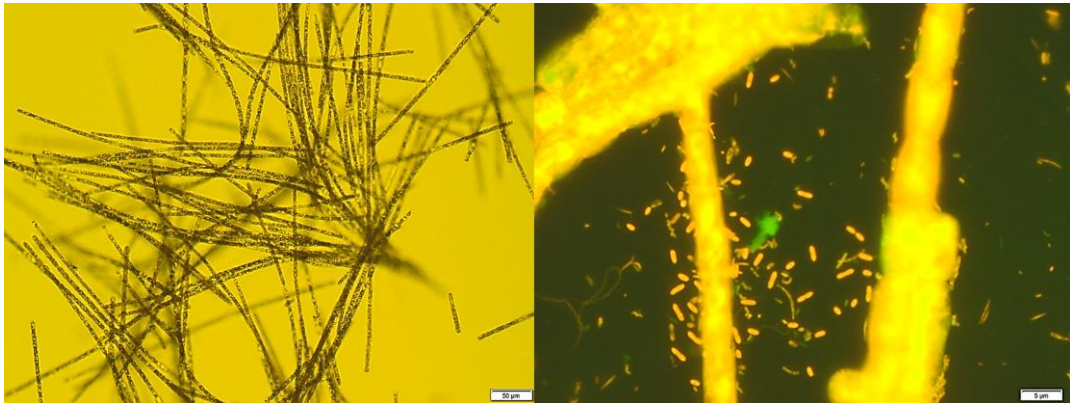
Alljärgnevas tabelis (tabel 5) on esitatud mikroskoopilisel otsesel loendusel saadud bakterite üldarvukus (BÜA) Soome lahe ristlõike pindmises veekihis (4-5 m sügavusel) 2016. aastal. Detailsem loenduse algandmete tabel, kus on eraldi loendatud aktiivsed ja passiivsed (surnud) bakterid on esitatud käesoleva töö lisa (Lisa 1,2).

2016. aasta jaanuaris oli bakterite üldarvukus (BÜA) mere pindmises veekihis 0.51-0.76 mln bakterit milliliitris. Aprillis hakkas BÜA kasvama, jõudes mais 3.79-4.24 miljonini milliliitris. Selline BÜA kevadine 6-7 kordne suurenemine on seotud nii vee temperstuuri tõusuga kui ka samaaegselt toimuva fütoplanktoni arenguga. Esiteks vabaneb vette lihtsaid orgaanilisi molekule fotosünteesi käigus ja teiseks alluvad mikroobsele degradatsioonile kõik surnud rakud/organismid, sh fütoplankton.

Tabel 5. Bakterite üldarvukus (BÜA) mõõdetud Soome lahes jaamades GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11 aastal 2016

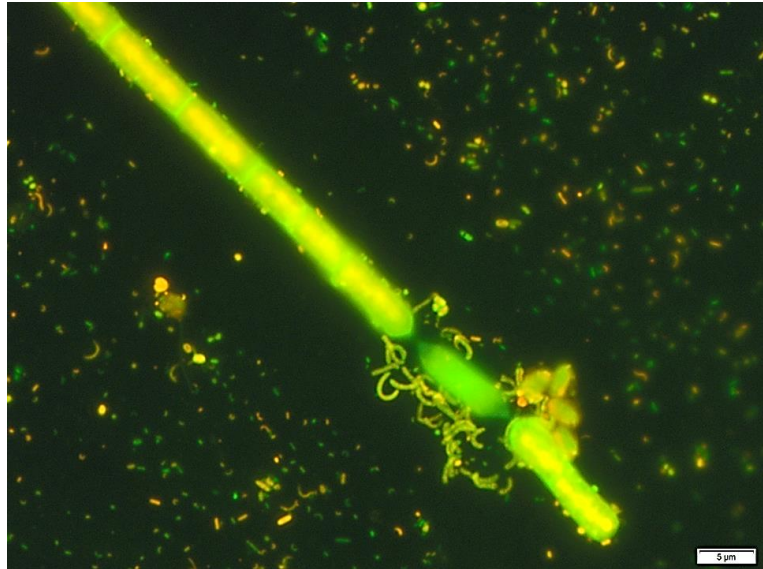
Seeria number	Kuupäev	BÜA (10 ⁶ rakku/ml)					
		Jaam GXY1	Jaam GXY3	Jaam GXY3	Jaam GXY7	Jaam GXY9	Jaam GXY11
1	17.01.16	0,761	0,712	0,513	0,602	0,533	0,588
2	28.02.16	0,415	0,958	0,816	0,751	0,867	0,804
3	13.03.16	1,794	0,820	0,627	0,688	0,694	0,619
4	20.03.16	1,475	1,437	0,977	0,800	0,785	0,956
5	27.03.16	0,906	0,808	0,674	0,665	0,806	0,965
6	25.04.16	0,997	0,869	0,904	0,946	0,869	1,013
7	01.05.16	0,891	1,101	1,034	0,973	1,207	1,227
8	08.05.16	1,313	1,201	1,144	1,490	1,345	1,435
9	22.05.16	3,870	3,786	3,429	3,969	4,235	3,824
10	30.05.16	0,842	1,597	1,422	1,475	1,306	1,445
11	05.06.16	1,447	1,453	1,709	1,648	1,095	1,044
12	12.06.16	1,163	1,516	2,063	1,443	1,288	1,170
13	19.06.16	1,345	1,591	1,868	1,280	1,050	0,849
14	26.06.16	1,589	1,559	1,457	1,734	1,585	1,707
15	10.07.16	1,101	1,410	1,492	3,186	3,832	3,452
16	24.07.16	2,574	2,318	2,623	2,422	2,269	1,964
17	07.08.16	1,927	1,789	1,838	1,453	1,439	1,874
18	21.08.16	1,547	1,530	1,512	1,593	1,062	1,703
19	04.09.16	1,121	1,353	0,855	1,258	0,965	1,593
20	18.09.16	1,447	1,506	1,384	1,502	1,296	1,518
21	02.10.16	1,396	1,264	1,197	1,172	1,321	1,262
22	23.10.16	1,197	1,125	1,060	1,186	1,109	0,790
23	07.11.16	1,076	1,015	0,812	0,847	0,759	0,578
24	20.11.16	1,160	1,046	0,914	1,085	1,140	0,979
25	04.12.16	1,093	1,164	0,981	1,015	1,127	1,166

Kuna 2016. aastal algas tsüanobakteri *Aphanizomenon flos-aqua* esimene õitseng juba aprillis, siis hakkasid mais *Aphanizomenoni* niidid juba mikrobioloogiliselt lagunema (joonis 2, parempoolne foto). Lisaks Ferriboxi proovidele avastati juba lagunev *Aphanizomenoni* õitseng ka 4. mail ka Keri saare lähistel võetud pinnavee proovis (joonis 2, vasakpoolne foto; autor K. Künnis-Beres).



Joonis 2. Mikroskoobi fotod (vasakpoolne 40x suurendus, värvimata proov; parempoolne 1000x suurendus akrediinoranžiga värvitud proov) tsüanobakteri *Aphanizomenon flos-aqua* õitsengust 2016 aasta aprillis-mais. Vasakpoolse foto autor K. Künnis-Beres; parempoolse autor V. Lukaševitš

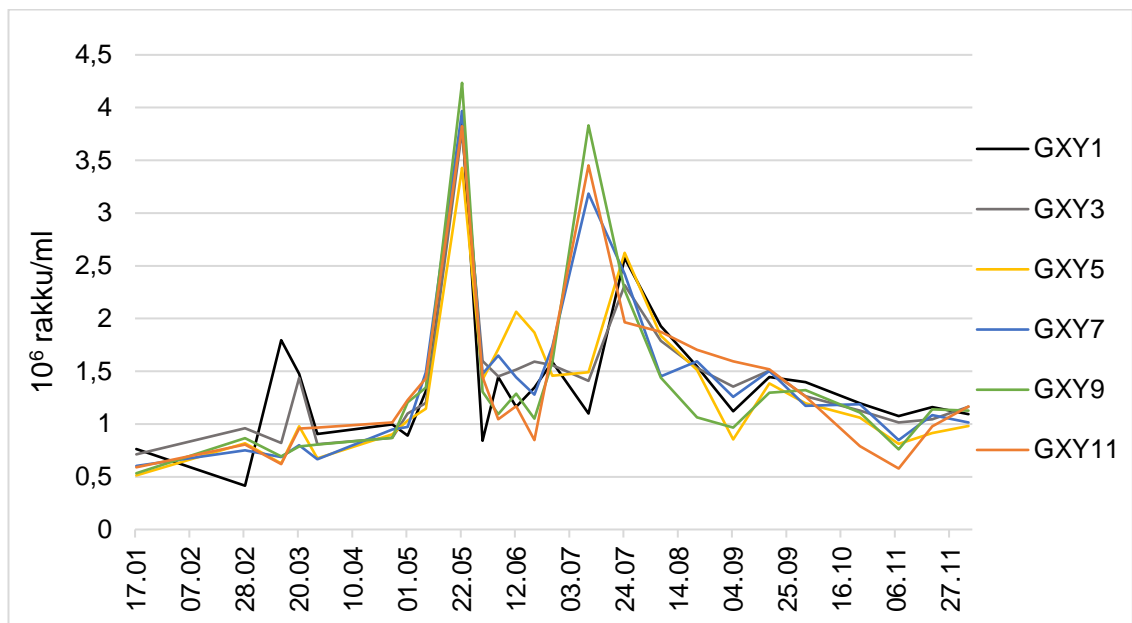
Juunis kui kevadine vetikaõitseng oli hääbunud ning selle jäänused ära tarbitud hakkas vähenema ka bakterite arvukus (0.85-2.06 mln rakku/ml). Peale juunikuist langust saabus juulis bakteriplanktoni teine maksimum ning BÜA kerkis ligikaudu mai kuu maksimumi tasemele (3.45-3.83 mln rakku/ml). Mikroskoopilisel vaatlusel oli näha, et teatud liik baktereid (suured vibrioovid) koonduvad sureva *Aphanizomenon flos-aqua* heterotsüstide ümber, mis viitab kesksuvisele üldisele lämmastiku defitsiidile ning nende bakterite võimele saada heterotsüstides kätte seal õhust seotud lämmastikku (vt joonis 3).



Joonis 3. Mikroskoobi fotol on näha surnud tsüanobakteri *Aphanizomenon flos-aqua* heterotsüstiga filament ja heterotsüsti ümber bakterid (vibrioonid), kes on sinna koondunud tõenäoliselt eesmärgil tarbida kesksuvel defitsiitseks muutunud lämmastikku (heterotsüstides toimub filamentsetel tsüanobakteritel õhulämmastiku sidumine spetsiifilise ensüümi abil)

Augustist hakkas bakterite hulk taas vähenema. Bakterite arvukuse langus jätkus oktoobris, novembris ja detsembris koos vee temperatuuri ja fütoplanktoni hulga vähenemisega ning jäi tasemele 0.58-1.59 mln bakterini milliliitris. Sügisel mõjutas mere pindmise kihi bakterite arvukus ka veekihtide sügisene segunemine.

Seega mikroorganismide hulk Soome lahes sõltub orgaanilise materjali olemaslust (fütoplanktonist, toitainetest) ja vee temperatuurist. Bakteriplanktoni arvukuses esines nende tegurite koostoimest tulenevalt kaks sesoonset tippu: esimene mais ja teine juulis (joonis 4).

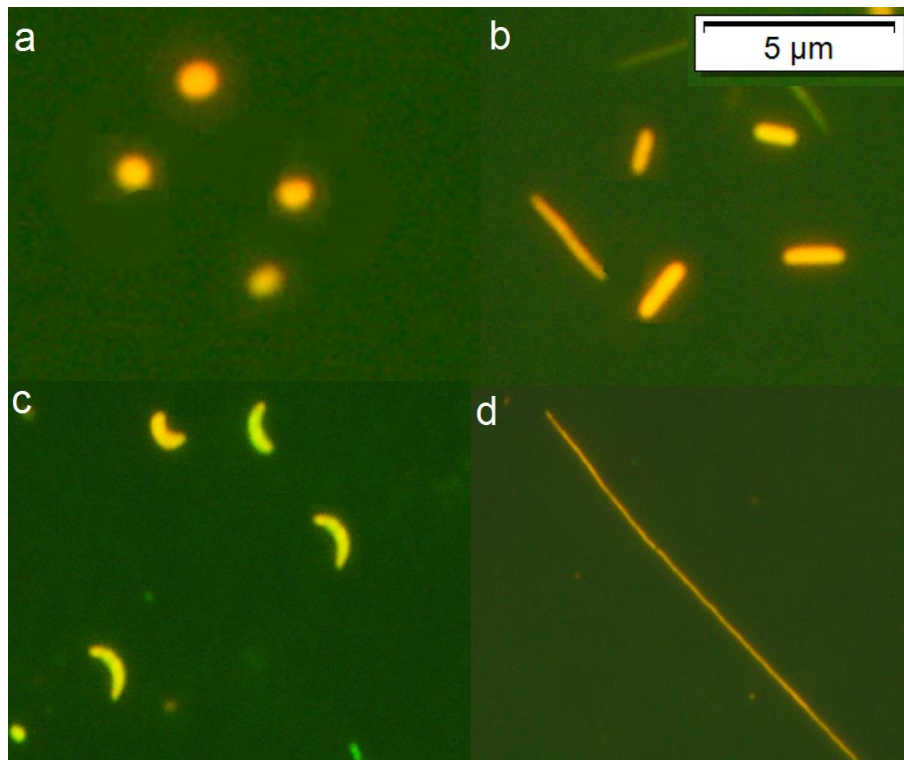


Joonis 4. Bakterioplanktoni ajaline ja ruumiline jaotus Soome lahe ristlõikel (Tallinn-Helsingi) ajavahemikul 17.01.2016-04.12.2016

Võrdlemiseks võetud 1985. aasta andmetel oli Soome lahes pinnalähedase veekihi juulis BÜA 4.5 mln rakku/ml (Virtanen, 1985) ning 1987. aastal 3.45 mln rakku/ml (Heinänen, 1987). Septembriks oli BÜA langenud 1985.aastal 1.6 mln (Virtanen, 1985) ja 1987.aastal 0.6 mln (Heinänen, 1987) bakterini milliliitris.

