

Inga Lips & Urmas Lips

BalticSeaNow.info

Marine Research

Mereteadus



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



CENTRAL BALTIC
INTERREG IV A
PROGRAMME
2007-2013

Copyright: Inga Lips, Urmas Lips; Marine Systems Institute at Tallinn University of Technology, 2013

Autoriõigus: Inga Lips, Urmas Lips; Tallinna Tehnikaülikooli Meresüsteemide Instituut, 2013

Co-authors of specific chapters/Erinevate osade kaasautorid: Karin Ojamäe (Parameters and sub-chapters/Parameetrid ja alapeatükid), Peeter Laas (Bacterioplankton/Bakteriplankton), Martti Komulainen and Jussi Laaksonlaita (Buoy stations/Poiijaamad), Filip Hvitlock and Jörgen Öberg (Remote sensing/Kaugseire), Bengt Karlsson (Ferrybox).

Cover photo/Kaanefoto: Helen Kattai

Funding/Finantseerimine: European Union Regional Development Fund/Euroopa Regionaalne Arengufond, INTERREG IVA Programme/Programm, Environmental Investment Centre/Keskkonnainvesteeringute Keskus

The content of the publication reflects the authors views and the Managing Authority cannot be held liable for the information published by the project partners/See trükis väljendab autorite vaateid ja programmi korraldusasutus ei vastuta projektipartnerite poolt koostatud trükise sisu eest.

ISBN 978-9949-23-423-3 (publication)

ISBN 978-9949-23-424-0 (PDF)

Printed by Tallinna Raamatutrükikoja OÜ, Tallinn 2013

Contents/Sisukord

Foreword/Eessõna	4/5
Marine research/Mereteadus	6/7
Parameters/Parameetrid	8/9
Temperature/Temperatuur	10/11
Salinity/Soolsus	12/13
Oxygen/Hapnik	14/15
Nutrients/Toitained	16/17
Phytoplankton/Fütoplankton	18/19
Bacterioplankton/Bakteriplankton	22/23
Research vessels/Uurimislaevad	24/25
Autonomous platforms/Autonoomsed platvormid	28/29
Ferrybox/ <i>Ferrybox</i>	30/31
Buoy stations/Poijaamad	34/35
Towed vehicles/Järelveetavad mõõteriistad	38/39
Remote sensing/Kaugseire	40/41
In conclusion/Kokkuvõtteks	44/45

Foreword

There is a general concern about the state and the future of the Baltic Sea. The most alarming issue is eutrophication, but also alien species, oil and chemical freighting present serious threats to the region.

Eutrophication means among other descriptors an overgrowth of microalgae in the water, lush shore vegetation and poor oxygen conditions in the near bottom layer caused by excessive amounts of nutrients in the sea. Alien or introduced species are the ones that have moved from one marine ecosystem to another through human activity. They may cause dramatic changes in the Baltic Sea ecosystem by edging out native species. Marine transport has increased significantly during the last decades that in turn has increased the risk of oil and chemical accidents.

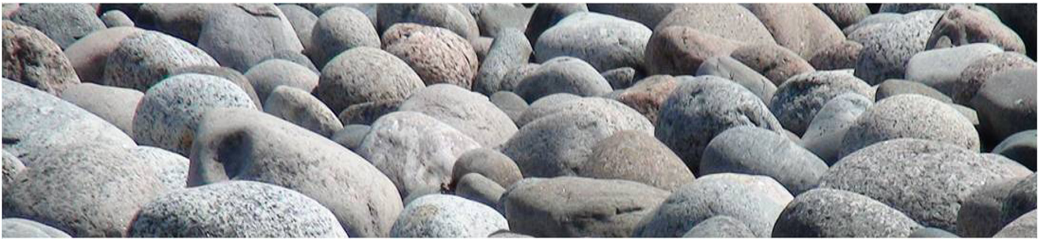


Photo: MSI archive

BalticSeaNow.info project is a broadly-based expression of a common will to protect the Baltic Sea. During the project innovative communication tools have been developed and introduced in order to foster information sharing and discussion about the Baltic Sea environment. The target group was the people living in the coastal areas of Finland, Sweden, Estonia and Latvia; the results however are accessible to all interested in the Baltic Sea.

The current publication gives a brief overview of different approaches and devices used to study the Baltic Sea environment, the changes in its state, and the processes influencing the dynamics in it. The present publication focuses mainly on studies of processes in the water column and phytoplankton ecology. Since the natural variability in pelagic ecosystem is very high, new monitoring technologies have to be applied. Some of these new methods are introduced and illustrated in the present publication.

Eessõna

Läänemere seisund ja tulevik on meie kõigi ühise tähelepanu keskmes. Kõige suuremaks probleemiks peetakse merekeskkonna eutrofeerumist, aga tõsisteks ohtudeks on ka võõrliikide levik ning võimalik õli- ja keemiareostus.

Eutrofeerumise tunnusteks on näiteks vee liigsest toitainete sisaldusest tingitud mikrovetikate vohamine, niitjate vetikate ohtrus rannikumeres ja kehvad hapnikutingimused põhjalähedases veekihis. Võõrliigid on liigid, kes inimtegevuse tagajärjel on liikunud ühest mereökosüsteemist teise. Uued liigid võivad Läänemere keskkonnas põhjustada olulisi muutusi eelkõige kohalike liikide väljatõrjumise näol. Viimastel aastakümnetel on oluliselt suurenenud meretranspordi intensiivsus Läänemeres, mis omakorda on suurendanud õli- ja keemiareostuse riski.



Foto: MSI arhiiv

BalticSeaNow.info projekti ajendiks oli projekti partnerite ühine soov Läänemere kaitseks midagi ära teha. Projekti käigus loodi ja tutvustati uuenduslikke suhtluskeskkondi soodustamaks teavitustegevust ja arutelusid Läänemere teemadel. Peamiseks sihtrühmaks olid Soome, Eesti, Rootsi ja Läti rannikualadel elavad inimesed, kuid informatsioon ja kogutud tulemused on kättesaadavad kõigile huvilistele.

Käesolev trükis annab lühiülevaate erinevatest meetoditest ja vahenditest, mida kasutatakse Läänemere keskkonnaseisundi ja selle muutuste ning dünaamikat määravate protsesside uuringutes. Peamiselt käsitletakse veesambas toimuvate protsesside ja fütoplanktoni ökoloogia alaseid uuringuid. Kuna pelagiaali ökosüsteemi looduslik muutlikkus on väga suur, siis on uuringutes vaja rakendada uusi tehnoloogiaid. Mõnesid uutest meetoditest on tutvustatud ka käesolevas trükises.

Marine research

Scientists in the Baltic Sea countries, among them our project BalticSeaNow.info partners from the Marine Systems Institute at Tallinn University of Technology, Swedish Meteorological and Hydrological Institute and Turku University of Applied Sciences, make regular research trips to the Baltic Sea to monitor and measure physical, chemical and biological properties of the sea water. These include characteristics like sea water temperature, salinity, and oxygen, nutrients (mainly nitrogen in nitrates/nitrites and phosphorus in phosphates) and chlorophyll *a* concentration. Also the investigations of bottom vegetation and fauna are carried out.

Scientists aim to describe physical and biological processes and their interrelations, and to advance forecasts of events occurring in the sea (e.g. harmful algal blooms) and long-term changes of environmental status.

The environmental status and dynamics of the Baltic Sea are examined by using different approaches and devices, such as:

- research vessels
- autonomous systems onboard commercial ferries – Ferryboxes
- autonomous profiling systems at buoy stations
- towed undulating vehicles
- remote sensing

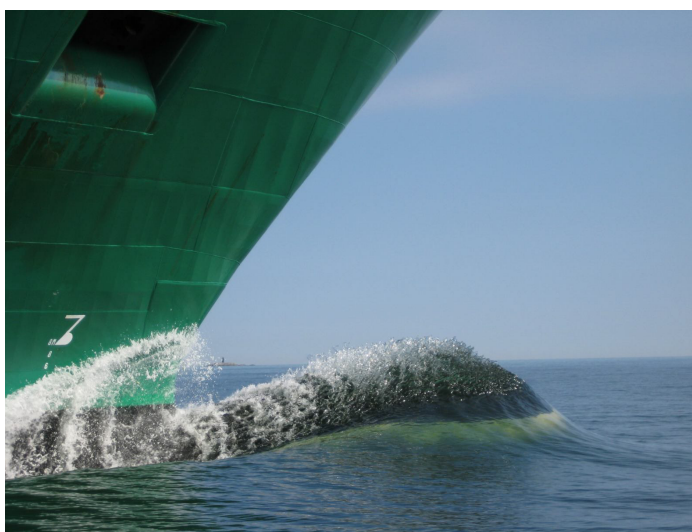


Photo: Ville Koskinen

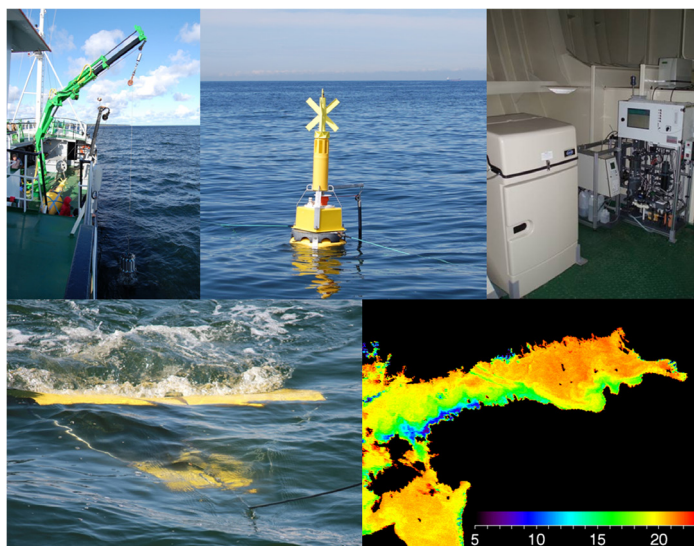
Mereteadus

Füüsikaliste, keemiliste ja bioloogiliste parameetrite mõõtmiseks ja seiramiseks meres viivad Läänemerd uurivad teadlased, sealhulgas projekti BalticSeaNow.info partnerid Tallinna Tehnikaülikooli Meresüsteemide Instituudist, Rootsi Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudist ja Turu Rakendusteaduste Ülikoolist, läbi regulaarseid uurimisreise. Mõõdetavate parameetrite hulka kuuluvad tavaliselt vee temperatuur ja soolsus ning hapniku, toitainete (peamiselt lämmastiku- ja fosforiühendid) ja klorofüll *a* sisaldus. Teostatakse ka põhjtaimestiku ja -loomastiku koosluste uuringuid.

Teadlaste eesmärgiks on meres toimuvate protsesside ja nendevaheliste seoste kirjeldamine ning merekeskkonnas esinevate nähtuste (näiteks kahjulike vetikate vohamine) ja pikaajaliste muutuste prognooside täiustamine.

Läänemere keskkonnaseisundit ja selle muutusi uuritakse erinevate meetodite ja vahenditega, nagu näiteks:

- uurimislaevad
- autonoomsed süsteemid kommertslaevadel, nn. *Ferrybox*'id
- autonoomsed profileerivad süsteemid poijaamades
- järelveetavad mõõtekompleksid
- kaugseire



Fotod: MSI arhiiv

Parameters

The publication describes and gives examples of the most widely used environmental parameters in marine research. Physical parameters such as temperature, salinity and density play an important role in the biogeochemistry of the water bodies. Changes in physical conditions can have profound effects on the water quality, e.g. influence the spatial and temporal distribution of oxygen and nutrients, and/or biological communities.

The development of thermocline (a layer with steep vertical temperature gradient) in spring-summer creates separation of layers above and below it, and thereby alters the structure and function of the ecosystem. Variability in temperature largely controls seasonal community composition and distribution of species. Salinity influences the distribution of biota as most of aquatic organisms are adapted to narrow range of salinity. Monitoring of the horizontal and vertical distribution of salinity will also give information about the circulation patterns in the sea.



Photo: MSI archive

Dissolved oxygen content is a fundamentally important parameter as it influences the biological communities and chemical processes in the sea. Nutrient concentrations are intrinsically linked to primary productivity and determine the spatial and temporal distribution of biological communities, particularly phytoplankton. Biological studies are essential to describe the community constituents and assess variability in seasonal patterns, trophic relationships and potential environmental stressors. Bacterioplankton is mostly studied in relation to the sanitary conditions of bathing waters, but bacteria also play a crucial role in nutrient cycling.

Parameetrid

Käesolev väljaanne annab ülevaate kõige laialdasemalt mereuuringutes kasutatavate keskkonda iseloomustavate parameetrite kohta. Füüsikalised parameetrid nagu temperatuur, soolsus ja tihedus mängivad olulist rolli veekogudes toimuvates biogeokeemilistes protsessides. Füüsikaliste tingimuste muutused võivad märkimisväärselt mõjutada vee kvaliteeti, nt mõjutada hapniku ja toitainete, aga ka bioloogiliste koosluste ruumilist jaotust ja ajalist muutlikkust.

Termokliini (veekiht, kus temperatuur sügavusega järsult väheneb) kujunemine kevadel-suvel eraldab veekihi sellest ülal- ja allpool ning mõjutab seega oluliselt ökosüsteemi struktuuri ja toimimist. Temperatuuri muutlikkus määrab suures ulatuses sesoonsed muutused koosluste struktuuris ning liikide esinemise ja jaotuse. Soolsus mõjutab organismide ruumilist jaotust, kuna enamik veekogusid asustavaid liike on kohastunud elamiseks teatud kitsas soolsuse vahemikus. Soolsuse horisontaalse ja vertikaalse jaotuse jälgimine annab kasulikku informatsiooni ka veemasside liikumise kohta meres.

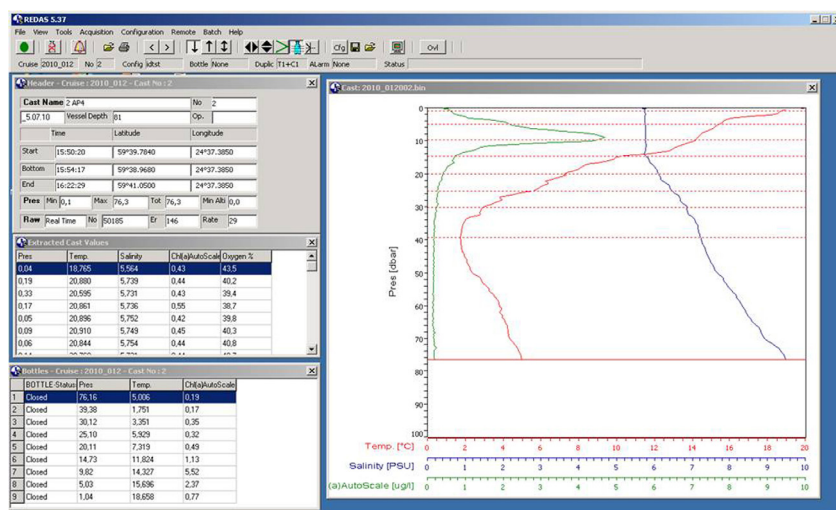


Foto: MSI arhiiv

Lahustunud hapniku sisaldus on ülitähtis parameeter, kuna see mõjutab nii bioloogilise koosluse kui ka meres toimuvaid keemilisi protsesse. Toitainete sisaldus on lahutamatu seotud primaarproduktiooniga meres ja määrab bioloogiliste koosluste, sealhulgas ka fütoplanktoni jaotuse. Bioloogilised uuringud on olulised, et kirjeldada koosluste liigilist koosseisu, hinnata muutlikkust sesoonsetes mustrites ja troofilistes suhetes ning määrata kindlaks potentsiaalsed survetegurid. Bakteriplanktonit uuritakse peamiselt seoses suplusvee sanitaarsete tingimuste tagamisega, aga bakteritel on täita oluline roll ka toitainete ringluses.

Temperature

Most commonly used tool in oceanography is a device called CTD – conductivity, temperature and depth probe. When it is lowered in the water column it continuously records salinity (by measuring conductivity), temperature and depth (by measuring pressure). Usually CTD probe is lowered from the surface to the near-bottom layer using an electrical winch with cable (see left photo in pages 14 and 24) and the profiles of different parameters can be seen in real-time from the onboard computer.



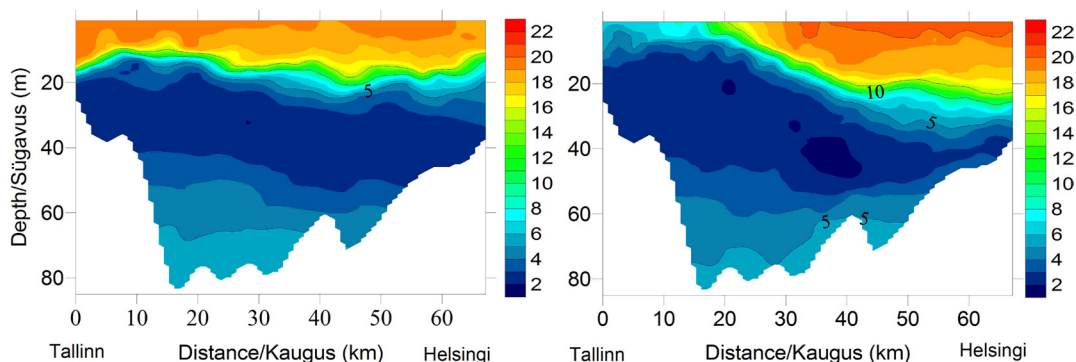
Snap shot from onboard computer screen. On the right graph vertical lines indicate the profiles of different parameters from the sea surface down to 76 m depth: red line - temperature, blue line - salinity and green line - chlorophyll a fluorescence.

Page 11. Vertical distribution of temperature along the Gulf of Finland cross-section between Tallinn and Helsinki on 25 July (left figure) and 8 August (right figure; scale: °C) in 2006. In calm weather conditions the surface layer warms up to over 20 °C. Persistent winds from one direction during several days can cause the advection of warmer surface layer offshore and surfacing of the cold intermediate layer waters (right figure). This phenomenon is called upwelling and probably most of us have experienced it during warm summer days when the sea water is too cold for swimming.

In summer, below the warm water layer, the cold intermediate layer has a temperature as low as 2 °C as it is formed from the winter water. Strong stratification of the water column caused by this vertical temperature gradient prevents mixing between these two layers. This in turn leads to the nutrient depletion in the upper layer inhabited by the nutrients-assimilating phytoplankton while photosynthesizing. In winter the water column cools down and vertical stratification is disrupted. In shallower areas mixing occurs up to sea bed while in deeper areas winter mixing is restricted by vertical salinity distribution and occurs only in upper 60-80 meters.

Temperatuur

Levinuim mõõteriist okeanograafias kannab nimetust CTD – elektrijuhtivuse, temperatuuri ja sügavuse sond. Sondi liikumisel läbi veesamba registreerib see pidevalt soolsuse (mõõtes vee elektrijuhtivust), temperatuuri ja sügavuse (mõõtes rõhku) väärtusi. Tavaliselt kasutatakse CTD-sondi veepinnalt põhjalähedasse kihti laskmiseks kaabliga varustatud vintsi (vaata vasakpoolset fotot lk 14 ja 24), mis võimaldab erinevate parameetrite profiile näha pardaarvutist reaalajas.



Temperatuuri vertikaalne jaotus Soome lahe ristlõikel Tallinna ja Helsingi vahelisel merealal 25. juulil (vasakpoolne joonis) ja 8. augustil 2006 (parempoolne joonis; skaala: °C). Tuulevaikse ilmaga on pindmine veekiht soojenenud üle 20 °C. Pikka aega ühest suunast puhuva tuulega võib pindmine soe veekiht liikuda rannikust eemale ning asenduda vahekihi külma veega (parempoolne joonis). See on nähtus, mida nimetatakse siivavee kerkeks e. apvellinguks ja mida igaüks on kogenud, kui kuuma suvepäeval on merevesi ujumiseks liiga külm.

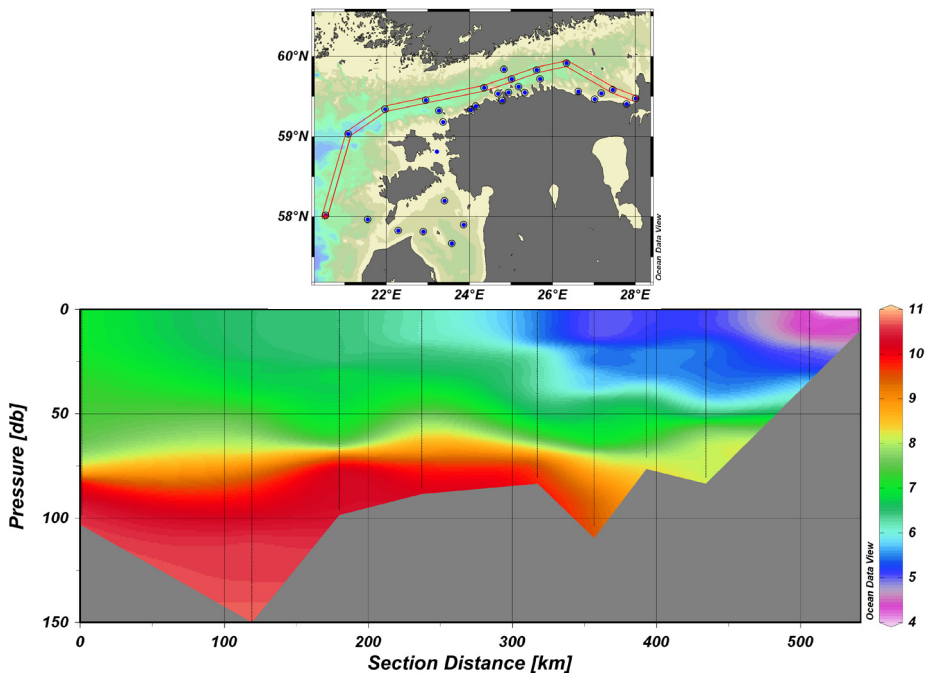
Lk 10. Pilt laeva pardal oleva arvuti ekraanist. Parempoolsel graafikul on näha erinevate parameetrite vertikaalsed profiilid pinnalt 76 m sügavuseni. Punase joonega on toodud temperatuuri, sinise joonega soolsuse ja roheline joonega klorofüll a fluorestsentsi profiilid.

Suvel asetseb soe väiksema tihedusega vesi külma vahekihi peal. Vee temperatuur vahekihis võib olla lausa 2 °C, sest vahekihi vesi moodustub talvisest veest. Põhjalähedases kihis on temperatuur veidi kõrgem kui külmas vahekihis. Tugev, temperatuuri vertikaalsest gradiendist tingitud veesamba kihistatus takistab pindmise ja vahekihi vee segunemist. See omakorda tingib toitainete ammendumise ülemises segunenud veekihis, mida asustab fotosünteesiv fütoplankton. Talvel, vee jahtudes, kihistatus kaob. Madalamatel merealadel toimub veesamba segunemine kuni põhjani, Läänemere sügavamates piirkondades soolsuse jaotusest tingituna kuni 60-80 m sügavuseni.

Salinity

Salinity is the amount of dissolved salts (ions) in seawater expressed in grams of salts per kilogram of seawater. Salinity values measured by CTD probes are given usually in practical salinity units (psu; approximately equal to g/kg). The Baltic Sea is characterised by remarkable salinity variations both horizontally and vertically. Close to the river mouths salinity is very low (0-3 psu) while in the Danish Straits it is as high as 15-20 psu (ocean water salinity is on average 35 psu).

In the Baltic Proper (Gotland Deep) the surface layer salinity is about 7 psu and the near-bottom salinity is about 12 psu. Water layer at 60-80 m depth where the salinity increases sharply with depth is called “halocline”. As halocline prevents mixing between the near-bottom layer and the water mass above, it also restricts the nutrient transport to the upper layers and oxygen penetration into the near-bottom layer.



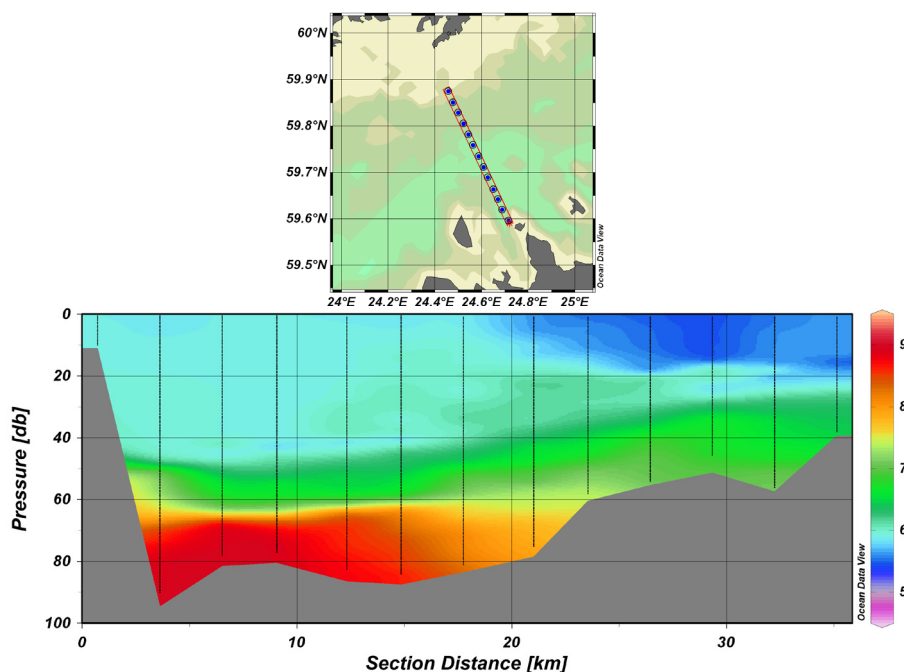
Vertical section of salinity (lower figure; salinity is expressed in psu; pressure in db corresponds to depth in meters) from the northern Baltic Proper to Narva river mouth (location is shown on the map, upper figure) measured on 27-29 August 2012. Surface layer salinity is near the river mouth < 4 psu and in the open Baltic Sea 7 psu. Halocline is situated approximately at 60-80 m depth.