3.2. Bakterioplanktoni fenotüüpiline struktuur

Soome lahe pindmises veekihi esines peamiselt neli erinevat bakteritüüpi: kokid/ovaalid, pulkbakterid, vibrioonid ja pikad peened filamendid (joonis 5).



Joonis 5. Epifluoresentsmikroskoobi foto. a) kokkid b) pulkbakterid c) vibrioonid d) niidi kujuline bakter ehk filament (üldsuurundus 1000 korda)

Joonis 5 on illustreeriv ning demontreerib uuritud proovides esinenud põhilisi merebakterite fenotüüpe:

- fotol **a** on kokid – kerakujulised väikesed bakterid läbimõõduga 0.3-1.0 µm, enamasti esinesid kokid üksikuna, vähesel määral ka paaridena (diplokokid).
- fotol **b** on pulkbakterid – pulga kujulised erineva läbimõõdu ja pikkusega (üldjuhul 1-5 µm) bakterid. Enamus meres leiduvatest pulkbakterid on väikesed. Suuremad pulkbakterid võivad esineda nii üksikult, paari kaupa kui ka ahelatena või moodustada kolooniaid (kogumeid). Pulkbakterid on aktiivsed fütoplankteritele kinnitujad, eriti rohkesti leidus neid detriidil, mis tõestab nende olulisust lagundajatena.

- fotol **c** on näha vibrioone ehk kruvibaktereid (vt ka joonis 3). Vibrioone esines proovides kolmes erinevas suuruses (pikkus 0.8 kuni 3.5 μm).
- fotol **d** on bakterifilament ehk niitjas bakter. Filamentse bakteri pikkus võib ulatuda mitmekümne mikromeetrini. Filamendi läbimõõt ei ületa üldjuhul 1 μm , enamasti on see 0.5-0.7 μm .

Tabelis 6 on esitatud bakterite erinevate rakutüüpide keskmised suurused mõõdetuna epifluoressentsmikroskoobi digifotodelt kasutades tarkvara *cellSens* vastavat tööriista.

Tabel 6. Soome lahe pinnalähedases veekihis esinenud bakterite erinevad fenotüübid (keskmised suurused)

Bakteri liik	Väikesed	Keskmised
Kokid	\emptyset 0.35 μm	\emptyset 0.7-1.0 μm
Pulkbakterid	\emptyset 0.34 μm ; pikkus 1.0 μm	\emptyset 0.6 μm ; pikkus 2.0 μm
Vibrioonid	\emptyset 0.30 μm ; pikkus 2.5 μm	\emptyset 0.5 μm ; pikkus 4.5 μm
Filamendid	\emptyset 0.5-1.0 μm ; pikkus 10-20 μm	

Erineva rakukujuga bakterite keskmine osakaal bakteriplanktonis väljendatud protsendina BÜA-st on esitatud tabelis 7.

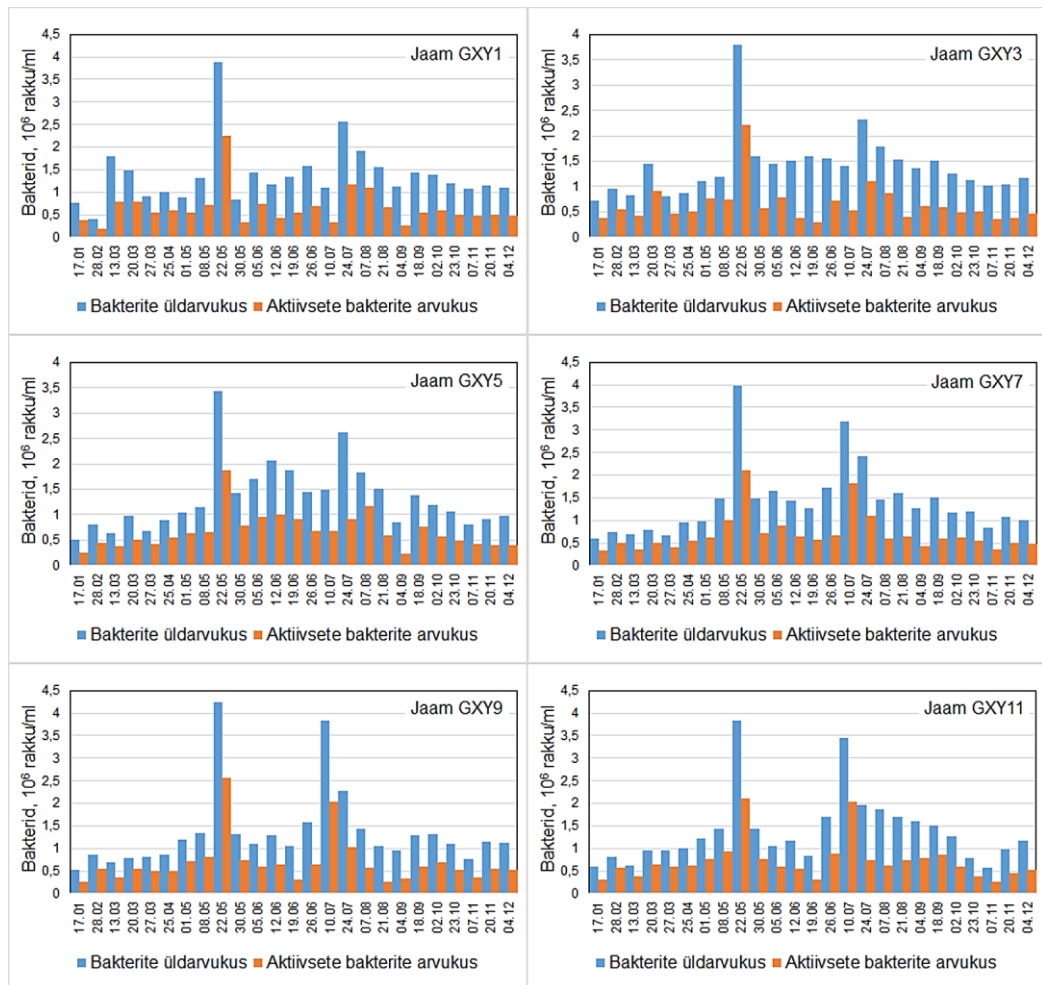
Tabel 7. Bakteritüüpide keskmine protsent BÜA-st jaamadest GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11 ajavahemikul 17.01.2016-04.12.2016 kogutud veeproovides

Jaam	Bakteri tüüp			
	kokid	pulkbakterid	vibrioonid	filamendid
GXY1	58.5	20.0	19.0	2.6
GXY3	60.7	17.7	19.6	2.0
GXY5	61.8	17.1	19.3	1.8
GXY7	59.7	17.4	21.1	1.8
GXY9	58.2	18.7	20.9	2.2
GXY11	60.3	17.7	20.2	1.7

3.3. Bakteriplanktoni struktuur lähtudes bakterite aktiivsusest

Alljärgneval joonisel (joonis 6) on toodud merevee füsioloogiliselt aktiivsete bakterite (kõrge RNA sisaldusega ja seetõttu oranžkollaselt värvunud) sisaldus võrreldes bakterite üldarvukusega 2016. aastal Soome lahe ristlõike erinevates jaamades (GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11). Tabel vastavate andmetega on esitatud käesoleva töö lisa (Lisa 3).

Graafikul (joonis 6) on näha, et aktiivsete bakterite osakaal BÜA-st ajas varieerus, kuid oluliselt vähem kui varieerus BÜA, mis sisaldab ka väheaktiivseid kui äsja surnud bakterirakke. Mõlemal juhul on rakud kasutatud meetodika puhul rohelised, kuna sisaldavad vaid DNA-d ning RNA-d ega seega ka valku rakus ei sünteesita. Ilmnes, et aktiivse primaarproduksiooni perioodidel kasvas ka aktiivsete bakterite protsent bakteriplanktonis. See näitab fotosünteesi käigus lekkiva orgaanilise aine olemasolu ja tähtsust heterotroofsete bakterite toiduallikana ning kinnitab merebakterite ja fütoplanktoni seose olulisust. Graafikutelt on näha, et nii BÜA kui ka aktiivsete bakterite arvukus on erinevatest jaamadest võetud proovides väga sarnane kogu aasta lõikes. Seega on nende näitajate alusel jaamade erinevus ebaoluline ning et aeg on tähtsam muutlikkuse tegur kui koht.



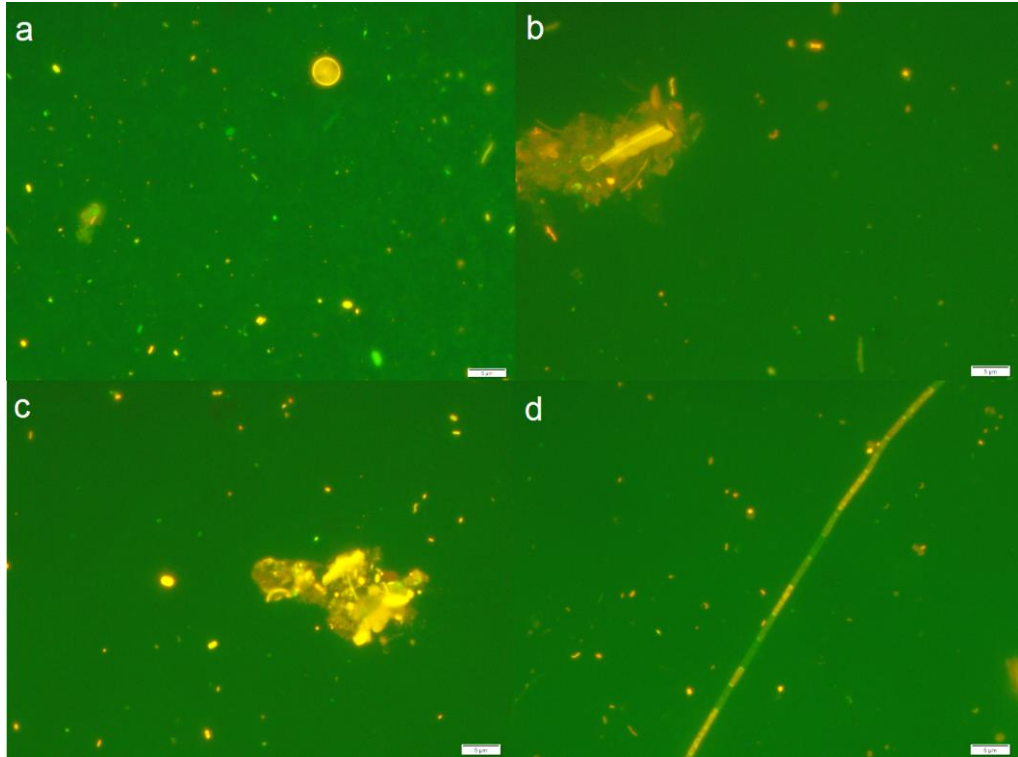
Joonis 6. Bakterite üldarvukus ja aktiivsete bakterite arvukus mõõdetud Soome lahe ristlõike jaamades GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11 aastal 2016

3.4. Pinnavee mikroorganismide sesoonne iseloomustus

Bakteriplanktoni sesoonset iseloomustust saab teha nii BÜA kui ka mikroskoopilise visuaalse pildi alusel. Järgmistel joonistel (joonis 7,8,9 ja 10) on esitatud mikroplanktoni sesoonne visuaalne iseloomustus iga aastaaja jaoks 2016. a. kogutud proovide alusel.

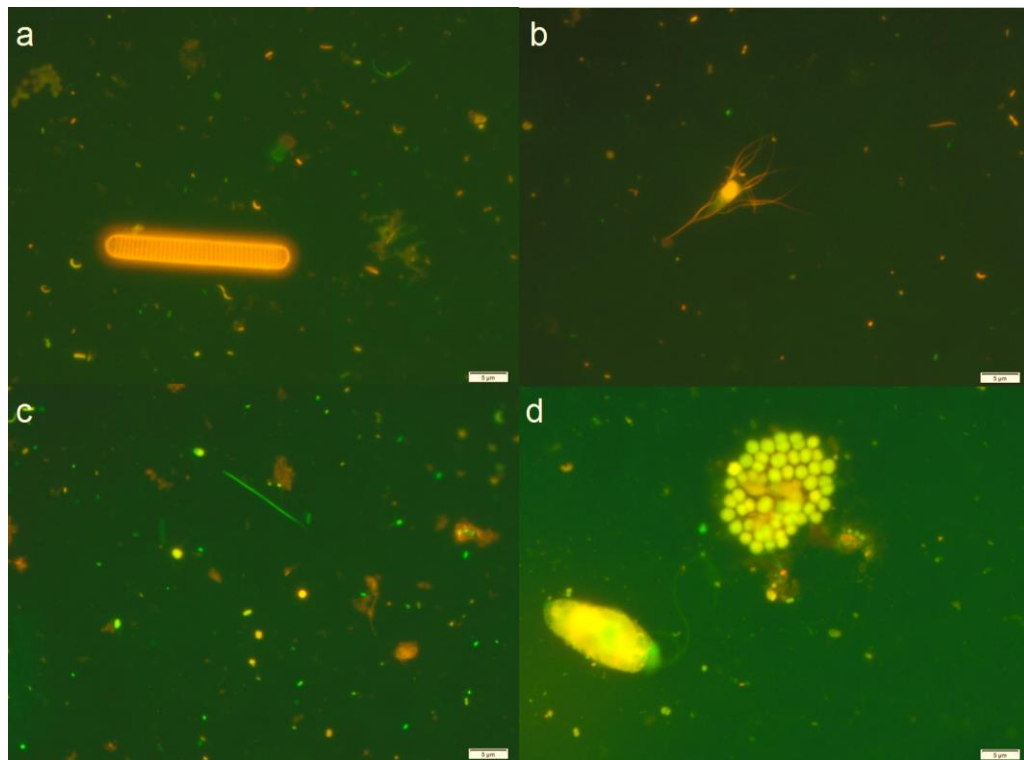
Joonisel 7 on kujutatud talvine periood. Selle perioodi jaoks iseloomulik väike bakterite arvukus ning väga väike primaarproduktioon. Pildil a on näha väikset

ümmargust ränivetikat. Nad on leitud kogu perioodi jooksul, aga erinevad liigid ja suurused. Piltidel b ja c on näha lagunenu orgaanilist ainet, mis on tüüpiline talve perioodi jaoks. Pildil d on pikk poollagunenud niitjas sinivetikas ehk tsüanobakter.



Joonis 7. Epifluorestsentsmikroskoobi fotod talvisest bakterioplanktonist koos üksikute lagunemisjärgus olevate fütoplankteritega (a – ränivetikas; b – detriit; c – detriit; d – niitjas tsüanobakter).AO-ga värvitud proov, üldsuurundus 1000 korda

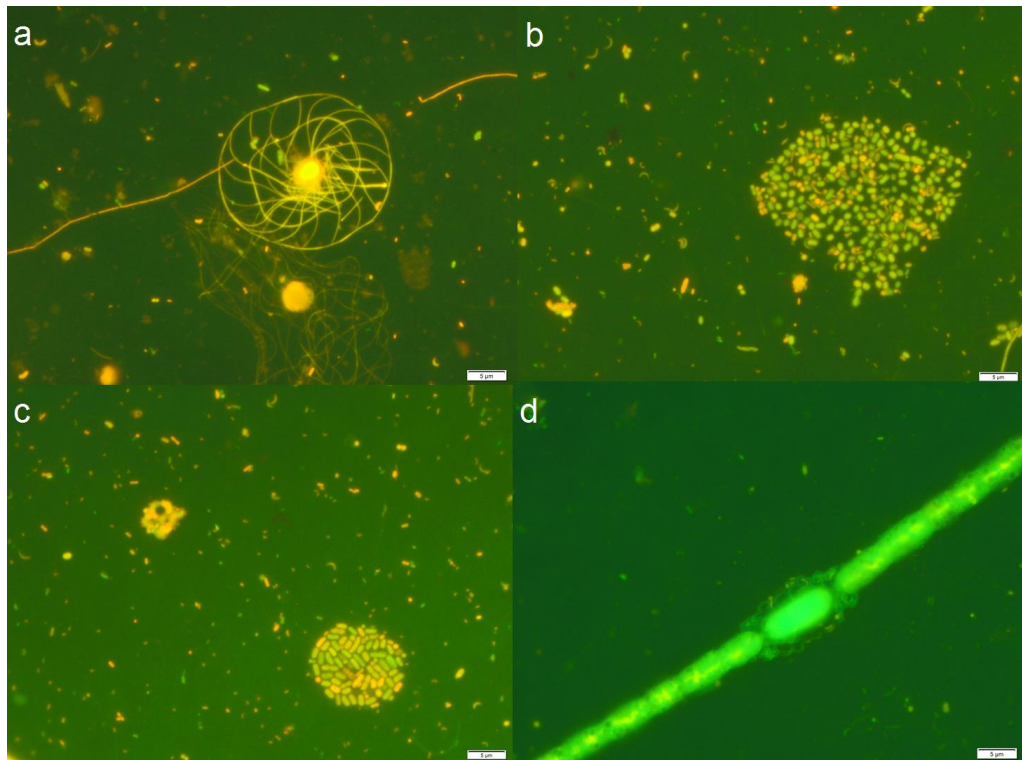
Joonis 8 illustreerib hiliskevadist perioodi. Aprillis-mais jätkus talviste toitainete varude arvel fütoplanktoni hulga suurenemine, mida soodustas pikenev päev, päikesekiirguse intensiivistumine ja soojenev vesi. Sellega kaasnes ka bakterite arvukuse suurenemine. Seda perioodi iseloomustab kõige bakterioplanktoni arvukus, mis saavutas maksimumi mais (vt. joonis 4). Fütoplanktonis domineerivad sel perioodil üldjuhul dinoflagellaadid (Lips et al., 2011).



Joonis 8. Epifluorestsentsmikroskoobi fotod kevadisest bakterioplanktonist koos üksiku ränivetikaga (a), üksiku bakteritoidulise kaelusflagellaadiga (b) ja kerajatest rakkudest koosneva tsüanobakterite koloogia ja autotroofse flagellaadiga (d). Fotol c on üksnes bakterid: väikesed rohelised ja kollased kokid, pulkbakterid ja üks roheline filament. AO-ga värvitud proov, üldsuurendus 1000 korda

Joonisel 9 koondab fotod suvisest perioodist. Juulis ja augustis domineerivad planktonis tsüanobakterid, nii niitjad kui ka väikeserakulised kerajad kolooniaid moodustavad fotosünteesijad (autotroofsed) sünekokid (fotod b ja c). Fotol b oleval sünekokkide koloonias on näha aktiivseid kollaselt värvunud heterotroofseid pulkbaktereid, kelle seost sünekokkide (fototroofid) rakkudega on pildi järgi raske määrata. Võib oletada, et neil on seos toidumise tasandil, mis on pigem mõlemale kasulik või neutraalne kui kahjulik. Pildil on näha ka bakteritest toituvaid kaelusviburloomi ehk kaelusflagellaate (foto a), kuid suvel on planktonis domineeriv teine liik kui kevadel (joonis 8 b). Surnud *Aphanizomenon flos-aqua* esinemine planktonis näitab, et nende õitseng on jõudnud hääbumise staadiumi. Heterotsüsti

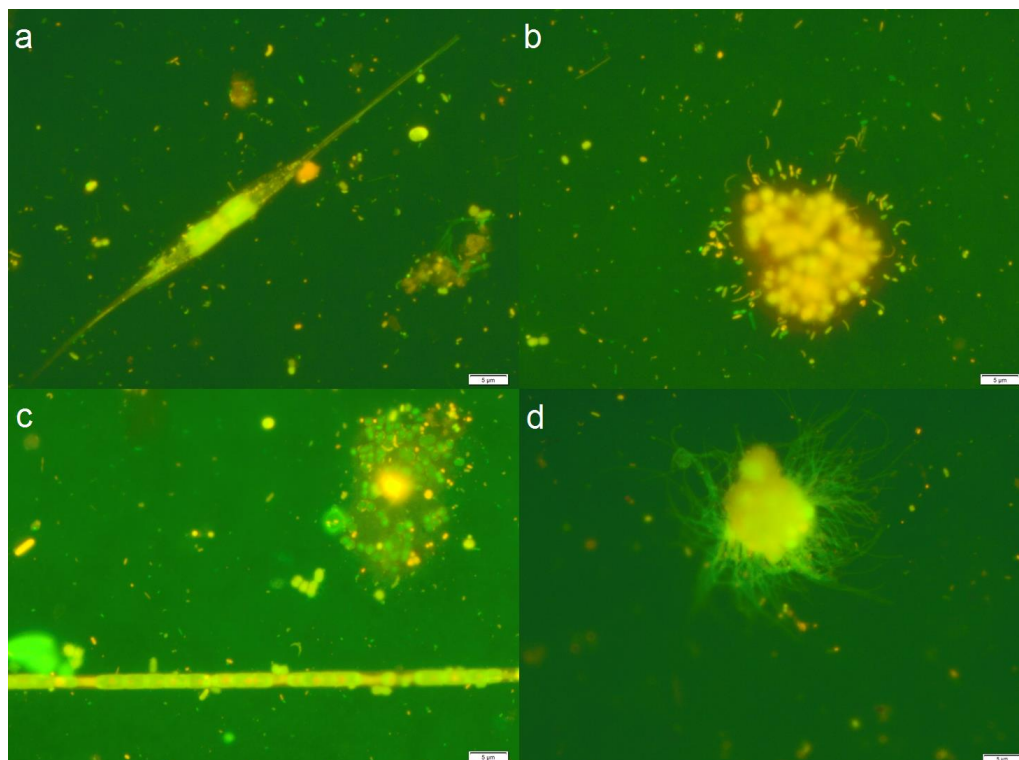
ümber on baktereid (vibrioonid), mis tõenäoliselt on sinna kogunenud, et kasutada ära õhulämmastiku fikseerimise käigus sinna kogunenud lämmastikku (joonis 9 d).



Joonis 9. Epifluorestsentsmikroskoobi fotod suvisest bakterioplanktonist koos teiste planktiliste mikrokoopiliste organismidega: (a) kaks bakteritodulist kaelusflagellaati, üks külg ja teine otsevaates (sama liik); (b) sünekokkide (*cynecoccus*) ehk väikesemõõtmeliste ümararakuliste tsünobakterite (autotroofid) koloonia; (c) kaks piklikest rakkudest moodustunud sünekokkide kolooniat (väikse ja suurem); (d) surnud (roheline) niitjas tsüanobakter *Aphanizomenon flos-aqua* (tugemalt värvunud bakteritega ümbritsetud rakk on heterotsüst – rakk, kus toimub N₂ fikseerimine. AO-ga värvitud proov, üldsuurendus 1000 korda

Sügisel (joonis 10) bakterite arvukus vähenes, mis jätkus aasta lõpuni. Samuti vähenes fütoplanktoni hulk ja klorofüll *a* kontsentratsioon. Pildil a on näha ränivetika liik, mida kevadises ja suvises planktonis ei kohanud. Kuna eriti arvukalt esines see ränivetikas Eesti rannikulähedases jaamas, siis võib oletada, et see kanti Soome lahte avamerelt. Veeprovides leidis rikkalikult tsüanobaktereid, nii niitjaid

kui koloniaalseid ümararakulised (sünekokid), millest enamus oli jõudnud lagunemise järku (joonis 10, fotod b ja c). Planktonis leidis ka miksotroofse Läänemeres laialt levinud ripslooma *Mesodinium rubrum* väikesemõõtmelisi noorvorme (joonis 10, foto d), täiskasvanud isendi keskmine suurus on 20-60 µm, kes vastavalt oludele võivad toituda kas auto- või heterotroofselt.