Page 13. Vertical distribution of salinity (lower figure) along the Gulf of Finland cross-section (location is shown on the map, upper figure) measured on 20 July 2012. Low salinity zone in the surface layer in the northern part of the cross-section corresponds to the outflow of the gulf's waters.

Soolsus

Soolsus iseloomustab lahustunud soolade hulka merevees ja seda väljendatakse grammides kilogrammi merevee kohta (g/kg). CTD-sondide abil mõõdetud soolsuse väärtusi esitatakse tavaliselt praktilise soolsuse skaala ühikutes (psu; ligikaudu võrdne ühikuga g/kg). Läänemere soolsus varieerub oluliselt nii horisontaalselt kui vertikaalselt. Jõgede suudmete lähistel on soolsus madal (0-3 psu), kuid Taani väinades kuni 15-20 psu (ookeanivee soolsus on keskmiselt 35 psu).

Läänemere avaosas (Gotlandi süvikus) on pinnakihi soolsus ligikaudu 7 psu ja põhjalähedase kihi soolsus ligikaudu 12 psu. Veekihti 60-80 meetri sügavusel, kus soolsus järsult sügavuse kasvades suureneb, nimetatakse halokliiniks. Kuna halokliin takistab segunemist põhjalähedase kihi ning selle peal paikneva vahekihi veemasside vahel, siis on takistatud ka toitainete transport alt üles ja hapniku liikumine ülalt alla.



Soolsuse vertikaalne jaotus (alumine joonis; soolsus on toodud ühikutes psu; rõhk detsibaarides vastab ligikaudu sügavusele meetrites) Soome lahe ristlõikel (asukoht on näidatud kaardil, ülemine joonis), mõõdetud 20. juulil 2012. Madala soolsusega tsoon pinnakihis lõike põhjapoolses osas vastab lahest väljavoolava magedama vee joale.

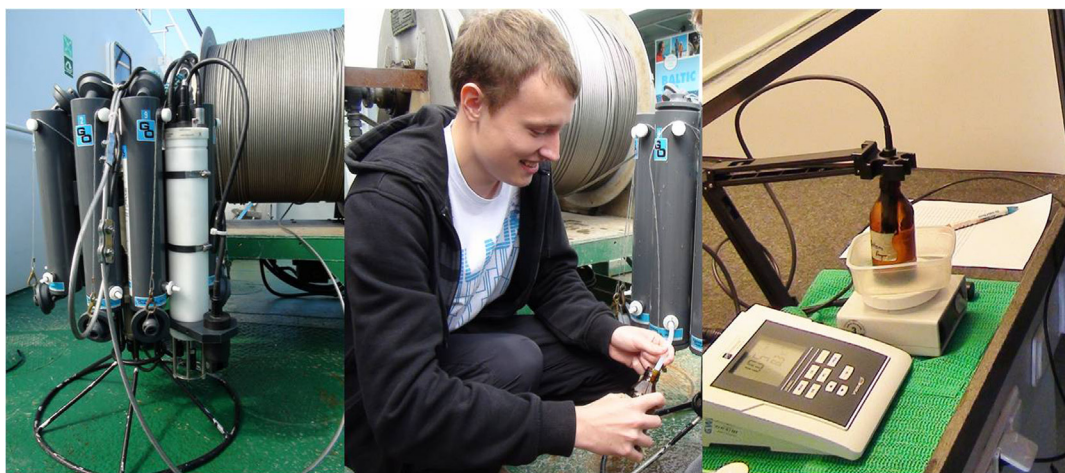
Lk 12. Soolsuse vertikaalne lõige (alumine joonis) Läänemere avaosast kuni Narva jõe suudmealani (lõike asukoht on näidatud üllemisel joonisel), mõõdetud 27.-29. augustil 2012. Pindmise kihi soolsus on jõe suudmealal < 4 psu ja Läänemere avaosas 7 psu. Halokliin asub ligikaudu 60-80 m sügavusel.

Oxygen

Oxygen is necessary for all higher forms of life. It enters the sea in two major ways:

- 1) it diffuses into the sea surface from the atmosphere;
- 2) it is produced by phytoplankton and sea plants during photosynthesis.

The amount of oxygen in the water is controlled by temperature (the higher the temperature the lower the oxygen content), as well as by the levels of animal and plant respiration and plant photosynthesis. The Baltic Sea experiences periods of oxygen deficiency in the deeper water layers. Oxygen deficiency (or lack of oxygen) and hydrogen sulphide occur in water masses that have been isolated from the surface for a long time.



Photos: MSI archive

Oxygen content can be measured continuously through the water column with the vertically lowered probe attached to the sampling array (left photo) or from discrete samples using the laboratory oxygen analyser (right photo). In the laboratory oxygen is measured from water which is collected into dark narrow neck bottles.

Page 15. Oxygen content in the near bottom layer measured during the monitoring cruise in July 2012. Red colour indicates the oxygen deficiency. Scale: mg/l.

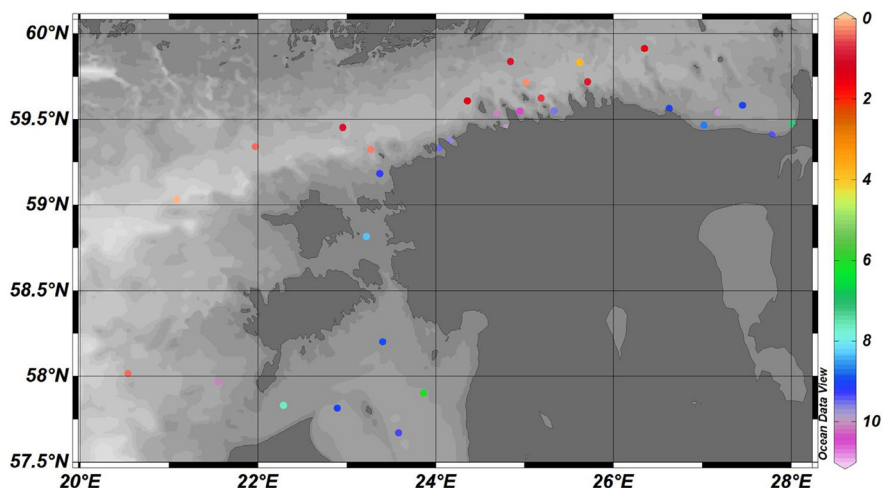
The only oxygen supply into the deep layer of the Baltic Sea is either the addition of new oxygen-rich water through the Danish Straits or vertical mixing. With the inflows the bottom water is replaced by saltier, oxygen-rich water originating from the North Sea. The oxygen in the inflow water is quickly consumed, but the stratification takes longer to break down. As a result the saline water quickly becomes oxygen deficient, while fresh oxygen is unable to be mixed down from above due to the strong halocline. Occurrence of benthic fauna is strongly correlated with seabed oxygenation.

Hapnik

Hapnikku vajavad pea kõik mereorganismid oma elutegevuseks. Hapnik satub vette peamiselt kahel viisil:

- 1) see lahustub vette atmosfäärist läbi veepinna;
- 2) seda toodetakse fütoplanktoni ja meretaimede poolt fotosünteesi käigus.

Hapniku hulka vees mõjutab vee temperatuur (mida kõrgem on temperatuur, seda väiksem on hapnikusisaldus), loomade ja taimede elutegevus (hingamine) ja taimede fotosüntees. Läänemere sügavamates veekihtides võib esineda hapnikupuudust. Hapnikuvaegus ja vesiniksulfiid esinevad veemassides, mis on olnud pikemat aega tugeva halokliiniga ülemistest veemassidest isoleeritud.



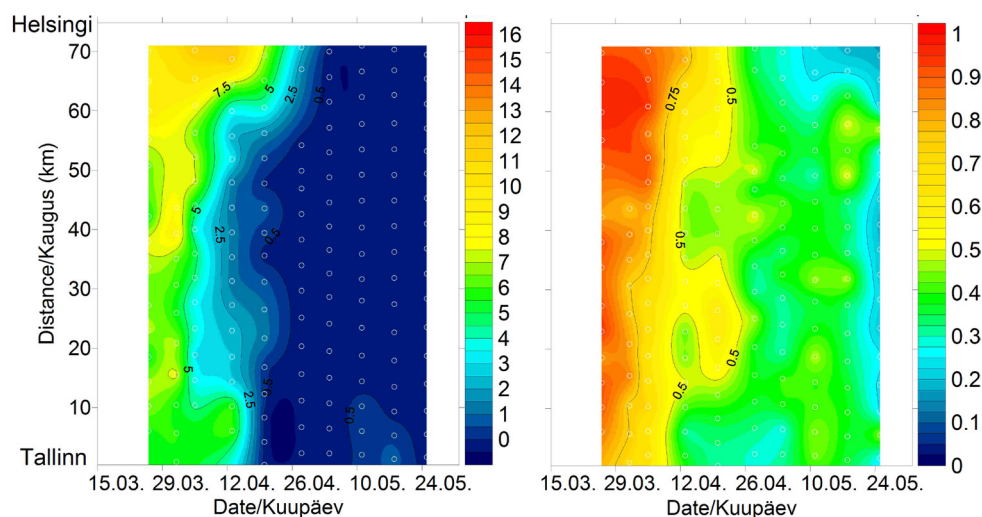
Juulis 2012. a mõõdetud hapnikusisaldus põhjalähedases veekihtis. Punane värv tähistab mõõtmispunkte, kus esines hapnikudefitsiit. Skaala: mg/l.

Lk 14. Hapnikusisaldust saab mõõta pidevmõõtmisena läbi veesamba kasutades proovivõtu karuselli külge kinnitatud hapnikuanduriga sondi (vasakpoolne foto) või batomeetriga kogutud proovidest kasutades labori hapnikumeetrit (parempoolne foto). Laboris mõõdetakse hapnikusisaldust prooviveest, mis on kogutud tumedasse kitsa suuga klaaspudelisse.

Ainsad hapnikuallikad Läänemere sügavates kihtides on ookeanivee sissevool läbi Taani väinade ja vertikaalne segunemine. Sissevooludega Põhjamereast asendatakse põhjalähedane vesi soolasema, hapnikurikkama veega. Sissevoolanud veest tarbitakse hapnik kiiresti ära, kuid soolsusest tingitud stratifikatsiooni nõrgenemine võtab kauem aega. Selle tulemusena muutub põhjalähedane vesi uuesti hapnikuvaeseks, sest hapniku transport ülemistest kihtidest läbi halokliini on raskendatud. Põhjaelustiku olemasolu on väga tihedalt seotud hapnikutingimustega merepõhjas.

Nutrients

Just like land plants, marine plants and phytoplankton need nutrients to grow. Primary macronutrients for plant growth are nitrogen and phosphorus bound to nitrates and phosphates, respectively. Phytoplankton with glass-like cell walls, called diatoms, also require silica (as silicates). A seasonal variation is observed in the upper layer nutrient concentration: from the winter maximum values to the minimum in summer. The winter concentrations of inorganic nutrients are high because of the vertical mixing and remineralisation, also deep vertical mixing and low light levels prevent phytoplankton growth, hence the use of nutrients is limited. The water column stabilization in spring creates favourable conditions for phytoplankton growth. After the phytoplankton spring bloom the inorganic nutrients are almost depleted in the upper layer and strong stratification (formation of seasonal thermocline) prevents mixing between the nutrient-depleted upper layer and the nutrient-rich lower layers. In summer the nutrients are brought to the upper layer mainly either by wind induced vertical mixing or coastal upwelling events.

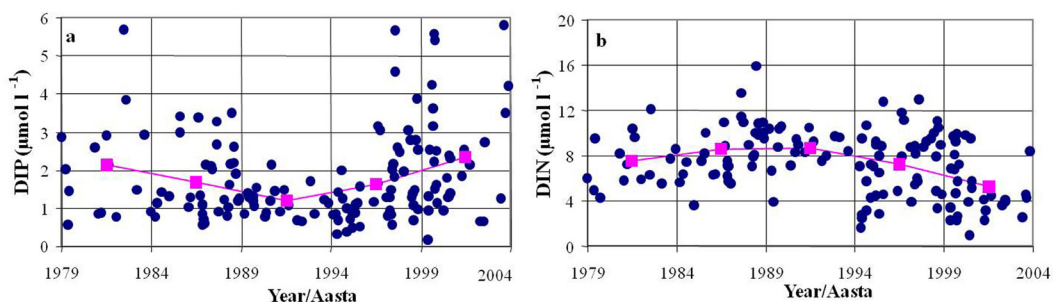


Concentrations of nitrates-nitrites (left figure) and phosphates (right figure) in the surface layer along the transect Tallinn-Helsinki in spring 2010. Scale: $\mu\text{mol/l}$. Gulf of Finland is nitrogen limited system, hence the inorganic nitrogen compounds are depleted first and this will also terminate the phytoplankton spring bloom. There are almost always some phosphates left in the surface layer after the spring bloom.