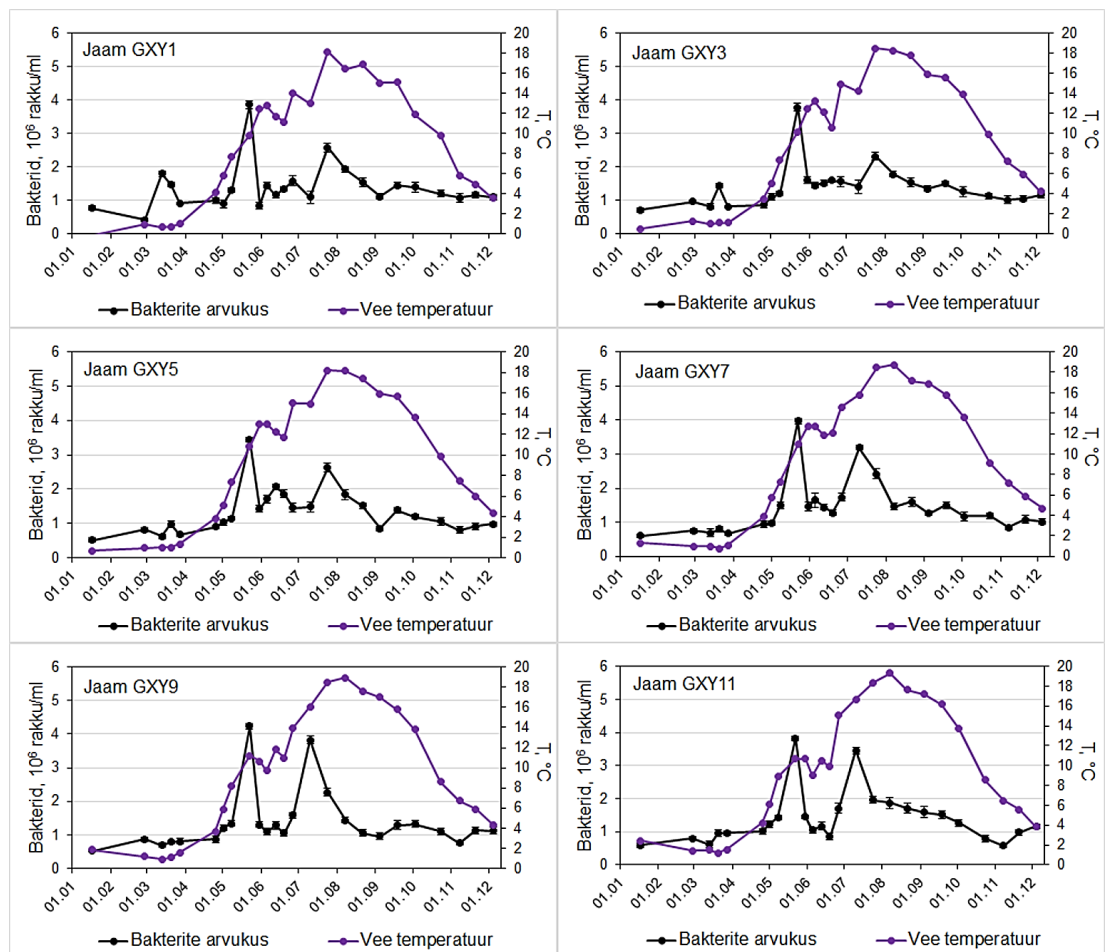


Joonis 10. Epifluorestsentsmikroskoobi fotod sügisest mikroplanktonist. Lisaks bakteritele on fotodele jäänud ränivetikas (foto a), ümararakuliste sünekokkide lagunev koloonia, mida ümbritseb hulgaliselt pulkbaktereid (foto b), sünekokkide segakoloonia ja niitjas poollagunev tsüanobakter koos rakkudele kinnitunud pulkbakteritega (foto C), väike miksotroofne veorganism *Mesodinium rubrum* (foto d). AO-ga värvitud proov, üldsuurendus 1000 korda

Sügisene bakteriplankton koosnes suve ja hiliskevadega võrreldes oluliselt väiksematest bakteritest, domineerisid pisikesed kokid ja pulkbakterid. Suuremõõtmelised pulkbakterid esinesid üldjuhul vaid vetikatele või detriidile kinnitunult.

3.5. Bakterioplanktoni sõltuvus vee temperatuurist ja soolsusest

Joonisel 11. on esitatud BÜA-e ja vee temperatuuri aastane muutlikkus 2016. aasta näitel Soome lahe ristlõike Tallinn-Helsingi 6 jaamas (GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11). Standardhälvete näitajad BÜA jaoks on toodud lisas (Lisa 4).

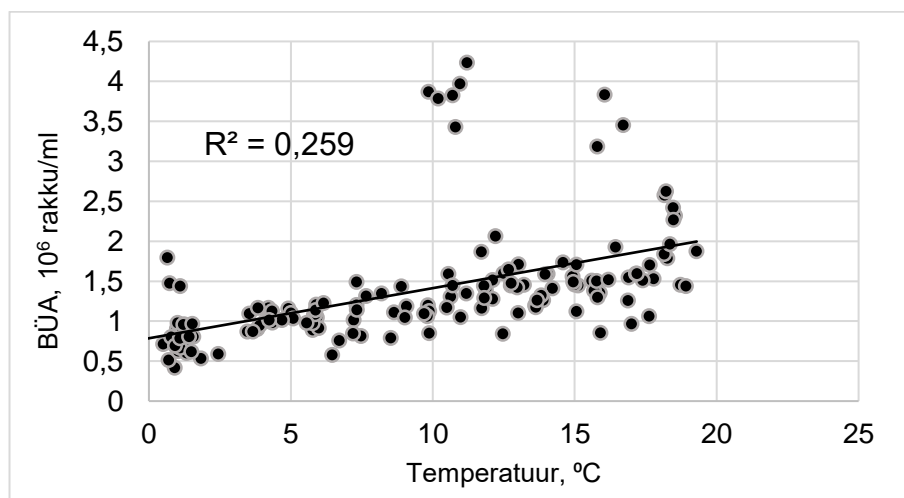


Joonis 11. BÜA ja vee temperatuur mõõdetud Soome lahe ristlõike jaamades GXY1 (Helsingi poolsem), GXY3, GXY5, GXY7, GXY9 ja GXY11 (Tallinna poolsem) ajavahemikus 17.01.2016-04.12.2016

Graafikudel on näha, et varasest kevadest suve alguseni Soome lahes suureneb vee temperatuur koos bakterite arvukusega. Hiljem sõltus BÜA temperatuurist juba vähesemal määral. Augusti lõpust alates langeb nii temperatuur kui BÜA.

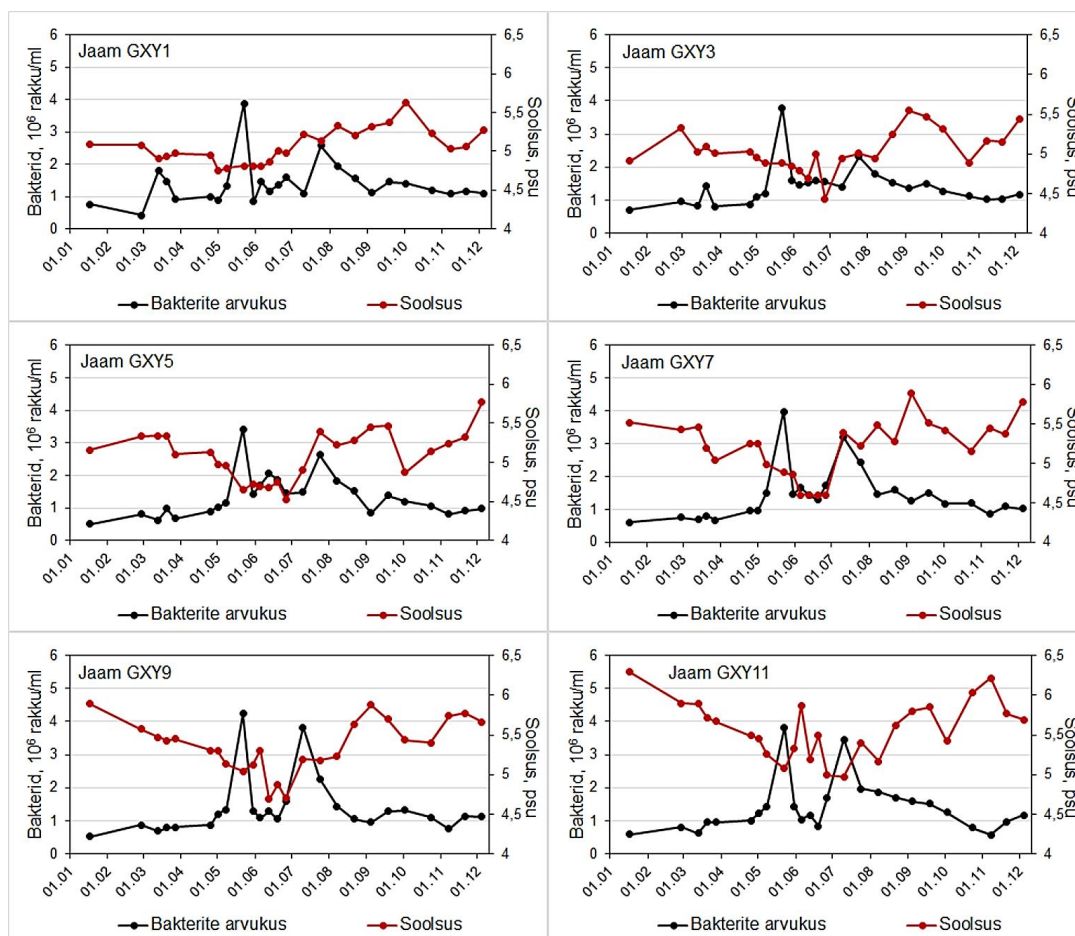
Olulisi erinevusi BÜA ja temperatuuri osas jaamade lõikes ei esinenud (joonis 11), millest saab järeldada, et aeg on tähtsam muutlikuse tegur, kui jaamade asukoht.

Kui arvesse võtta BÜA ja vee temperatuuri kogu aasta andmed siis ilmneb, et korrelatsioon BÜA ja vee temperatuuri vahel on nõrgalt positiivne (joonis 12). Keerulise vee liikumise ja teiste tegurite tõttu, sh laeva mõju, fütoplanktoni ja orgaanilise substraadi hulk, võib olla põhjuseks, miks BÜA korrelatsioon teiste parameetritega võib olla nõrk.



Joonis 12. BÜA korreleeruvus vee temperatuuriga Soome lahe ristlõikel (Tallinn-Helsingi) 4-5 m sügavusel ajavahemikus 17.01.2016 - 04.12.2016

Joonisel 13. on esitatud BÜA ja vee soolsuse (sügavusel 4-5 m) aastaringne muutumine mõõdetuna 2016. aastal Soome lahe ristlõikel jaamades GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11.



Joonis 13. BÜA ja soolsus mõõdetud Soome lahes jaamades GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11 ajavahemikus 17.01.2016-04.12.2016

Tabelis 8. on välja toodud korrelatsioonikordajad vee temperatuuri, soolsuse ja BÜA vahel. Analüüs näitas, et BÜA korreleerus mõõdukalt positiivselt vee temperatuuriga ja nõrgalt negatiivselt kuni suhteliselt tugevalt negatiivselt (Eesti poolseim jaam GXY11) vee soolsusega.

Tabel 8. Vee temperatuuri, soolsuse ja BÜA vahelised korrelatsioonikordajad aasta lõikes jaamade kaupa

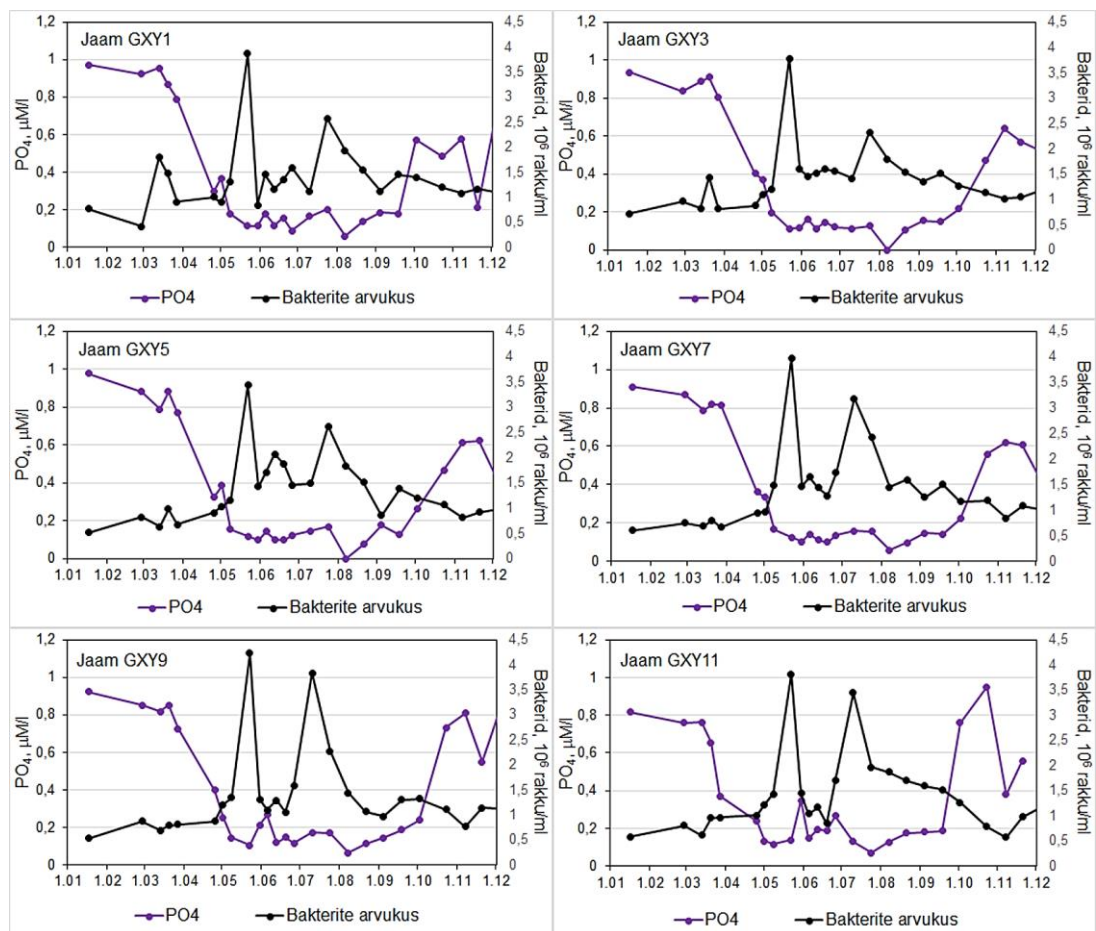
	Bakteriplanktoni üldarvukus (BÜA)					
Jaam	GXY1	GXY3	GXY5	GXY7	GXY9	GXY11
Temperatuur	0,371	0,495	0,598	0,572	0,453	0,582
Soolsus	-0,070	-0,191	-0,436	-0,268	-0,400	-0,700