Page 17. Concentrations of dissolved inorganic phosphorus (DIP) have increased rapidly as a result of intensified internal load (a; very high concentrations occur more often in the near bottom layer). On the contrary to the release of phosphorus from the sediments to the water column, the dissolved inorganic nitrogen (DIN) is reduced in anoxic conditions and released from water to the atmosphere, causing a simultaneous decrease of inorganic nitrogen concentrations (b).

Toitained

Sarnaselt maismaataimedele vajavad ka veetaimed kasvamiseks toitaineid. Peamised kasvuks vajalikud makroelemendid on vastavalt nitraatide ja fosfaatidena vees lahustunud lämmastik ja fosfor. Tugeva rakukestaga ränivetikad vajavad oma kasvuks ka räni, mida esineb vees silikaatidena. Ülemise veekihi toitainetesisaldust iseloomustab sesoonne muutlikkus maksimumiga talvel ja miinimumiga suvel. Talvine toitainete sisaldus on ülemises veekihis suur tänu intensiivsele vertikaalsele segunemisele, mis toob remineraliseeritud toitaineid alumistest kihtidest üles. Suur segunemise sügavus ja vähene valgus takistavad talvel fütoplanktoni kasvu. Veesamba vertikaalse kihistatuse teke kevadel loob aga selleks soodsad tingimused. Peale fütoplanktoni kevadõitsengut on kasvuks vajalikud toitained ülemisest kihist peaaegu otsas ning vee soojenemisest tingitud tugev kihistumine (sesoonse termokliini kujunemine) takistab ülemise toitainetevaese ja allpool olevate toitaineterikaste kihtide vahelist segunemist. Suvel tuuakse toitaineid alumistest kihtidest ülemisse kas tuule poolt tekitatud vertikaalse segunemise või rannikumeres esinevate süvavee kergetega.

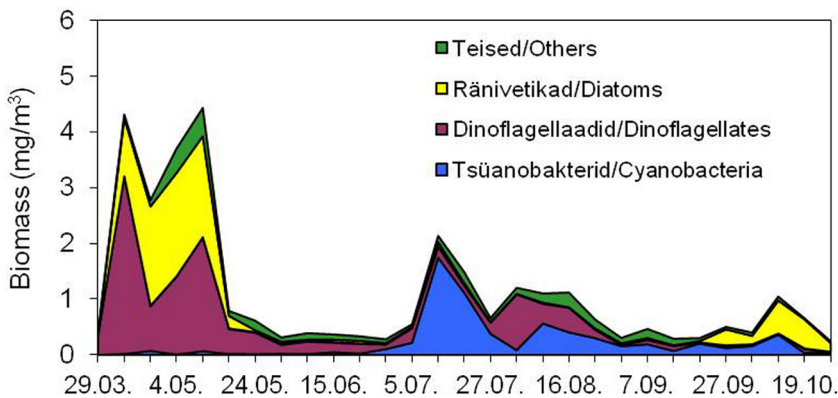


Fosfaatide sisaldus Soome lahes on kasvanud tänu suurenenud sisemisele fosforikoormusele (a; järjest sagedamini esinevad põhjalähedases veekihis väga kõrge fosfaatide sisaldused; DIP - lahustunud anorgaaniline fosfor). Fosfori vabanemine setetest tingib selle elemendi liia võrreldes fütoplanktoni kasvuks vajaliku lämmastiku sisaldusega. Anorgaanilistesse ühenditesse seotud lämmastik (DIN) muudetakse aga hapnikuvaestes tingimustes gaasiks ja see lendub atmosfääri, millega on seletatav lämmastiku sisalduse langus põhjalähedases kihis (b). Fosfaatide sisalduse suurenemine põhjalähedases veekihis toob tänu talvisele konvektiivsele segunemisele kaasa kontsentratsiooni kasvu ka pinnakihis.

Lk 16. Nitraatide-nitritite (vasakpoolne joonis) ja fosfaatide (parempoolne joonis) sisaldused Tallinna ja Helsingi vahelisel merealal 2010. a kevadel. Skaala: $\mu\text{mol/l}$. Soome laht on lämmastiku poolt limiteeritud. See tähendab, et ülemisest veekihist saavad kõige varem otsa lämmastikuühendid ning see toob kaasa ka fütoplanktoni kevadõitsengu hääbumise. Peale kevadõitsengut leidub peaaegu alati ülemises kihis fosfaate.

Phytoplankton

Phytoplankton, known as microalgae, consists of huge variety of single cell plants in the upper layer of the aquatic environment. It plays a key role in the marine food web constituting the basis of the food chain in marine environment by providing the primary food source for the organisms that are on higher trophic levels (e.g. zooplankton). Phytoplankton has the ability to transform raw inorganic minerals and carbon dioxide into valuable food for other organisms using sunlight. Presence of sunlight and nutrient availability are the dominant factors controlling phytoplankton growth in the sea. The nitrogen to phosphorus ratio (N:P) of 16:1 is regarded optimal for phytoplankton growth. Sunlight is most abundant near the sea surface and therefore phytoplankton remains mainly near the surface of the water body.



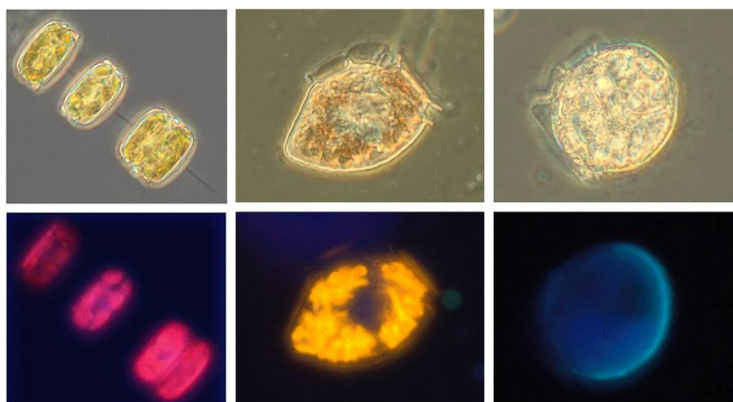
Seasonal dynamics of different phytoplankton groups in the Gulf of Finland.

Page 19. Examples of phytoplankton species under the light microscope (upper photos) – colony of diatoms and dinoflagellates. Phytoplankton cells contain different pigments. When using UV-light and blue filter in the fluorescence microscope chlorophyll appears red, phycoerythrin yellow while unpigmented heterotrophic cells remain blue (lower photos).

There is a clear seasonal dynamics of phytoplankton species composition and biomass in the Gulf of Finland. After the establishment of stratification in March-April the spring bloom – dominated by diatoms and dinoflagellates – develops. The peak time of the spring bloom and its species composition may vary from year to year. After the decline of the vernal bloom a summer minimum in phytoplankton biomass can usually be observed until the end of June. From late June-early July the dominating phytoplankton group in the Baltic Sea is cyanobacteria which in some years may form extensive surface accumulations. After the summer cyanobacterial bloom diatoms may have a second peak in autumn if there are enough nutrients in the upper water layer. Seasonal mixing in autumn will bring a second minimum in the phytoplankton biomass until the following spring.

Fütoplankton

Fütoplankton e. mikrovetikad on väga mitmekesine üherakuliste taimede rühm asustades mere ülemist valgusküllast veekihti. Fütoplanktonil on täita oluline roll mere toiduahelas, moodustades selle aluse ning olles esmaseks toiduks endast toiduahelas kõrgemal asetsevatele organismidele (nt zooplanktonile). Fütoplankton muudab lihtsad anorgaanilised ühendid ja süsinikdioksiidi päikeseenergiat kasutades teistele elusorganismidele tarbitavaks toiduks – orgaaniliseks aineks. Peamised fütoplanktoni kasvu mõjutavad tegurid on valgus ja toitainete kättesaadavus. Fütoplanktoni kasvuks peetakse optimaalseks lämmastiku ja fosfori suhet (N:P) 16:1. Päikesevalgust on kõige enam veepinna lähedal ning seetõttu asustab fütoplankton peamiselt mere ülemist veekihti.



Fotod: MSI arhiiv

Näiteid fütoplanktoni liikidest valgusmikroskoobis (ülemised fotod) - ränivetika koloonia ja dinoflagellaadid. Fütoplanktoni rakud sisaldavad erinevaid pigmente. Fluorestsentsmikroskoobis UV-valgusega läbi sinise filtri vaadates fluorestseerub klorofüll punaselt, fükoeütriin kollaselt ning pigmendita heterotroofsed liigid näivad sinisena (alumised fotod).

Lk 18. Fütoplanktoni sesoonne dünaamika Soome lahes.

Fütoplanktoni liigilist koosseisu ja biomassi dünaamikat meres iseloomustab selgelt eristuv sesoonne muutlikkus. Peale kihistumise kujunemist märtsis-aprillis hakkab vetikate biomass järsult suurenema – moodustub ränivetikate ja dinoflagellaatide poolt domineeritud nn. kevadõitseng. Fütoplanktoni biomassi maksimumi aeg ja koosluse liigiline koosseis võib aastast aastasse varieeruda. Kevadõitsengule järgneb tavaliselt suvise miinimumi periood, mis kestab kuni juuni lõpuni. Juuni lõpust juuli algusest domineerivad Läänemere fütoplanktoni koosluses tsüanobakterid, kes mõnedel aastatel võivad moodustada ulatuslikke pinnakogumeid. Peale suvist tsüanobakterite domineerimist võib sügisel moodustuda teine ränivetikate biomassi maksimum. Sesoonne segunemine hilissügisel toob kaasa järjekordse biomassi miinimumi kuni uue kevadeni.

Unlike other groups of phytoplankton the growth of cyanobacteria depends mainly on the availability of phosphates. Filaments of Baltic Sea bloom forming cyanobacteria contain heterocysts – the cells that are used to bind atmospheric nitrogen dissolved in the water. The decrease of the ratio of main macronutrients nitrogen and phosphorus and strong vertical stratification in the upper layer caused by solar heating favour the growth of cyanobacteria. Whether the cyanobacteria form surface accumulations or not depends on wind conditions. Stronger winds mix the cyanobacteria into the water column and their mass occurrences are not well visible. In case of moderate winds the filaments rise close to the sea surface (photo a) while in calm conditions the surface accumulations (scum) can be formed (photos b and c).



Photos: MSI archive

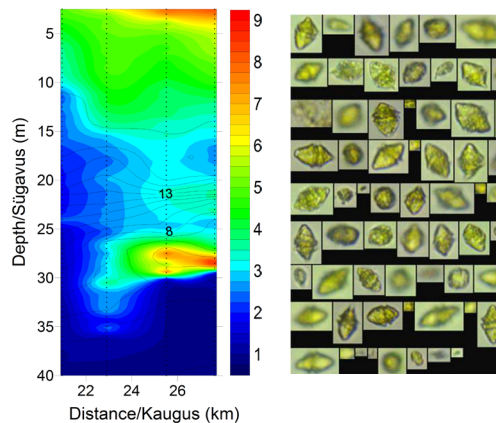
Cyanobacterial surface accumulations in the Gulf of Finland.

Page 21. Images of a main species forming sub-surface and deep phytoplankton biomass maxima – Heterocapsa triquetra – (samples were analysed using an imaging flow cytometer FlowCAM). On the left figure vertical section of chlorophyll a from the surface down to 40 m is shown. High chlorophyll a concentrations are visible in the near surface layer (yellow and red colours) and at the 25-m depth.

Beside cyanobacteria, some flagellated nanoplanktic (with cell sizes less than 10 micrometers) and microplanktic (20-50 micrometers) species could dominate the summer community in the stratified Gulf of Finland. Flagella, that make cells capable to move, are characteristic features for many plankton species. Although phytoplankton is moving mostly with currents transporting water masses, many species are capable for vertical migrations in the water column in ranges of up to tens of meters in order to uptake nutrients from deeper layers and photosynthesize in the near-surface layer.

Usually the phytoplankton is concentrated in the upper layer of the sea where the light conditions are favourable for their growth. However, in summer the deep biomass maxima are often observed as well. These maxima occur at the depths of 25-30 m where sunlight is usually absent. In some cases the chlorophyll *a* concentration (indicating the phytoplankton biomass) in deep maxima is higher than in the near surface layer.