Soome lahe lõunarannikumeres kaasnes soolsuse tõusuga BÜA vähenemine pinnalähedases veekihi. Soome lahes tõuseb pinnakihi vee soolsus juhul kui soolasem veemass liigub Läänemere avaosast Soome lahte või kui esineb lokaalsetest tuultest tingitud upvelling (Mayberg ja Andrejev, 2003). Kui temperatuuri osas proovivõtu jaama asukoha mõju oli kaootiline, siis soolsuse ja BÜA graafikutelt jaamade kaupa (joonis 13) on näha, et Tallinna poolses kahes jaamas (GXY9 ja GXY11) on pinnavee soolsus talvekuudel oluliselt kõrgem kui Helsingi poolsetes jaamades (GXY1 ja GXY3). Seetõttu on ka negatiivne korrelatsioon BÜA ja soolsuse vahel Tallinna poolsetes jaamades oluliselt tugevam kui kõiki andmeid arvestava korrelatsiooni arvutuse puhul.

3.6. Bakterioplanktoni sõltuvus toitainetest

Bakterid vajavad toitained elamiseks. Anorgaanilistest ühenditest nad põhiliselt kasutavad fosfaadid ning nitritid ja nitraatid.

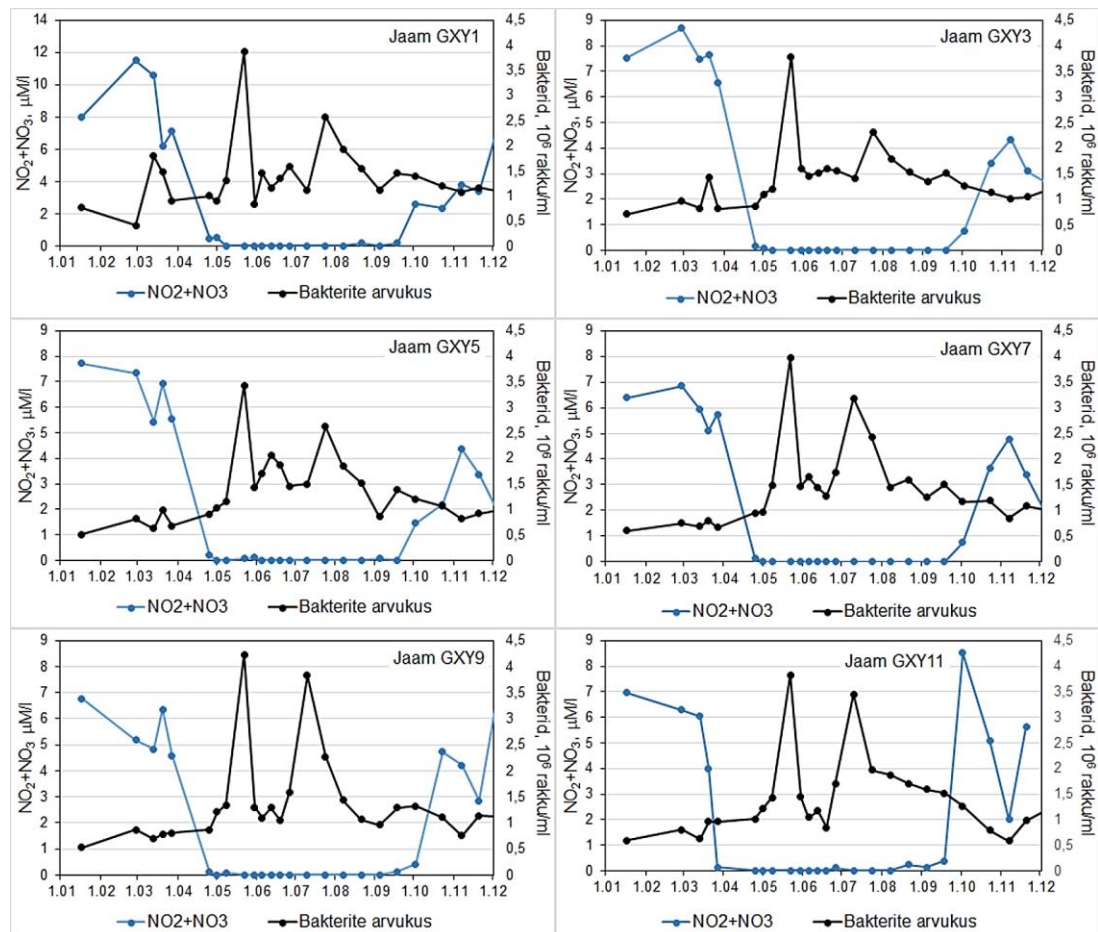
Graafikutel (joonis 14) on toodud BÜA ning fosfaatide kontsentratsioonid mõõdetud Soome lahe jaamades GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11. Graafikutes on näha, et kõige kõrgemad fosfaatide kontsentratsioonid esinesid jaanuaris (va jaam GXY11, kus toitainete kontsentratsioon oli kõrgeim novembris). Märtsi lõpus kui BÜA hakkas suurenema toimus paralleelselt nii fosfaatide kui nitritite-nitraatide kontsentratsioonide kahanemine. Neid toitaineid tarbivad meres eelkõige vetikad ehk fotosünteerivad organismid. Palju aeroobsed bakterid lahustunud toitaineid kasutasid pole teada. Fütoplanktoni poolt anorgaaniliste toitainete ärakasutamise tõttu ongi fosfaatide (joonis 14), eriti aga nitritite-nitraatide kontsentratsioonid (joonis 15) suvel väga madalad. Kõige madalad fosfaatide kontsentratsioonid leitakse augustis. Kuskil oktoobrist fosfaatide kontsentratsioonid suurenevad aasta lõpuni paralleelselt bakterite arvukuse ja fütoplanktoni hulga vähenemisega.



Joonis 14 . Bakterioplanktoni arvukus ja fosfaatide kontsentratsioon Soome lahe jaamades GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11 ajavahemikul 17.01.2016-04.12.2016

Joonis 15. näitab bakterite arvukused ning nitritide ja nitraatide kontsentratsioonid mõõdetud Soome lahe jaamades GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11. Sama nagu fosfaatidega, nitritide ja nitraatide kontsentratsioonid aasta algusel on kõrged ning kevadel nad hakkavad kahanema. Mai kuus nitraatide kontsentratsioon on juba väga madal – vähem kui 0.08 μM/l ning nad jäävad madalaks septembrini. Suvel, kui lämmastik on otsas, hakkavad domineerima tsüanobakterid, kes on võimelised lämmastiku allikana tarbima ka õhulämmastikku. Nitritide ja nitraatide kontsentratsioonid hakkasid suurenema oktoobrist. Talvel kui pindmises veekihi oli bakterite arvukused madalad suurenes toitainete sisaldus oletatavalt põhjalähedases

veekihis toimuva bakteriaalse orgaanilise aine mineralisatsiooni tõttu. Fosfaatide vabanemisele põhjasetetest aitavad kaasa lisaks hapnikupuududes toimuvale fosfori vabanemisele ka anaeroobsete bakterite elutegevus. Fosfaatide sisalduse tõus pinnavees jätkus kuni kevadeni.



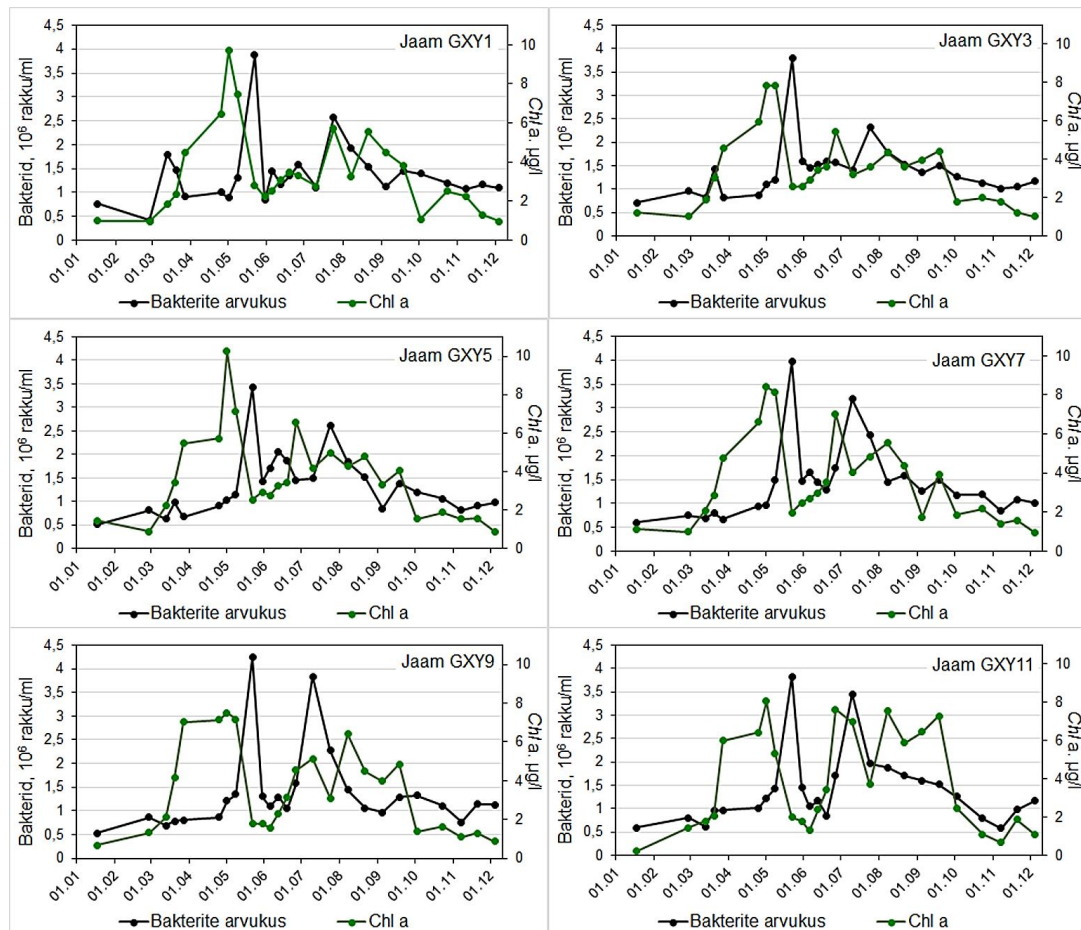
Joonis 15. Bakterioplanktoni arvukus ning nitritide ja nitraatide kontsentratsioon Soome lahe jaamades GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11 ajavahemikul 17.01.2016-04.12.2016

Kokkuvõtteks võib teha järelduse, et bakterite arvukus on otseselt või kaudselt seotud lahustunud toitainete sisaldusega merevees. Kuna bakterite arvukuse suurenemisel toitainete kontsentratsioon väheneb, korrelatsiooni nende parameetrite vahel peab olema negatiivne.

Mõlemadel joonistel on näha, et jamade erinevusi peaaegu ei ole, millest saab järeldada, et toitainete kontsentratsioon ja bakterite arvukus sõltuvad rohkem aastaajast kui asukohast Soome lahe ristlõikel.