Erinevalt teistest fütoplanktoni rühmadest sõltub tsüanobakterite kasv eelkõige fosfaatide kättesaadavusest. Tsüanobakterite niitides leidub heterotsüste – rakke, mille abil seotakse vees lahustunud molekulaarset õhulämmastikku. Peamiste fütoplanktoni kasvuks vajalike toitainete, lämmastiku ja fosfori suhte vähenemine ja intensiivsest päikesekiirgusest põhjustatud tugev veesamba kihistumine soodustavad tsüanobakterite kasvu. See, kas tsüanobakterid moodustavad veepinnale silmaga nähtavaid kogumeid, oleneb tuulest. Tugevama tuulega segatakse tsüanobakterite niidid veesambasse ning nende massvohamine ei hakka silma. Tuule vaibudes tõusevad aga niidid veepinna lähedale (foto a, lk 20) ning vaikse ilmaga võivad moodustuda selgelt eristuvad kogumid veepinnal (fotod b ja c, lk 20).



Fotodel on näha üks peamisi pinna-aluseid ja sügavaid biomassi maksimume moodustavaid liike *Heterocapsa triquetra* (analüüs kujutist salvestava läbivoolutsütomeetriga FlowCAM). Vasakpoolsel joonisel on näidatud fütoplanktoni klorofüll *a* jaotus veesambas pinnalt 40 m sügavuseni. Näha on suured klorofüll *a* sisaldused pinna lähedal (kollased ja punased toonid) ja 25 m sügavusel.

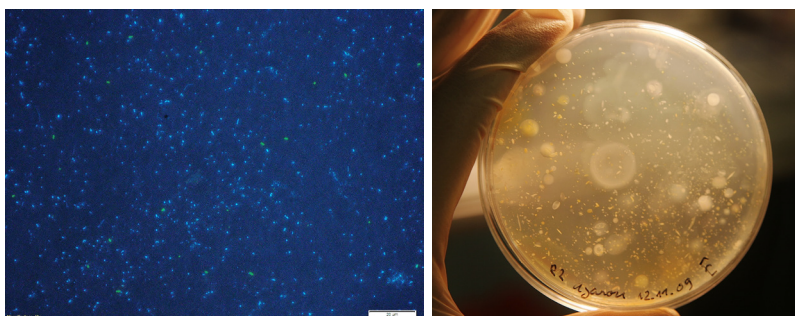
Lk 20. Tsüanobakterite pinnakogumid Soome lahes.

Soome lahes domineerivad suvel tugeva kihistatuse tingimustes peale tsüanobakterite ka väikesemõõtmelised (alla 10-mikromeetrised) ja suuremad (20-50-mikromeetrised) viburiga fütoplankterid. Vibureid, mis tagavad fütoplanktoni raku liikumisvõime, leidub paljudel fütoplanktoni rühmadel. Kuigi fütoplankton liigub peamiselt passiivselt koos veemasse edasikandvate hoovustega, on mitmed liigid võimelised sooritama ka päris ulatuslikke (kümnetesse meetritesse ulatuvaid) “rändeid” veesambas üles ja alla, et omastada sügavamatest kihtidest toitaineid ning fotosünteesida pindmistes kihtides.

Tavapäraselt asustab fütoplankton mere valgusküllast pinnakihti, kuid suvel registreeritakse sageli biomassi maksimume ka sügaval veesambas. Need maksimumid asuvad kuni 25-35 meetri sügavusel, kuhu päikesevalgus ei ulatu ning sageli on neis maksimumides klorofüll *a* sisaldus (fütoplanktoni hulka iseloomustav parameeter) suurem kui mere pinnakihis.

Bacterioplankton

Bacteria are the most abundant group of organisms in the Baltic Sea after viruses. The bacterial cells are small, but on average there are between one to five million bacterial cells per milliliter of seawater. The vast abundance of bacteria conceals great morphological, metabolic and genetic diversity or in simpler words many different-looking and -acting bacteria. Broadly speaking, by nutritional types bacteria can be divided into two groups – autotrophs and heterotrophs. Autotrophs use CO₂ as carbon source and light (photoautotrophs) or oxidation of inorganic compounds (chemoautotrophs) as energy source. However, the majority of bacteria belong to heterotrophic bacteria which use organic compounds as carbon and energy source (chemoheterotrophs). By utilizing the dissolved and particulate organic matter chemoheterotrophic bacteria release nutrients in inorganic form. This process is crucial to biochemical cycles in aquatic environments since the recycled nutrients are made available for primary production. The diversity of heterotrophic bacteria is vast and some of them are capable of utilizing xenobiotic (not naturally occurring in the organisms) pollutants like oil, pesticides, dioxins etc., so they clean sea from hazardous substances (bioremediation).



Fotod: MSI arhiiv

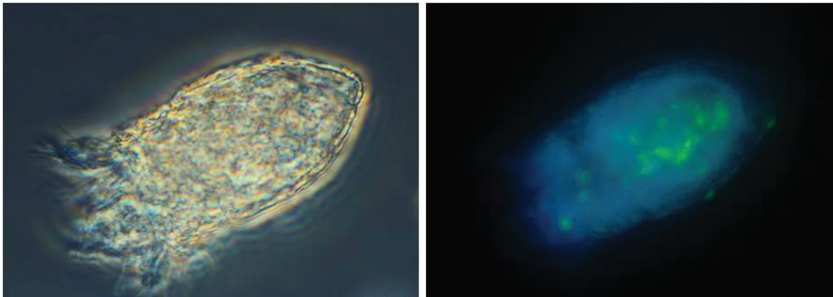
Bacteria under the fluorescence microscope (left photo; Scale: 20 µm) and as colonies on agar plate (right photo).

Page 23. Bacteria serve as food for different heterotrophic microbes. Images of a ciliate under the light microscope (left photo) and fluorescence microscope (right photo) are presented. The green particles in the ciliate seen under the fluorescence microscope are the fluorescently labelled bacteria which have been digested by the ciliate.

Species composition of bacterioplankton in the Baltic Sea varies greatly in space and time. As a mixture of marine and fresh water the Baltic Sea offers a habitat for species from both environments and those adapted to the brackish water environment. Beside salinity the species composition of bacterioplankton is influenced by pressure, temperature, alkalinity, oxygen content, and nutrient concentrations. Viruses and organisms feeding on bacteria have also a significant impact on the bacterioplankton.

Bakterplankton

Bakterid on viiruste järel kõige suurema arvukusega organismide grupp Läänemeres. Bakterite rakud on küll väikesed, kuid üks milliliiter merevett sisaldab keskmiselt üks kuni viis miljonit rakku. See tohutu arvukus tähendab ka suurt morfoloogilist, metaboolset ja geneetilist mitmekesisust ehk teisisõnu palju erineva väljanägemise ja toimimisega baktereid. Baktereid võib toitumistüübi järgi jaotada autotroofideks ja heterotroofideks. Autotroofid kasutavad süsiniku allikana süsinikdioksiidi (CO_2) ja energiaallikana valgust (fotoautotroofid) või anorgaaniliste ainete oksüdeerimisel vabanevat energiat (kemoautotroofid). Kuid enamik baktereid on heterotroofsed saades eluks vajaliku süsiniku ja energia omastades ja lagundades lahustunud või osakeselist orgaanilist ainet (kemoheterotroofid). Need organismid on olulisel kohal ainerings, sest orgaanilise aine lagundamine anorgaanilisteks ühenditeks viib toitained tagasi toiduahelasse muutes need kättesaadavaks algtootjatele (näiteks fütoplanktonile). Mitmekesisus heterotroofsete bakterite hulgas on väga suur, mõned neist suudavad lagundada ka Läänemerre sattuvaid ksenobiootilisi (organismides tavaliselt mitteesinevaid) ühendeid nagu nafta, pestitsiidid, dioksiinid jne. Seega puhastavad nad merd kahjulikest ainetest (toimib looduslik bioremediatsioon).



Fotod: MSI arhiiv

Bakterid on toiduks erinevatele heterotroofsetele mikroobidele. Fotodel on näha ripsloom valgusmikroskoobiga (vasakpoolne foto) ning fluorestsentsmikroskoobiga vaadatuna (parempoolne foto). Fluorestsentsmikroskoobi kujutisel ripslooma sees olevad rohelised osakesed on toiduks tarbitud fluorestseeruvalt märgistatud bakterirakud.

Lk 22. Bakterid fluorestsentsmikroskoobiga vaadatuna (vasakpoolne foto; skaala: 20 μm) ja kolooniadena kasvusöötmel (parempoolne foto).

Läänemere bakterplanktoni liigiline koosseis varieerub ajas ja ruumis. Mage- ja merevee segunemiskohana esineb Läänemeres mõlemale keskkonnale iseloomulikke liike ja ka vahepealse soolsusega kohastunud liike. Lisaks soolsusele mõjutab bakterplanktoni liigilist koosseisu ka rõhk, temperatuur, happelisus, hapniku ning toitainete sisaldused. Tähtis mõju on ka bakteritest toituvatel organismidel (protistidel) ja baktereid nakatavatel viirustel.

Research vessels

A vessel equipped with special equipment and laboratory facilities is a traditional monitoring platform and one of the most prominent elements of marine research infrastructure. Modern research vessels have to be capable of applying new technologies for marine research (remotely operated vehicles and autonomous platforms), conducting precise measurements and sampling in the water column, performing operational analyses of samples and experiments on board. Such infrastructure is indispensable in interdisciplinary studies of specific events or processes in marine environment conducting simultaneous mapping of physical, chemical and biological fields and collecting samples for laboratory analyses. Access to research vessels is a precondition for topical studies in marine science, e.g. studies of the sea floor, marine resources, atmosphere above the sea, fine structure of the pelagic ecosystem and processes at the boundary layer between water column and bottom sediments.



Photos: MSI and SMHI archives

Swedish research vessel Argos near the Seawatch buoy at Läsö E. in the Kattegat (upper photo), electrical winch with cable and carousel with sampling bottles onboard research vessel Salme (lower left photo) and sampling bottles in the water ready to be lowered through the water column (lower right photo).

Page 25. Estonian research vessel Salme (upper photo) and laboratories onboard (lower photos).

Uurimislaevad

Spetsiaalse aparatuuri ja laboritega varustatud uurimislaev on traditsiooniline merekeskkonna seire teostamise vahend ja üks mereteaduse infrastruktuuri tähtsamaid komponente. Tänapäeval on uurimislaevade ülesandeks täppismõõtmiste teostamine, proovide kogumine ja operatiivne analüüs, uutel tehnoloogiatel põhinevate vahendite (kaugjuhitavad ja autonoomsed mõõteseadmed) veeskamine ning katsete läbiviimine laeva pardal. Uurimislaevad on asendamatud teatud kindlatele protsessidele või nähtustele suunatud interdistsiplinaarsete uuringute teostamisel võimaldades samaaegselt läbi viia füüsikaliste, keemiliste ja bioloogiliste parameetrite kaardistamist ning koguda veeproove laboratoorseteks analüüsideks. Uurimislaeva olemasolu on eelduseks paljude aktuaalsete uurimistemade täitmisel, sh merepõhja, mereressursside, mere kohal oleva atmosfääri, pelagiaali ökosüsteemi peenstruktuuri ja piirikihi veesammas-põhjasetted uuringutes.



Fotod: MSI arhiiv

Eesti uurimislaev Salme (ülemine foto) ja laeva laborid (alumised fotod).

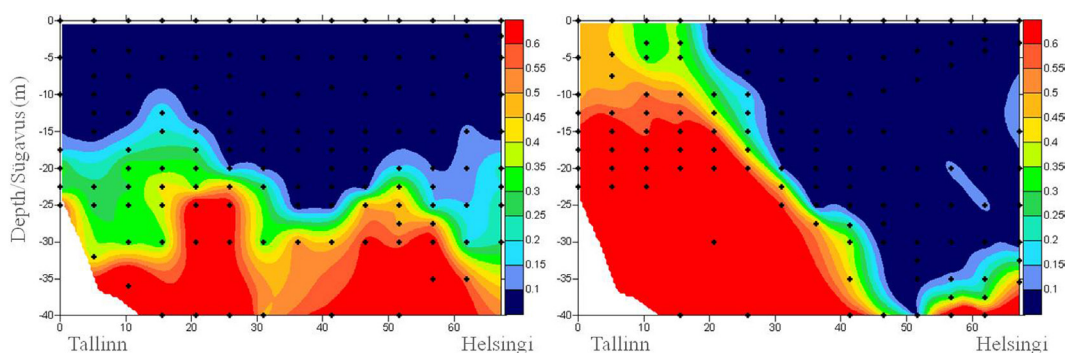
Lk 24. Rootsi uurimislaev Argos Seawatch poi lähistel Läsos Kattagati piirkonnas (ülemine foto), kaabliga elektrivints ja proovivõtupudelitega karussell uurimislaeva Salme pardal (alumine vasakpoolne foto) ja proovivõtupudelid vees valmis proovide kogumiseks (alumine parempoolne foto).

Below results of a study are presented that could not have been conducted without access to a research vessel. Scientists from the Marine Systems Institute investigated an excessive upwelling event that occurred in the Estonian coastal waters in August 2006 by carrying out measurements and high resolution sampling across the Gulf of Finland. Analysis of the collected data gave new quantitative results characterizing this phenomenon and its impact to the marine environment. The easterly winds that dominated in the area during two weeks in the first half of August caused a decrease of the surface water temperature in the Estonian coastal waters due to the upwelling from the usual summer value of 19 °C to 5-8 °C (see also figure on page 11). This upwelling event transported approximately 480-580 tons of phosphorus and 350-510 tons of nitrogen into the surface layer. In comparison, a monthly average amount of bio-available phosphorus entering the Gulf of Finland from rivers and direct discharges is about 380 tons. Since upwelling events introduce relatively more phosphorus than nitrogen into the upper layer, they favour cyanobacterial blooms as demonstrated also the results of the described study. During the second half of July 2006 the westerly winds dominated in the area and an upwelling event occurred in the Finnish coastal waters. After two weeks a significant increase of chlorophyll *a* concentrations was observed along the entire northern coast of the gulf. Upwelling events also influence vertical distribution of nutrients as after their relaxation the nitrogen-depleted surface layer is much deeper than it was before the event (due to the fast consumption of inorganic nitrogen from the surfacing water masses). Thus, successive upwelling events and vertical mixing transport less nitrogen into the surface layer and the amount of excess phosphorus can increase.

Page 27. Vertical distribution of phosphates along the Gulf of Finland cross-section between Tallinn and Helsinki on 25 July and 8 August 2006. Crosses indicate sampling stations and depths. Scale: μM . In the stratified conditions in summer the phosphate concentrations are close to the detection limit in the upper mixed layer (left figure). Due to the extensive upwelling event the surface layer waters depleted of nutrients have been drifted off-shore and cold intermediate layer waters rich of nutrients have been uplifted into the near-surface layer (right figure). Simultaneously to the upwelling event in the Estonian waters an opposite process developed in the Finnish coastal area where the nutrient-depleted waters occupied deeper layers than in ordinary conditions.

Lk 27 joonis. Fosfaatide vertikaalne jaotus Soome lahe ristlõikel Tallinna ja Helsingi vahelisel merealal 25. juulil ja 8. augustil 2006. Ristid joonistel tähistavad proovivõtu jaamu ja sügavusi. Skaala: μM . Suvel, tugeva kihistatuse tingimustes on ülemises segunenud veekihis fosfaatide sisaldused määramispiiri lähedased (vasakpoolne joonis). Tugeva apvellingu tingimustes kantakse pindmine toitainetevaene veekiht rannikust eemale ning vahekihi toitainerikkad veed kerkivad pinnale (parempoolne joonis). Samaaegselt Eesti rannikumeres esinenud apvellinguga esines Soome rannikumeres vastupidine protsess, mille käigus toitainetevaesed veed laskusid tunduvalt sügavamale võrreldes varasema jaotusega.

Alljärgnevalt üks näide uuringust, mille teostamine ilma uurimislaevata oleks olnud võimatu. TTÜ Meresüsteemide Instituudi teadlaste poolt viidi 2006. a augustis läbi Eesti rannikumeres esinenud ulatusliku süvavee kerke (apvellingu) uuringud. Uurimislaeva pardalt mõõtmisi teostades ja Soome lahe ristlõikel suure sagedusega nii pinnakihist kui erinevatelt sügavustelt edasisteks analüüsideks proove kogudes saadi palju uut teavet selle protsessi olemusest ja mõjust merekeskkonnale ning -elustikule. Kahe nädala jooksul augusti esimeses pooles domineerinud idatuulte mõjul langes Eesti rannikumeres veetemperatuur apvellingu tõttu tavapäraselt väärtuselt 19 °C väärtuseni 5-8 °C (vaata ka joonist lk 11). Mere ülakihti toodi selle apvellinguga hinnanguliselt 480-580 tonni fosforit ja 350-510 tonni lämmastikku. Võrdluseks – fütoplanktonile bioloogiliselt kättesaadava jõgedest või heitveega Soome lahte sattuva fosfori kuu keskmine koormus on ligikaudu 380 tonni. Kuna apvellingutega transporditakse mere ülakihti suhteliselt rohkem fosforit kui lämmastikku, soodustab see suviseid tsüanobakterite massvohamisi, nagu näitasid ka kirjeldatava uuringu tulemused. Eelneval perioodil, 2006. a juulis, domineerisid piirkonnas länetuuled ning apvelling esines Soome rannikumeres. Kahenädalase hilinemisega järgnes augusti algul klorofüll *a* sisalduse märgatav tõus piki kogu lahe põhjarannikut. Apvellingud mõjutavad ka toitainete vertikaalset jaotust, sest peale apvellingu taandumist on pindmine veekiht, kus nitraatide kontsentratsioon on nullilähedane, tunduvalt sügavam, kui enne apvellingut (lämmastikuühendid tarbitakse kiiresti ära, kui neid sisaldav veemass üles tõstetakse). Sellest tingituna on järgnevate apvellingu sündmustega või vertikaalse segunemisega kaasnev lämmastiku voog piiratud ja liigse fosfori kogus pindmises veekihis võib suurened.



Fosfaatide vertikaalne jaotus Soome lahe ristlõikel 25. juulil (vasakpoolne joonis) ja 8. augustil (parempoolne joonis) 2006. Vaata põhjalikumat selgitust lk 26.

Vertical distribution of phosphates along the Gulf of Finland cross-section on 25 July (left figure) and 8 August (right figure) 2006. See the explanation on page 26.

Autonomous platforms

Monitoring of the state and changes of the marine environment using research vessels alone is possible only in a restricted sea area during certain periods due to the high maintenance and operational costs of vessels. In order to ensure the reliability of assessments and discriminate between natural variability and changes due to human activities the availability of observational data with sufficient resolution, coverage and duration is required. Therefore the autonomous measuring devices and platforms are more and more widely applied. In modern oceanography the following systems are widespread: ARGO drifters, autonomous underwater vehicles (gliders), bottom mounted instruments or devices attached to fixed platforms (including acoustic profilers), sensors or profiling instrument packages installed on surface buoys, Ferrybox systems installed on ships of opportunity, towed measuring devices, including undulating vehicles etc. Remote sensing methods that enable mapping of large sea areas during a short period are also widely used for monitoring purposes.

Information obtained by autonomous measuring systems is usually available in near real-time. This enhances the knowledge base on the actual processes in the marine environment and potential harmful events. The information can be used by environmental authorities and decision makers as well as by general public. In addition, real-time data are made available for assimilation into the operational models to improve the reliability of marine forecasts.

Additional information and data can be acquired on the web sites of European networks of institutes operating the autonomous systems (e.g. <http://www.euro-argo.eu/>, <http://www.ferrybox.com/> etc.). Forecasts and other products of the Baltic Sea operational oceanographic system (BOOS) are accessible via BOOS web site www.boos.org and web sites of its partner institutes (e.g. www.smhi.se, www.msi.ttu.ee).

In the Baltic Sea ships of opportunity are used for the marine monitoring and research already since early 1990's. During the recent years autonomous profilers have also been applied and towed undulating vehicles are used more extensively. Remote sensing using different satellite based sensors is approved as a powerful method for marine monitoring. On the following pages the applied systems and methods are described, and examples are given of new knowledge and information obtained using these approaches.

Autonoomsed platvormid

Merekeskkonna seisundi ja selle muutuste jälgimine kasutades ainult uurimislaevu on võimalik üksnes piiratud aladel ja ajaperioodidel laevade ülalpidamise ja kasutamise suure maksumuse tõttu. Keskkonnaseisundi hinnangute usaldusväärsuse tagamiseks ning loodusliku ja inimtegevuse poolt põhjustatud muutlikkuse eristamiseks on aga vajalik piisava lahutuse, katvuse ja ulatusega andmete olemasolu. Seepärast leiavad järjest rohkem kasutust uutel tehnoloogiatel põhinevad autonoomsed mõõteseadmed ja platvormid. Tänapäeval on okeanograafias laialt levinud järgmised vahendid: Argo triivpoid, autonoomsed iseliikurid „gliderid“, merepõhja paigutatud või fikseeritud platvormidele paigaldatud seadmed (sh akustilise signaali abil sondeerivad andurid), pinnapoidede paigaldatud andurid või sondeerivad mõõtekompleksid, kommertslaevadele paigaldatud mõõtesüsteemid *Ferrybox*’id, laevadega järelveetavad süsteemid, sh profileerivad seadmed jne. Laialdaselt on kasutusel ka kaugseire meetodid, mis võimaldavad lühikese aja jooksul kaardistada suure mereala.

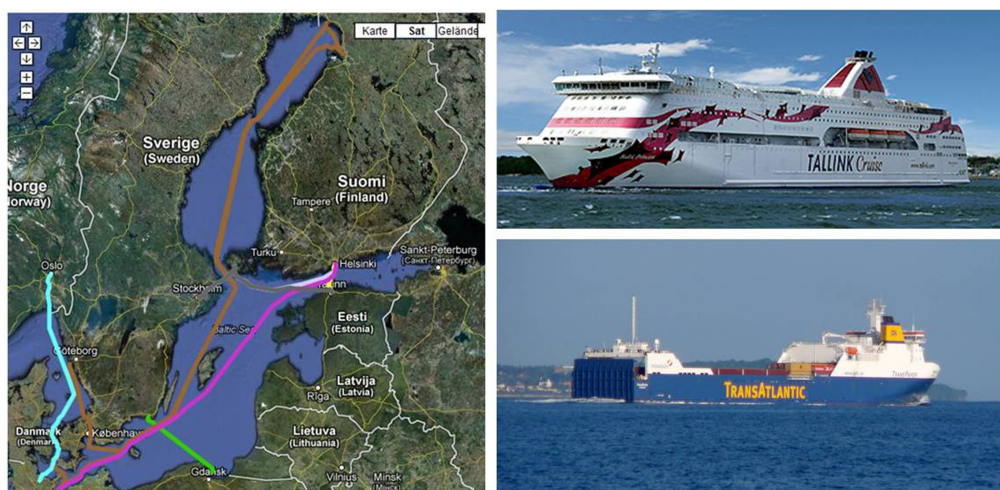
Autonoomsete mõõtesüsteemide abil kogutud merekeskkonna alane informatsioon tehakse kättesaadavaks tavaliselt peaaegu reaalajas, mis võimaldab oluliselt suurendada nii keskkonnaametnike ja otsustajate kui ka avalikkuse informeeritust meres toimuvatest protsessidest, aga näiteks ka ohtlikest nähtustest. Lisaks kasutatakse reaalajas edastatavaid andmeid operatiivsete prognoosimudelite abil koostatavate ennustuste usaldusväärsuse tõstmiseks.

Täiendava informatsiooni ja andmetega saab tutvuda erinevate autonoomseid süsteeme koondavate võrgustike kodulehtedel (näiteks <http://www.euro-argo.eu/>, <http://www.ferrybox.com/jt>). Läänemere operatiivokeanograafia võrgustiku (BOOS) poolt kogutud andmed ja prognoosid kajastuvad vastavas portaalis www.boos.org ja osalevate instituutide kodulehtedel (www.smhi.se, www.msi.ttu.ee jt).

Läänemere seireks ja uuringuteks kasutatakse kommertslaevadele paigaldatud mõõtesüsteeme juba alates 1990-ndatest. Viimastel aastatel on kasutusele võetud ka autonoomsed profileerivad poijaamad ja ulatuslikumalt on teostatud mõõtmisi järelveetavate seadmetega. Oluliseks Läänemere keskkonna seire meetodiks on saanud kaugseire kasutades satelliitidele paigaldatud erinevaid andureid. Järgnevalt on toodud autonoomsete süsteemide ja meetodite kirjeldused ning näited nende abil kogutud merekeskkonna alasest teabest.

Ferrybox

Ships of opportunity, e.g. ferries and cargo vessels, are used as platforms for observing the seas. Automated sensor and instrument packages on ships of opportunities are called Ferryboxes. The intake of seawater that is pumped through the sensors is usually at 4-5 m depth. Many Ferrybox systems have automated sampling devices to collect water samples at predetermined locations for further analysis in the laboratory on land (e.g. monitoring of harmful algae). Advantages of the Ferrybox systems include operation based on a timetable which makes recurrent and frequent observations possible, information from a transect gives good coverage compared to the single station approach, maintenance of the system can be done in the harbour, there are sheltered conditions and always enough energy onboard the ships for inclusion of very sophisticated devices, data are collected cost efficiently as shipping companies make space for instrumentation available for free. The main disadvantage of the technique is that only near surface water is observed. Processes and events occurring deeper in the water mass remain unnoticed.