3.7. Bakterioplanktoni sõltuvus fütoplanktonist

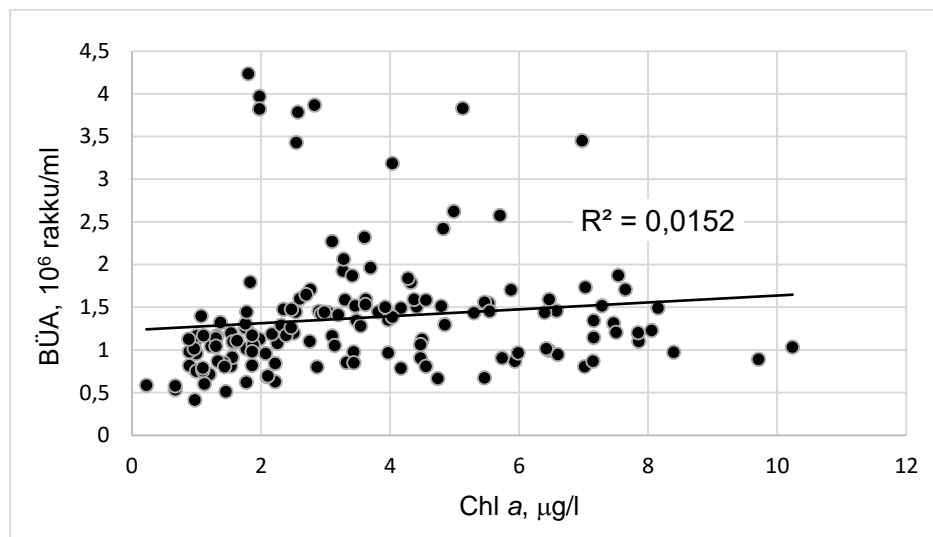
Fütoplankton mõjub bakterioplanktoni arvukust suurel määral. Graafikutel (joonis 16) on toodud bakterite arvukused ning klorofüllü *a* kontsentratsioonid mõõdetud Soome lahe jaamades GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11.



Joonis 16. Bakterioplanktoni arvukus ja klorofüllü *a* kontsentratsioon mõõdetud Soome lahes jaamades GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11 ajavahemikul 17.01.2016-04.12.2016

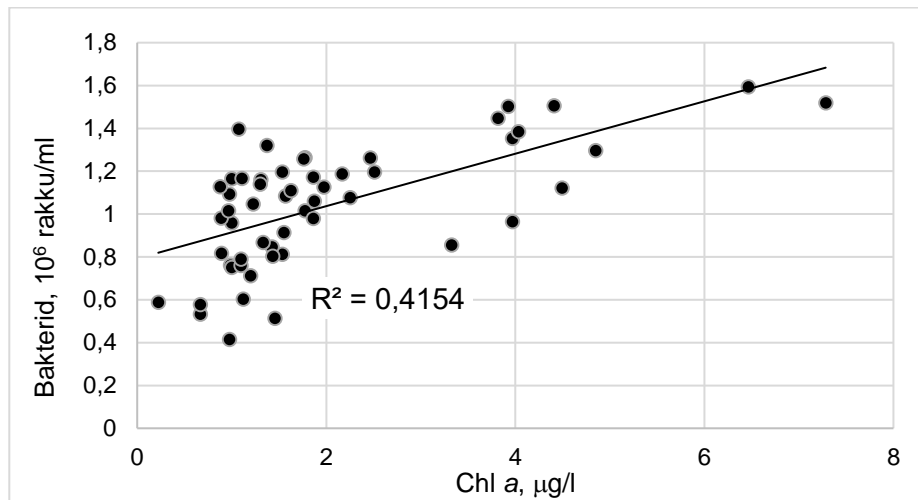
Graafikutel on näha, et aasta algul on nii bakterite kui ka fütoplanktoni kontsentratsioonid pindmises veekihis madalad. Märtsist hakkasid mõlemd tõusma. Fütoplanktoni järsk kontsentratsiooni tõus esines sõltuvalt asukohast (jaamast) kas aprillis või mais. Bakterite arvukuse maksimum saabus veidi hiljem mai keskel. Klorofüll*a* kontsentratsioonis esinesid hilissuvised tipud sõltuvalt jaamast, kas augusti lõpus (jaam GXY9) või isegi oktoobris (jaamas GXY11).

Kuna bakteriplanktoni arvukust mõjutavad erinevad tegurid, siis on arvutuslik korrelatsioon klorofüll*a* kontsentratsioon ja BÜA vahel kõiki andmeid arvesse võttes nõrk, aga ikka olemas (joonis 17).



Joonis 17. Bakteriplanktoni arvukuse ja klorofüll*a* kontsentratsiooni korrelatsioon ajavahemikus 17.01.2016-04.12.2016

Kõige paremad korrelatsioonid klorofüll*a* ja bakterite kontsentratsiooni vahel esinesid graafiku järgselt talvel ja sügisel (korrelatsiooni näitaja 0.64; joonis 19).



Joonis 19. Bakteriplanktoni arvukuse ja klorofüllü *a* sisalduse vaheline korrelatsioon ajavahemikes 2016. aasta sügis-talv.

Sügisel ja talvel on fütoplankton hääbuvas olekus (surev või surnud) ja orgaaniline aine on bakteritele toiduks. Samas on muid bakterite arvukust mõjutavaid tegureid vähem. Järelikult on sel perioodil bakteriplanktoni seoses fütoplanktoni kui toiduga tugev. Kevadel ja suvel fütoplankton on füüsiliselt heas seisundis ja bakteritele kättesaamatu. Kesksuvel mõjutab pindmise veekihi baktereid UV-kiirgus, mis olemuselt on bakteriotsiidne – hävitab mikroobe või pidurdab nende arengut. Samuti suvel fütoplanktonis domineerivad kaelusflagellad, mille peamiseks toiduks on bakterid.

3.8. Bakterite üldarvukus Soome lahe põhjapoolse ja lõunapoolses rannikumeres

BÜA jaotus Soome lahe ristlõikel varieerus kuid mitte niivõrd, et oleks ilmnenud selget erinevust bakterite jaotuses lõuna- ja põhjarannikumere vahel (tabel 9). Aastases lõikes selge trend puudus, maksimaalsed ja minimaalsed arvukused esinesid

sagedamini rannalähedastes jaamades. Ristlõike ulatuses oli BÜA jaotus kõige ebaühtlasem märtsis (13.03.2016) ja juulis (10.07.2016).

2016. aasta algusest kuni 20. märtsini esinesid suurimad BÜA-d ristlõike Soome poolseimas jaamas (kolmel korral jaamas GXY5 ja ühel korral jaamas GXY3). Märtsi lõpust kuni 1. maini oli BÜA ristlõike kõrgeim Eesti poolseimas jaamas GXY11. Alates mai teisest nädalast nihkusid maksimumarvukused lahe keskele, kus nad paknesid kuni juuli lõpuni. Alates 21.augustist kuni 18. septemberini esinesid maksimaalsed BÜA uuesti Eesti ranna lähedal ning seejärel alates 2. oktoobrist kuni 20. novembrini Soome ranna lähedal, samal ajal kui ristlõike minimaalsed arvukused paiknesid hilissügisel valdavalt just Eesti poolseimas jaamas GXY11 (tabel 9).

Seega jaotusid BÜA maksimumväärtused aasta lõikes enamvähem võrdselt Eesti (7 maksimumi) ja Soome rannalähedases meres (8 maksimumi). Oktoobrist alates esines Soome poolseimas jaamas neljal korral järjest ristlõike kõrgeimad BÜA-d, nii nagu esinesid suurimad bakterite arvukused Soome rannikumeres ka 2016. aasta jaanuarist märtsini. Sellist BÜA jaotumist saab seletada Neeva jõe ja Peterburi linna heitvete ning võibolla ka Kotka linna mõjuga kuna vee liikumine Soome lahes toimub vastupäeva. Kuna reovee puhastamise käigus baktereid ei hävitata ning talvel on mere isepuhastusvõime madal, siis säilivad reostusega merre kantavad bakterid elus kauem ning kanduvad allikast kaugemale. Arvestamata ei saa jätta ka Helsingi linna heitvete mõju.

Tabel 9. BÜA Soome lahe ristolõike jaamades GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11 aastal 2016. Märgistuse (värvus, kirjavorm) selgitus on lisatud peale tabelit

Proovi-seeria, nr	Kuupäev	BÜA, rakku/ml					
		GXY1	GXY3	GXY5	GXY7	GXY9	GXY11
1	17.01.16	761065	712226	512803	602340	533152	588095
2	28.02.16	415126	958453	816008	750890	866881	803798
3	13.03.16	1794225	820078	626759	687807	693912	618619
4	20.03.16	1474914	1436900	976767	799728	785484	956418
5	27.03.16	905545	807868	673562	665423	805833	964558
6	25.04.16	997117	868916	903510	946243	868916	1013396
7	01.05.16	891300	1100898	1033745	972697	1206715	1227064
8	08.05.16	1312531	1200610	1143632	1489570	1345090	1434627
9	22.05.16	3869748	3786119	3428794	3968582	4234675	3824132
10	30.05.16	842462	1597421	1422417	1475326	1306426	1444802
11	05.06.16	1446837	1452941	1709343	1648295	1094793	1043920
12	12.06.16	1163303	1516024	2063421	1442767	1288112	1170086
13	19.06.16	1345090	1591317	1868067	1279972	1050025	848567
14	26.06.16	1589282	1558758	1457011	1733762	1585212	1707308
15	10.07.16	1100898	1410208	1491605	3185509	3831734	3451602
16	24.07.16	2574189	2317787	2623027	2421569	2268949	1963709
17	07.08.16	1927080	1788705	1837543	1452941	1438697	1874172
18	21.08.16	1546548	1530269	1511954	1593352	1062234	1703238
19	04.09.16	1121247	1353230	854671	1257588	964558	1593352
20	18.09.16	1446837	1505850	1383754	1501780	1296252	1518059
21	02.10.16	1395963	1263693	1196540	1172121	1320671	1261658
22	23.10.16	1196540	1125317	1060199	1186365	1109038	789554
23	07.11.16	1076479	1015431	811938	846532	759030	577921
24	20.11.16	1159911	1045955	913684	1084619	1139562	978802
25	04.12.16	1092758	1163981	980837	1015431	1127352	1166016

Märgistuse seletus:

tumeoranžiga ja rasvases kirjas on märgistatud ristolõike maksimaalne BÜA;

heleoranžiga ja normaalses kirjas on märgistatud suurin rannahedase jaama BÜA, juhul kui ristolõike maksimaalne arvukus paiknes mõnes teises ristolõike jaamas;

tumesinisega ja rasvases kirjas on märgistatud ristolõike minimaalne BÜA;

helesnisega ja normaalses kirjas on märgistatud madalaim rannahäädase jaama BÜA juhul kui ristlõike minimaalne BÜA väärtus paiknes mõnes teises ristlõike jaamas (lahe keskel).

Kui välja arvata 28.02.2016 kogutud proovide tulemused, siis oli BÜA Soomele lähimas jaamas võrreldes Eestile lähima jaamaga jaanuarist märtsi lõpuni keskmiselt 1,9 korda kõrgem. Sarnaselt oli BÜA Soome poolseimas jaamas Eesti poolseimast keskmiselt 1.4 korda kõrgem ka oktoobri algusest detsembrini.

Ristlõike minimaalsete BÜA väärtuste jaotumine ristlõikel oli kaootilisem.

Mere keskel on raske analüüsida bakterite horisontaalset jaotust, kuna seal on palju tegureid, mis mõjutavad tulemusi.

Kokkuvõte

Magistritöö eesmärgiks oli uurida bakterite üldarvukust ja bakteriplanktoni fenotüüpilist struktuuri ning selle ajalist dünaamikat Soome lahe ristlõike pindmises veekihis. Analüüsitud veeproovid koguti 2016 aastal Tallinna ja Helsingi vahel sõitvale reisilaevale paigutatud Ferrybox mõõte- ja proovivõtusüsteemiga. Proove analüüsiti kasutades filtratsiooni tehnikat koos epifluorestsentsmikroskoopilise uuringu ja rakkude loendusega. Nimetatud meetod on Länemere mikrobioloogiliseks seireks soovitatud meetod (*HELCOM*, 2014b).

2016. aasta jaanuaris oli bakterite üldarvukus mere pindmises veekihis 0.51-0.76 mln bakterit milliliitris, aprillis hakkas bakteriplanktoni arvukus koos fütoplanktoni hulga suurenemise ja veetemperatuuri tõusuga suurenema. Mais oli bakteriplanktoni arvukus tõusnud juba 3.79-4.24 miljoni bakterini milliliitris, mis langeb kokku planktiliste vetikate kevadise õitsengu lõpuga. Juunis kui kevadine vetikaõitseng oli hääbunud ning selle jäänused ära tarbitud hakkas vähenema ka bakterite arvukus (0.85-2.06 mln rakku/ml). Kuna nitraadid ja fosfaadid olid juuni alguseks vee pinnakihi äratarbitud, siis langes juunis ka fütoplanktoni hulka kajastav klorofüll *a* sisaldus ning sellele järgnevalt ka BÜA. Seega oli vähemalt juunis merebakteritele limiteerivaks teguriks primaarproduksioonist tulenev orgaaniline aine ning alles seejärel temperatuur. Teine BÜA tipp saabus juulis (3.45-3.83 mln rakku/ml). Bakterite arvukuse langus jätkus oktoobris, novembris ja detsembris koos vee temperatuuri ja fütoplanktoni hulga vähenemisega ning jäi talveks tasemele 0.58-1.59 mln rakku/ml.

Seega mikroorganismide hulk Soome lahes sõltub eelkõige orgaanilise toidu olemaslust (fütoplankton, zooplankton, reostus) ja seejärel vee temperatuurist. Nende tegurite koosmõju tulemusena esines 2016.a. bakteriplanktoni arvukuses kaks sesoonset tippu - esimene mais ja teine juulis.

Soome lahe pindmises veekihis esines peamiselt neli erinevat bakteritüüpi: kokid/ovaalid, pulkbakterid, vibrioonid ja pikad peened filamendid. Kokid

moodustasid pinnalähedase veekihi bakteri planktonist enamuse - 58-62 % BÜA-st. Pulkbaktereid ja vibrioone esines enamvähem võrdselt - 17-21 % BÜA-st. Kõige vähem oli bakterikoosluses filamentseid baktereid (2-3 % BÜA-st).

Aktiivsete bakterite osakaal BÜA-st olenes suuresti fütoplanktonist. Aktiivse fotosünteesi ajal (kõrge klorofüll *a* kontsentratsioon) oli aktiivsete bakterite protsent kõrgeim. Proovivõtu koha (jaamast) mõju aktiivsete bakterite arvukusele ei ilmnunud.

Varasest kevadest suve alguseni suureneb BÜA koos vee temperatuuri tõusuga. Hiljem mõjutab temperatuur BÜA juba vähesemal määral. Augusti lõpust alates langes paralleelselt vee temperatuuriga ka BÜA.

Märkimisväärseid erinevusi jaamade osas uuritud ristlõikel ei esinenud. Seega on aastaaeg koos sellega kaasnevaga uuritud piirkonnas olulisem bakteri planktoni arvukust reguleeriv tegur kui asukoht. BÜA ja vee temperatuuri vahel esines nõrk positiivne korrelatsioon 0.37 kuni 0.60, mis oli tugevam eesti poolsetel ristlõike, nii nagu esinesid eesti poolsetes jaamades ka suuremad negatiivsed korrelatsioonikordajad BÜA ja soolsuse vahel (-0.70 jaamas GXY11 ja -0.07 jaamas GXY1).

Fütoplanktoni ja BÜA vaheline positiivne korrelatsioon oli suurim sügisel ja talvel (korrelatsioonikordaja 0.64), kuna sel perioodil on vähem segavaid faktoreid, mis võivad lisaks fütoplanktonile mõjutada bakterite arvukust.

Bakterite suuremad arvukused jaanuarist märtsini ja oktoobrist detsembrini esinesid just Soome lahe rannikumeres. See on aasta külmim periood kui mere isepuhastusvõime on madal ja samas säilivad heitvetega merre kantavad bakterid kauem elus. Bakteriaalne reostus võis külmal perioodil Soome lahe Helsingi-Tallinn ristlõikeneni kanduda nii Neeva jõest, Peterburi linnast kui ka Kotka ja Helsingi heitvetega.

Uuringu tulemused näitasid, et bakterite arvukust ja horisontaalset levikut meres mõjutavad terve rida tegureid, millest olulisemaks osutus fütoplanktoni hulk ja arengustaadium ehk bakteritele tarbitava orgaanilise aine olemasolu. Olulisuselt järgmine mõjutegur oli vee temperatuur. Bakterite arvukust meres reguleerivad ka bakteritoidulised algloomad (vibur- ja ripsloomad). Vähesemal määral ja kaudsemalt mõjutab planktiliste bakterite arvukust anorgaaniliste toitainete (NO_2+NO_3 , NH_4 , PO_4) sisaldus merevees.

Kasutatud kirjandus

- Alenius, P., Myrberg, K., & Nekrasov, A. (1998). The physical oceanography of the Gulf of Finland: a review. *Boreal Environ Res*, 3, 97-125.
- Andersen, J., H., Axe, P., Backer, H., Carstensen, J., Claussen, U., Fleming-Lehtinen, V., Järvinen, M., Kaartokallio, H., Knuuttila, S., Korpinen, S., Kubiliute, A., Laamanen, M., Lysiak-Pastuszak, E., Martin, G., Møhlenberg, F., Murray, C., Nausch, G., Norkko, A., Villnäs, A. (2011). Getting the measure of eutrophication in the Baltic Sea: towards improved assessment principles and methods. *Biogeochemistry*, 106, 137–156.
- Andersen, J., H., Carstensen, J., Conley, D., J., Dromph, K., Fleming-Lehtinen, V., Gustafsson, B., G., Josefson, A., B., Norkko, A., Villnäs, A., Murray, C. (2017). Long-term temporal and spatial trends in eutrophication status of the Baltic Sea. *Biological Reviews*, 92 (1), 135–149.
- Andersin, A-B., Sandler, H. (1991). Macrobenthic fauna and oxygen deficiency in the Gulf of Finland. *Memo Soc Fauna Flora Fenn*, 67, 3-10.
- Azam, F., Fenchel, T., Gray, J., G., Meyer-Reil, L., A., Thigstad, T. (1983). The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 10, 257.
- Bell, J., B., Dutka, B., J. (1972). Bacterial densities by fluorescent microscopy. *Proc, 15th Conf. Great Lakes Res*, 15-20.
- Bölter, M., Gocke, K., Hoppe, H., Lenz, J., Meyer-Reil, L., Probst, B., Rheinheimer, G., Schneider, J., Szweringi, H., Zimmermann, R. (1977). Microbial Ecology of a Brackish Water Environment., 103-120.
- Capriulo, G., M., Sher, E., B., Sher, B., F. (1991). Trophic behaviour and related community feeding activities of heterotrophic marine protists. In: Reid, P.C., C.M. Turley and P.H. Burkhill (eds). *Protozoa and their role in marine processes*. NATO ASI Series G: *Ecological sciences*, Springer-Verlag, Heidelberg, 25, 219-265.
- Elken, J., Matthäus, W., Krzyminski, W., Dubra, J. (2002). The Meteorological, hydrological and hydrographic forcing. In: HELCOM. *Environment of the Baltic Sea area 1994-1998. Baltic Sea Environ Proc*, 82B, 39-45.
- Farnelid, H., Oberg T., Riemann, L. (2009). Identity and dynamics of putative N₂ - fixing picoplankton in the Baltic Sea proper suggest complex patterns of regulation. *Environ Microbiol Rep.*, 1 (2), 145-154.
- Heinänen, A. (1991). Numbers, biomass and productivity in the Baltic Sea: a cruise study. *Marine Ecology Progress Series*, 70, 283-290.

- Heinänen, A. (1992). Bacterioplankton in the open Baltic Sea. *Finn Mar Res*, 260, 1-32.
- Heinle, D., R., Harris, R., P., Ustach, J., F., Flemer, D., A. (1977). Detritus as food for estuarine copepods. *Mar. Biol.*, 40, 341-353.
- HELCOM (2010). What was the eutrophication status of the Baltic Sea in 2003-2007 Demonstration set of HELCOM core eutrophication indicators. Baltic Marine Environment Protection Commission.
- HELCOM (2014a). Eutrophication status of the Baltic Sea 2007-2011 - A concise thematic assessment. *Baltic Sea Environment Proceedings*, 143. Baltic Marine Environment Protection Commission.
- HELCOM (2014b). Annex C-12: Guidelines concerning bacterioplankton abundance determination. Manual for marine monitoring in the COMBINE programme, 366-367.
- HELCOM. (1996). Third Periodic Assessment of the state of the Marine Environment of the Baltic Sea 1989–1993. Background document. *Baltic Sea Environment Proceedings*, 64B, Helsinki.
- HELCOM. (2002). Fourth Periodic Assessment of the State of the Marine Environment in the Baltic Sea Area 1994–1998. *Baltic Sea Environment Proceedings*, 82B.
- Hobbiie, J., E., Daley, R., J., Jasper, S. (1977). Use of Nuclepore filters or counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33, 1225-1228.
- Höfle, M., G., Brettar, I. (1996). Genotyping of Heterotrophic Bacteria from the Central Baltic Sea by Use of Low-Molecular-Weight RNA Profiles. *Applied and environmental microbiology*, 6 (4), 1383–1390.
- Jassby, A., D. (1975). An evaluation of ATP estimations of bacterial biomass in the presence of phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 20 (4), 646-648.
- Kahru, M., Leppänen, J-M., Rud, O., Savchuk, O., P. (2000). Cyanobacteria blooms in the Gulf of Finland triggered by saltwater inflow into the Baltic Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 207, 13-18.
- Kaskela, A., M., Kotilainen, A., T., Al-Hamdani, Z., Leth J., O., Reker, J. (2012). Seabed geomorphic features in a glaciated shelf of the Baltic Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 100, 150-161.
- Kikas, V., Lips, U. (2016). Upwelling characteristics in the Gulf of Finland (Baltic Sea) as revealed by Ferrybox measurements in 2007–2013. *Ocean Sci.*, 12, 843-859.

- Kivi, K., Kaitala, S., Kuosa, H., Kuparinen, J., Leskinen, E., Lignell, R., Macrussen, B., Tamminen, T. (1993). Nutrient limitation and grazing control of the Baltic plankton community during annual succession. *Limnol Oceanogr.*, 38, 893-905.
- Kotta, J., Paalme, T., Martin, G., Mäkinen, A. (2000). Major changes in macroalgae composition affect the food and habitat preference of *Idotea baltica*. *Int. Rev. Hydrobiol.*, 85, 693-701.
- Künnis, K. (1997). Development of microbial community during *Skeletonema costatum* detritus degradation. *Hydrobiologia*, 363, 253–260.
- Künnis, K. (1999). Spatio-temporal regulation of bacterioplankton distribution and composition in marine habitats (doktoritöö). Tallinn: TPÜ Kirjastus.
- Larsson, U., Hagstrom, A. (1982). Fractionated phytoplankton primary production, exudate release, and bacterial production in a Baltic eutrophication gradient. *Mar. Biol.*, 67, 57-70.
- Larsson, U., Elmgren R., Wulff, F. (1985). Eutrophication and the Baltic Sea: causes and consequences. *Ambio*, 14, 9–14.
- Lehmann, A., Mayberg, K., Höflich, K. (2012). A statistical approach to coastal upwelling in the Baltic Sea based on the analysis of satellite data for 1990-2009. *Oceanologia*, 54, 369-393.
- Lehtoranta, J. (2003). Dynamics of sediment phosphorus in the brackish Gulf of Finland. *Monogr. Boreal Environ. Res.*, 24, 58.
- Liblik, T., Lips, U. (2011). Characteristics and variability of the vertical thermohaline structure in the Gulf of Finland in summer. *Boreal Environmental Research*, 16A, 73-83.
- Lips, I., Rünk, N., Kikas, V., Meerits, A., Lips, U. (2014). High-resolution dynamics of the spring bloom in the Gulf of Finland of the Baltic Sea. *Journal of Marine Systems*, 129, 135-149.
- Lips, U., Lips, I., Liblik, T., Kikas, V., Altoja, K., Buhhalko, N., Rünk, N. (2011). Vertical dynamics of summer phytoplankton in a stratified estuary (Gulf of Finland, Baltic Sea). *Ocean Dynamics*, 61, 903-915.
- Lips, U., Loigu, E., Lääne, A., Martin, G., Pachel, K., Raia, T. (1998). Soome lahe seisund ja tulevik. Tallinn: Keskkonnaministeerium.
- Lips, U., Poutanen, E-L., Pitkänen, H., Kauppila, P., Basova, S. (2002). Hydrochemistry. Baltic Marine Environment Protection Commission. Fourth periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea. *Baltic Sea Environment Proc.*, 82B, 76-78.