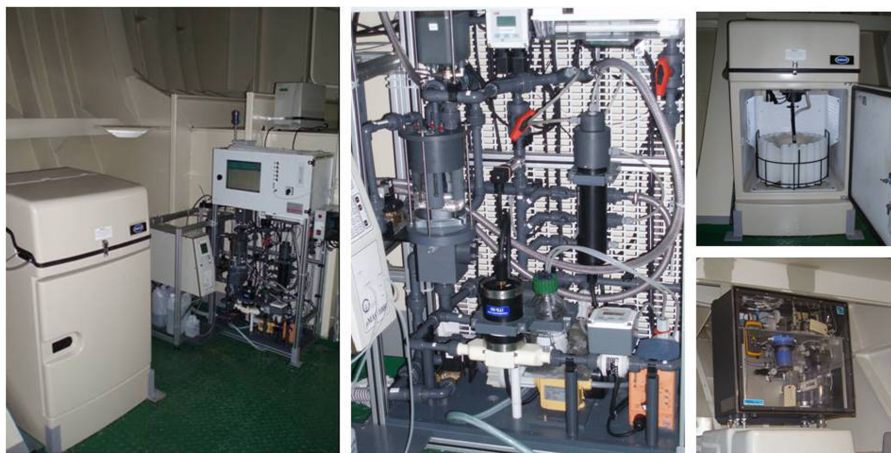
Photos: <http://www.tallinksilja.com> and www.sundsutsikt.se

Ferrybox routes in the Baltic Sea (left figure; Source: http://www.ferrybox.org/routes/baltic_sea/index.html.en). The passenger ferry Baltic Princess cruises daily between Tallinn and Helsinki in the Gulf of Finland (upper right photo). The system onboard is owned and operated by the Marine Systems Institute at Tallinn University of Technology. The ship TransPaper plies between Gothenburg and Kemi (lower right photo). Ferrybox contains sensors in the air and in a flow through system below the water line. Service of the Ferrybox system and collection of water samples is carried out by Swedish Meteorological and Hydrological Institute.

Page. 31. Ferrybox system onboard Baltic Princess (left and middle photos). Upper right photo – the autonomous water sampler. Lower right photo – a device for measuring carbon dioxide in the water installed onboard TransPaper.

Ferrybox

Reisi- ja kaubalaevu ning ka teisi kommertsaluseid kasutatakse platvormidena mereuuringuteks. Nendele paigaldatud automaatseid mõõtesüsteeme nimetatakse *Ferrybox*'ideks. Merevett, mis pumbatakse läbi mõõtesüsteemi laeva pardal, võetakse umbes 4-5 m sügavuselt. Tavaliselt kuuluvad süsteemide koosseisu ka automaatsed proovikogumisseadmed etteantud kohtadest veeproovide võtmiseks ja edasiseks laboratoorseks analüüsiks (nt kahjulike vetikate esinemise seireks). *Ferrybox*'ide kasutamise eelisteks on laevade graafikujärgne kindlal trassil liikumine, mis võimaldab teostada mõõtmisi regulaarselt, piisava sagedusega ja annab mereala hea katvuse võrreldes mõõtmistega ühes punktis; süsteemide hooldust saab teostada, kui laevad on sadamas; laevadel on seadmed kaitstud välismõjude eest ja tavaliselt on olemas piisavalt energiat; andmeid saab koguda väikeste kuludega, sest reeglina võimaldavad laevakompaniid süsteemide paigaldamiseks vajaliku ruumi tasuta. Kirjeldatud seiremeetodi peamiseks puuduseks on mõõtmiste teostamine ja proovide kogumine vaid mere pinnakihist. Seega ei ole võimalik kirjeldada sügavamal toimuvaid protsesse.

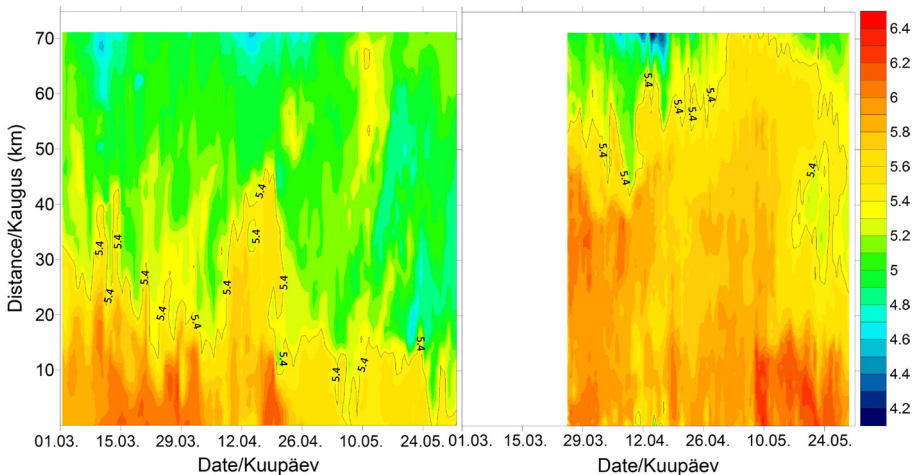


Fotod: MSI ja SMHI arhiiv

Ferrybox süsteem Baltic Princess pardal (vasakpoolne ja keskmine foto). Paremal ülal - autonoomne proovikoguja. Paremal all – andur CO₂ sisalduse mõõtmiseks vees, mis on installeeritud laevale TransPaper.

Lk 30. Ferrybox-liinid Läänemeres (vasakpoolne joonis; allikas http://www.ferrybox.org/routes/baltic_sea/index.html.en). Reisiparvlaev Baltic Princess sõidab igapäevaselt Soome lahes Tallinna ja Helsingi vahel (foto paremal ülal). Pardal olev süsteem kuulub ja seda hooldab TTÜ Meresüsteemide Instituut. Kaubalaev TransPaper sõidab Göteborgi ja Kemi vahet, pardal on andurid keskkonnaparametrite mõõtmiseks nii õhus kui vees (foto paremal all). Antud süsteemi hooldab ja veeproovide kogumist koordineerib Rootsi Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut.

Regular autonomous measurements and automatic sample collection on the ferry route between Tallinn and Helsinki in the Gulf of Finland began in 1997. Today (until the end of January 2013) the measuring system is installed aboard passenger ferry MS Baltic Princess owned by AS Tallink Grupp. After every measurement cycle the data (temperature, salinity and chlorophyll *a* fluorescence values) are transferred to the onshore computers and can be explored online here: <http://ferrybox.msi.ttu.ee/>.

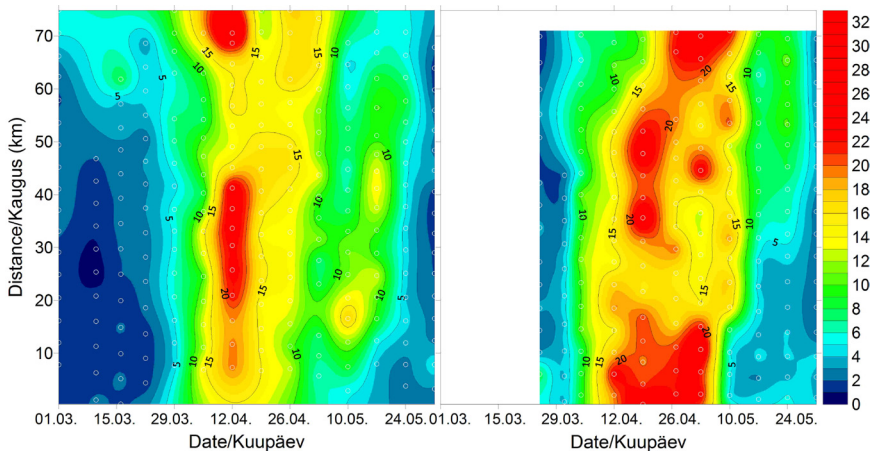


Changes of surface layer salinity along the Tallinn-Helsinki transect (y-axis: distance from Tallinn Bay) in spring 2009 (left figure) and 2010 (right figure). Scale: psu. The spatial resolution of measurements was about 150 m. The observed salinity distribution – higher salinity in the southern part and lower salinity in the northern part – corresponds to the general circulation in the surface layer – the saltier Baltic Proper waters flow into the gulf along the Estonian coast and fresher gulf's waters flow out along the Finnish coast. The observed higher salinities in spring 2010 indicate that the saltier Baltic Proper waters occupied almost the entire study area during that period.

*Page 33. Changes in chlorophyll *a* concentration along the Tallinn-Helsinki transect (y-axis: distance from Tallinn Bay) during spring in 2009 (left figure) and 2010 (right figure). Scale: mg/m³. Samples are collected with a spatial resolution of about 4 km. As seen from the chlorophyll *a* distributions the spring bloom lasted longer and was more intensive in 2010 than the spring bloom in 2009.*

Once a week water samples are collected by an automatic sampling device to be analyzed later in the laboratory. From those samples chlorophyll *a*, inorganic nutrients, and species composition and biomass of phytoplankton are determined. From year to year autonomous measurements and analyses of water samples enable scientists to observe the seasonal and interannual variations of different state parameters, assess the status of the sea and distinguish between the natural variability and anthropogenic impact. For instance, it was shown on the basis of collected data along the Tallinn-Helsinki transect that the intensity of cyanobacterial blooms depends beside the winter nutrient concentrations (and N:P ratio) also on the amount of solar radiation, water temperature and occurrence of upwelling events in early summer transporting excess phosphorus into the surface layer.

Soome lahel Tallinna ja Helsingi vahelisel merealal käivitused regulaarsed mõõtmised reisiparvlaevadele paigaldatud aparatuuriga 1997. aastal. Praegu (kuni 2013. a jaanuari lõpuni) on mõõtmisüsteem paigaldatud AS Tallink Grupp parvlaeva Baltic Princess pardale. Pärast iga ülesõitu ja naasmist Tallinna sadamasse edastatakse kogutud andmed (temperatuuri, soolsuse ja klorofüll *a* fluorestsentsi väärtused) TTÜ Meresüsteemide Instituudi serverisse ning tulemused on graafikutena nähtavad ka aadressil <http://ferrybox.msi.ttu.ee/>.



*Pinnakihi klorofüll *a* sisalduse muutlikkus piki Tallinn-Helsingi lõiget (y-telg: kaugus Tallinna lahest) 2009. (vasakpoolne joonis) ja 2010. (parempoolne joonis) aasta kevadel. Skaala: mg/m³. Proovid on kogutud ligikaudu 4 km sammuga. Võrreldes klorofüll *a* jaotusi võib järeldada, et 2010. aasta kevadõitseng kestis kauem ning oli intensiivsem kui 2009. aasta kevadõitseng.*

Lk 32. Pinnakihi soolsuse muutlikkus piki Tallinn-Helsingi lõiget (y-telg: kaugus Tallinna lahest) 2009. (vasakpoolne joonis) ja 2010. (parempoolne joonis) aasta kevadel. Skaala: psu. Mõõtmiste ruumiline lahutus oli ligikaudu 150 m. Registreeritud soolsuse jaotus – kõrgem soolsus lõike lõunapoolses osas ja madalam selle põhjapoolses osas – iseloomustab keskmist veemasside liikumist mere pinnakihis, mille järgi Ava-Läänemere soolasem vesi voolab lahte piki Eesti rannikut ja lahe magedam vesi voolab välja piki Soome rannikut. 2010. a kevadel registreeritud kõrgemad soolsuse väärtused näitavad, et sel ajal kattis Ava-Läänemere soolasem vesi pea kogu uurimisala (ristlõike).

Kord nädalas kogutakse automaatse proovikogujaga veeproove edasisteks laboratoorseteks analüüsideks. Veeproovidest analüüsitakse klorofüll *a* ja toitainete sisaldust ning määratakse fütoplanktoni liigiline koosseis ja biomass. Aastast aastasse teostatud autonoomsed mõõtmised ja regulaarsed veeproovide analüüsid võimaldavad teadlastel jälgida keskkonnaparameetrite sesoonset ja aastatevahelist muutlikkust, hinnata mere keskkonnaseisundit ning eristada looduslikku varieerumist inim mõjust tingitud muutustest. Näiteks on Tallinn-Helsingi liinil kogutud informatsiooni abil tuvastatud, et tsüanobakterite massvohamise intensiivsus sõltub lisaks talvisele toitainete sisaldusele (sh N:P suhte) suvisest päikesekiirguse intensiivsusest, vee temperatuurist ja varasuviste apvellingute esinemisest, mis toovad mere ülakihti täiendavalt fosforiühendeid.

Buoy station

The profiling buoy has been used in the Gulf of Finland near the Uusmadala shallow already since summer 2009. The autonomous measurements of temperature, salinity and chlorophyll *a* fluorescence are performed after every 3-6 hours with 10 cm step from 2 to 50 m depth. Data are transmitted after every profiling to the onshore computer at Marine Systems Institute. Additionally, the water samples for sensor calibration and phytoplankton and nutrient analyses are collected regularly near the buoy station during research vessel cruises.