- Mayberg, K. (1998). Analysing and modelling the physical processes of the Gulf of Finland in the Baltic Sea. *Monographs of the Boreal Environment Research*, 10.
- Mayberg, K., Andrejev, O. (2003). Main upwelling regions in the Baltic Sea – a statistical analysis based on three-dimensional modeling. *Boreal Environment Research*, 8, 97-112.
- Mayberg, K., Andrejev, O., Lehmann, A. (2010). Dynamics of successive upwelling events in the Baltic Sea – a numerical case study. *Oceanologia*, 52, 77-99.
- Ojaveer, E. (2014). Läänemeri. Ökosüsteemid ja elusvarud, nende hindamine ning haldamine. Tallinn: Teaduste Akadeemia Kirjastus.
- Panov, G., V. (1983). Dynamics of microbiological processes in the open waters of the Baltic Sea in 1976-1982. In: Symposium on Ecological Investigations of the Baltic Sea Environment. Riga, USSR, 16-19 March 1983, 350-370.
- Perttilä, M., Niemistö, L., Mäkelä, K. (1995). Distribution, development and total amounts of nutrients in the Gulf of Finland. *Estuarine Coastal Shelf Sci*, 41, 345-360.
- Pitkänen, H., Lehtoranta, J., Peltonen, H., Laine, A., Kotta, J., Kotta, I., Moskalenko, P., Mäkinen, A., Kangas, P., Perttilä, M., Kiirikki, M. (2003). Benthic release of phosphorus and its relation to environmental conditions in the early 2000s in the estuarial Gulf of Finland, Baltic Sea. *Proc Estonian Acad Sci Biol Ecol*, 52, 173-192.
- Pitkänen, H., Lehtoranta, J., Räike, A. (2001). Internal nutrient fluxes counteract decreases in external load: the case of the estuarial Gulf of Finland. *Ambio*, 30, 195-201.
- Raateoja, M., Setälä, O. (2016). The Gulf of Finland assessment. Helsinki: Reports of the Finnish Environmental Institute.
- Razumov, A., S. (1932). Direct method for counting water bacteria (in Russian). *Microbiologija*, 1, 131-146.
- Rheinheimer, G. (1977). Microbial ecology of a brackish water environment. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 103-120.
- Schiewer, U. (2008). Ecology of Baltic Coastal Waters. Ecological Studies 197. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Sinkko, H-M., Lukkari, K., Sihvonen, L., M., Sivonen, K., Leivuori, M., Rantanen, M., Paulin, L., Lyra., C. (2013). Bacteria Contribute to Sediment Nutrient Release and Reflect Progressed Eutrophication-Driven Hypoxia in an Organic-Rich Continental Sea. *PLoS ONE* 8(6): e67061. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067061>.

Soomere, T., Delpeche, N., Viikmäe, B., Quak, E., Meier, HEM., Döös, K. (2011). Patterns of current-induced transport in the surface layer of the Gulf of Finland. *Boreal Environment Research*, 16A, 49-63.

Sorokin, Y., I. (1981). Microheterotrophic organisms in marine ecosystems. In: Longhurst, A. R. (ed.) *Analysis of marine ecosystems*. Academic Press, London, 293-342.

Telesh, IV., Bolshagin, P., V., Panov, V., E. (2001). Quantitative estimation of the impact of the alien species *Cercopagis pengoi* on the structure and functioning of plankton community in the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Dok Biol Sci*, 377, 157-159.

Virtanen, A. (1985). Bacterial numbers, biomass, activity and production at a site in the Tvarminne area of the Gulf of Finland. *Aqua fenn.*, 15, 143-160.

Williams, P., J., I. (1981). Incorporation of microheterotrophic processes into the classical paradigm of the planktonic food web. *Kieler Meeresforsch, Sonderh*, 5, 1.

Zhurbas, V.M., Laanemets, J., Vahtera, E. (2008). Modeling of the mesoscale structure of coupled upwelling/downwelling events and the related input of nutrients to the upper mixed layer in the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 113, 1-8.

Zimmerman, R. (1975). Estimating of bacterial number and biomass by epifluorescence microscopy and scanning electron microsc. In Rheinheimer, G. (ed.) *Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies*, 25. Springer-Verlag, Berlin, 103-120.

Zimmermann, R., Meyer-Reil, L., A. (1974). A new method for fluorescence staining of bacterial populations on membrane filters. *Kieler Meeresforsch*, 30 (1), 24-27

Lisa 1.

Aktiivsete (AKT) ja passiivsete (PAS) bakterite arvukus ja baktrite üldarvukus (BÜA) Soome lahe ristolõike jaamades GXY1, GXY3, GXY5 ajavahemikul 17.01.2016-04.12.2016

Kuupäev	Jaam GXY1			Jaam GXY3			Jaam GXY5		
	AKT	PAS	BÜA	AKT	PAS	BÜA	AKT	PAS	BÜA
17.01.16	390707	370358	761065	374427	337799	712226	254366	258436	512803
28.02.16	201458	213668	415126	557571	400882	958453	439545	376462	816008
13.03.16	798278	995947	1794225	429371	390707	820078	376462	250297	626759
20.03.16	783073	691841	1474914	904715	532185	1436900	518908	457860	976767
27.03.16	541292	364253	905545	468034	339834	807868	433440	240122	673562
25.04.16	606410	390707	997117	504663	364253	868916	551467	352043	903510
01.05.16	547397	343903	891300	773274	327624	1100898	641004	392742	1033745
08.05.16	724436	588095	1312531	746820	453790	1200610	655248	488384	1143632
22.05.16	2242781	1626967	3869748	2212371	1573748	3786119	1877854	1550940	3428794
30.05.16	327624	514838	842462	573851	1023571	1597421	789554	632864	1422417
05.06.16	740715	706121	1446837	779379	673562	1452941	954383	754960	1709343
12.06.16	430727	732575	1163303	380532	1135492	1516024	1001186	1062234	2063421
19.06.16	551467	793623	1345090	305240	1286077	1591317	919789	948278	1868067
26.06.16	700017	889265	1589282	726471	832287	1558758	675597	781414	1457011
10.07.16	337799	763099	1100898	529082	881125	1410208	669493	822112	1491605
24.07.16	1163981	1410208	2574189	1098863	1218924	2317787	915719	1707308	2623027
07.08.16	1092758	834322	1927080	864846	923859	1788705	1159911	677632	1837543
21.08.16	673562	872986	1546548	400882	1129387	1530269	588095	923859	1511954
04.09.16	264541	856706	1121247	612514	740715	1353230	223843	630829	854671
18.09.16	537222	909615	1446837	604375	901475	1505850	756995	626759	1383754
02.10.16	602340	793623	1395963	490419	773274	1263693	577921	618619	1196540
23.10.16	496523	700017	1196540	512803	612514	1125317	490419	569781	1060199
07.11.16	472104	604375	1076479	368323	647108	1015431	417161	394777	811938
20.11.16	508733	651178	1159911	386637	659318	1045955	413091	500593	913684
04.12.16	478209	614549	1092758	468034	695947	1163981	413091	567746	980837

Lisa 2.

Aktiivsete (AKT) ja passiivsete (PAS) bakterite arvukus ja baktrite üldarvukus (BÜA) Soome lahe ristlõike jaamades GXY7, GXY9, GXY11 ajavahemikul 17.01.2016-04.12.2016

Kuupäev	Jaam GXY7			Jaam GXY9			Jaam GXY11		
	AKT	PAS	BÜA	AKT	PAS	BÜA	AKT	PAS	BÜA
17.01.16	339834	262506	602340	252332	280821	533152	303205	284890	588095
28.02.16	498558	252332	750890	557571	309310	866881	573851	229947	803798
13.03.16	360183	327624	687807	366288	327624	693912	388672	229947	618619
20.03.16	500593	299135	799728	545362	240122	785484	647108	309310	956418
27.03.16	406986	258436	665423	512803	293030	805833	608445	356113	964558
25.04.16	555536	390707	946243	502628	366288	868916	626759	386637	1013396
01.05.16	624724	347973	972697	708156	498558	1206715	775309	451755	1227064
08.05.16	997117	492454	1489570	822112	522977	1345090	929964	504663	1434627
22.05.16	2105933	1862649	3968582	2569695	1664980	4234675	2105933	1718198	3824132
30.05.16	724436	750890	1475326	732575	573851	1306426	771239	673562	1444802
05.06.16	893335	754960	1648295	588095	506698	1094793	598270	445650	1043920
12.06.16	655248	787519	1442767	647108	641004	1288112	547397	622689	1170086
19.06.16	575886	704086	1279972	299135	750890	1050025	301170	547397	848567
26.06.16	661353	1072409	1733762	649143	936069	1585212	887230	820078	1707308
10.07.16	1809430	1376079	3185509	2045112	1786622	3831734	2045112	1406490	3451602
24.07.16	1094793	1326776	2421569	1037815	1231134	2268949	732575	1231134	1963709
07.08.16	602340	850602	1452941	581991	856706	1438697	614549	1259623	1874172
21.08.16	634899	958453	1593352	254366	807868	1062234	738680	964558	1703238
04.09.16	439545	818043	1257588	323554	641004	964558	791588	801763	1593352
18.09.16	594200	907580	1501780	590130	706121	1296252	854671	663388	1518059
02.10.16	622689	549432	1172121	697982	622689	1320671	594200	667458	1261658
23.10.16	545362	641004	1186365	514838	594200	1109038	382567	406986	789554
07.11.16	352043	494488	846532	352043	406986	759030	252332	325589	577921
20.11.16	504663	579956	1084619	545362	594200	1139562	457860	520943	978802
04.12.16	470069	545362	1015431	529082	598270	1127352	535187	630829	1166016

Lisa 3.

Aktiivsete bakterite protsent üldarvukusest mõõdetud Soome lahe ristlõike jaamades GXY1, GXY3, GXY5, GXY7, GXY9, GXY11

Kuupäev	Aktiivsete bakterite %					
	Jaam GXY1	Jaam GXY3	Jaam GXY5	Jaam GXY7	Jaam GXY9	Jaam GXY11
17.01.16	51	53	50	56	47	52
28.02.16	49	58	54	66	64	71
13.03.16	44	52	60	52	53	63
20.03.16	53	63	53	63	69	68
27.03.16	60	58	64	61	64	63
25.04.16	61	58	61	59	58	62
01.05.16	61	70	62	64	59	63
08.05.16	55	62	57	67	61	65
22.05.16	58	58	55	53	61	55
30.05.16	39	36	56	49	56	53
05.06.16	51	54	56	54	54	57
12.06.16	37	25	49	45	50	47
19.06.16	41	19	49	45	28	35
26.06.16	44	47	46	38	41	52
10.07.16	31	38	45	57	53	59
24.07.16	45	47	35	45	46	37
07.08.16	57	48	63	41	40	33
21.08.16	44	26	39	40	24	43
04.09.16	24	45	26	35	34	50
18.09.16	37	40	55	40	46	56
02.10.16	43	39	48	53	53	47
23.10.16	41	46	46	46	46	48
07.11.16	44	36	51	42	46	44
20.11.16	44	37	45	47	48	47
04.12.16	44	40	42	46	47	46

Lisa 4.

Bakterite üldarvukuse loendustulemuste standardhälve

Proovi-seeria number	Kuupäev	GXY1	GXY3	GXY5	GXY7	GXY9	GXY11
1	17.01.16	0,067286	0,119043	0,066322	0,044168	0,042685	0,075807
2	28.02.16	0,050941	0,075198	0,075807	0,072709	0,052717	0,055315
3	13.03.16	0,079799	0,089501	0,058193	0,112198	0,068808	0,088024
4	20.03.16	0,067967	0,063956	0,084176	0,081426	0,055273	0,098297
5	27.03.16	0,033575	0,088467	0,057915	0,041869	0,07922	0,058508
6	25.04.16	0,087394	0,091534	0,05003	0,097474	0,091534	0,087814
7	01.05.16	0,104996	0,059483	0,076622	0,071012	0,076772	0,101089
8	08.05.16	0,063087	0,093989	0,053238	0,107164	0,072073	0,058547
9	22.05.16	0,114492	0,099599	0,065379	0,076019	0,072456	0,059945
10	30.05.16	0,096023	0,124798	0,092235	0,134041	0,084067	0,055935
11	05.06.16	0,080516	0,049101	0,109374	0,204621	0,097733	0,095471
12	12.06.16	0,074336	0,081538	0,089578	0,078783	0,115532	0,116799
13	19.06.16	0,0625	0,165819	0,12012	0,068808	0,080944	0,102445
14	26.06.16	0,14499	0,11154	0,130898	0,116227	0,086041	0,146882
15	10.07.16	0,187844	0,200084	0,149244	0,067457	0,101611	0,0906
16	24.07.16	0,126264	0,137163	0,124503	0,137012	0,125533	0,089604
17	07.08.16	0,082548	0,098973	0,139359	0,09506	0,074336	0,170646
18	21.08.16	0,130476	0,126828	0,094014	0,134999	0,104996	0,157348
19	04.09.16	0,094697	0,139755	0,067286	0,059753	0,104292	0,164496
20	18.09.16	0,078197	0,114713	0,071786	0,097261	0,125093	0,11154
21	02.10.16	0,144911	0,116878	0,064207	0,121416	0,099437	0,115113
22	23.10.16	0,09438	0,057597	0,103517	0,094502	0,102983	0,090396
23	07.11.16	0,121888	0,071432	0,089706	0,071271	0,057597	0,05003
24	20.11.16	0,089475	0,099783	0,091232	0,101089	0,102871	0,085505
25	04.12.16	0,085289	0,085154	0,072297	0,084422	0,088545	0,074953