Photos: MSI archive; Scheme: Flydog Solutions LLC

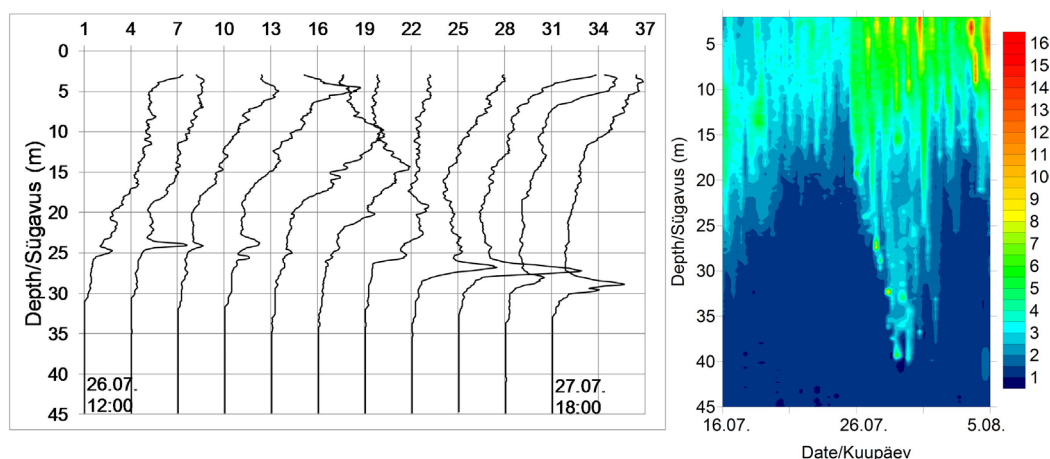
Autonomous profiling buoy station and sensor package at Uusmadala shallow in the Gulf of Finland.

Page 35. Left figure – vertical profiles registered after every 3 hours (x-axis – chlorophyll *a* concentration; each consecutive profile is shifted by 3 mg/m³). High-resolution measurements reveal diurnal migration of phytoplankton in the water column – most of phytoplankton experiences nocturnal downward migration, part of it moves up at sunrise while part continues sinking deeper. As a result bimodal vertical distribution of phytoplankton biomass (chlorophyll) is formed. High values of chlorophyll *a* concentration are seen also on the right figure where variations of vertical distribution of chlorophyll *a* from 16 July until 5 August 2009 are shown.

In the Gulf of Finland as in many other stratified sea areas the sub-surface maxima of phytoplankton biomass are often observed. These layers of high biomass and related vertical migration of phytoplankton might play a crucial role in the vertical transport of nutrients and formation of potentially harmful blooms. The novel technology – high-resolution autonomous observations, applied in the Gulf of Finland and adaptive sampling for laboratory analyses have revealed 24 and 48 hours migration cycles of phytoplankton (in periods when the dinoflagellate *Heterocapsa triquetra* was dominating the community). The estimated migration speed of cells was 1.6 m/h.

Poijaamad

Profileerivat poijaama on Soome lahes Uusmadala lähedal kasutatud juba alates 2009. a suvest. Autonoomsed temperatuuri, soolsuse ja klorofüll *a* fluorestsentsi mõõtmised toimuvad iga 3 kuni 6 tunni järel 10 cm sammuga 2 kuni 50 m sügavuseni. Peale iga profiili mõõtmist saadab süsteem andmed TTÜ Meresüsteemide Instituudi serverisse. Lisaks autonoomsetele mõõtmistele kogutakse regulaarsete ekspeditsioonide käigus poijaama lähedalt erinevatelt sügavustelt veeproove andurite kalibreerimiseks ning fütoplanktoni ja toitainete analüüsideks.



Vasakul joonisel on iga 3 tunni järel mõõdetud klorofüll *a* profiilid (skaala: mg/m³; x-teljel on klorofüll *a* sisaldus, kusjuures iga järgnev profiil on nihutatud 3 mg/m³ võrra). Sagedased mõõtmised näitavad fütoplanktoni ööpäevast liikumist veesambas – suure osa fütoplanktoni liikumine alumistesse kihtidesse kesköö paiku ning osa koosluse tõusmine pinna lähedale varahommikul ja teise osa laskumine veelgi sügavamale. Selle tulemusena moodustuvad biomassi 2 maksimumi. Suured klorofüll *a* väärtused allpool 25 m on nähtavad ka parempoolsel joonisel, kus on toodud klorofüll *a* vertikaalse jaotuse muutused ajas (skaala: mg/m³) vahemikus 16. juuli kuni 5. august 2009.

Lk 34. Autonoomne profileeriv poijaam Soome lahes Uusmadala piirkonnas ja süsteemis kasutatav sond.

Soome lahes, nagu ka teistes vertikaalselt kihistunud rannikumere piirkondades, esinevad suvekuudel sageli fütoplanktoni biomassi pinna-alused maksimumid. Need maksimumihid ja nendega seotud fütoplanktoni vertikaalsed ränded võivad omada olulist rolli nii toitainete vertikaalses transpordis kui ohtlike õitsengute kujunemisel. Soome lahes rakendatud uudse tehnoloogia – suure sagedusega autonoomsete mõõtmiste – ja suunatud veeproovide kogumise ning analüüsi abil on näidatud migreeruva fütoplanktoni (dinoflagellaat *Heterocapsa triquetra* domineerimisel) 24- ja 48-tunniseid rändeid, hinnates rakkude vertikaalseks liikumiskiiruseks kuni 1,6 m/h.

Near Seili Island (Archipelago Sea, Southwest Finland) water quality is monitored by buoy station maintained by BalticSeaNow.info project. The buoy station allows fully-automated collection of water quality data from the whole water column down to the 45 m depth with vertical resolution of 1 m. Multiparameter probe has sensors to monitor the dynamics of temperature, salinity, dissolved oxygen, turbidity, chlorophyll *a* fluorescence and cyanobacterial pigment phycocyanin. Data are collected four times a day and transferred after every profiling to the server at the Turku University of Applied Sciences. The results are updated at the BalticSeaNow.info web portal in near real-time.

By using autonomous profiler systems in several areas of the Baltic Sea and remote real-time data delivery it is possible to monitor both short and long term changes in water quality. Continuous monitoring enables to follow dynamic physical and biogeochemical processes like formation and decay of stratification (e.g. see the figure on page 37) and phytoplankton seasonal succession in detail.



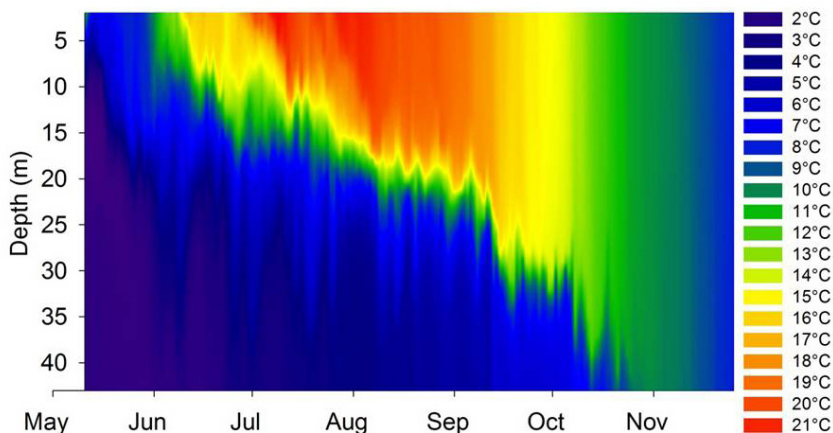
Photos: TUAS archive

Autonomous profiling buoy (upper photo) near Seili island in the Archipelago Sea. Sensor package (lower left photo) and service of the buoy station (lower right photo).

Page 37. Water temperature in 2011. The formation of summer stratification and the autumnal mixing.

Seili saare lähedal (Soome Saarestikumeres) jälgitakse veekvaliteeti profileeriva poiijaama abil mida haldab BalticSeaNow.info projekt. Poiijaam võimaldab automaatselt koguda veekvaliteedi andmeid kogu veesambast kuni 45 m sügavuseni vertikaalse lahutusega 1 m. Kasutatav sond omab andureid temperatuuri, soolsuse, lahustunud hapniku sisalduse, hägususe, klorofüll *a* fluorestsentsi ja tsüanobakterite pigmendi fükotsüaniini muutlikkuse jälgimiseks. Kogutud andmed salvestatakse ja saadetakse automaatselt peale iga mõõtmist Turu Rakendusteaduste Kõrgkooli arvutisse, kus need töödeldakse ja kuvatakse peaaegu reaalajas graafikutena projekti kodulehel.

Läänemere erinevates piirkondades autonoomsete profileerivate seadmete ja reaalajas andmete edastamise abil saab adekvaatselt seirata nii lühi- kui pikaajalisi muutusi merekeskkonnas. Pidevad mõõtmised võimaldavad detailselt jälgida dünaamilisi füüsikalisi ja biogeokeemilisi protsesse nagu kihistatuse teke ja lagunemine (nt allolev joonis) ning fütoplanktoni koosluse sesoonne muutlikkus.



Vee temperatuuri vertikaalse jaotuse sesoonne muutlikkus 2011. aastal Seili saare läheduses. Hästi on näha vertikaalse kihistatuse teke varasuvel ja lagunemine sügisel.

Lk 36. Autonoomne profileeriv poiijaam Seili saare läheduses Soome Saarestikumeres (ülemine foto). Kasutatav sond anduritega (alumine vasakpoolne foto) ja poiijaama teenindamine (alumine parempoolne foto).

Towed vehicles

The Marine Systems Institute has designed and constructed a towed undulating vehicle to measure successive vertical profiles of environmental parameters. This device allows to describe distributions of temperature, salinity, phycoerythrin (a pigment in cyanobacteria) and chlorophyll *a* fluorescence in the water column with high resolution within a short period (the ship may be in continuous motion). The device is controlled by an onboard computer by sending commands to change the position of wings attached to the system that forces it to move down or up.



Photos: MSI archive

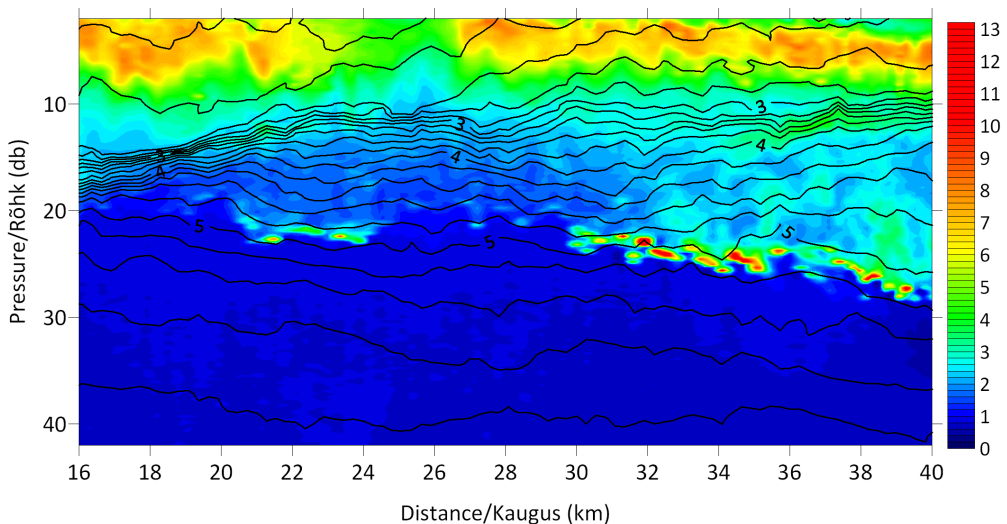
Towed undulating vehicle onboard the research vessel before measurements (left photo) and in the surface layer (right photo).

*Page 39. Distribution of chlorophyll *a* along the Gulf of Finland cross-section in Tallinn-Helsinki sea area. Scale: mg/m³. Altogether 83 profiles acquired by the towed undulating vehicle on 22 July 2010 were used. High chlorophyll *a* values (red and yellow colours) were observed in the surface layer and as patches also in the sub-surface layer at depths > 20 m.*

The described system has been widely used in the Gulf of Finland and it is shown that the sub-surface maxima of phytoplankton biomass are common phenomena here in summer. According to the data collected in July-August 2010 the sub-surface maxima were observed at about half of the vertical profiles of chlorophyll *a* fluorescence, whereas during two surveys the chlorophyll *a* values in the maxima were several times higher than the background values. It is concluded that deep maxima of phytoplankton biomass have to be taken into account when assessing phytoplankton primary production in the stratified estuaries.

Järelveetavad mõõteriistad

TTÜ Meresüsteemide Instituudis on konstrueeritud järelveetav mõõteseadme keskkonnaparameetrite järjestikuste vertikaalsete profiilide registreerimiseks. Taoline mõõtmisviis võimaldab kirjeldada temperatuuri, soolsuse, fükotsüaniini (tsüanobakterites esinev pigment) ja klorofüll *a* fluorestsentsi jaotust veesambas suhteliselt lühikese ajaga ja kõrge ruumilise lahutusega (laev ei pea mõõtmisteks seisma jääma). Mõõteseadme liikumist reguleeritakse pardaarvutist edastatavate käskudega, mis muudavad seadme küljes olevate tiibade kallet ja seega sunnivad kompleksi kas sukelduma või pinnale kerkima.



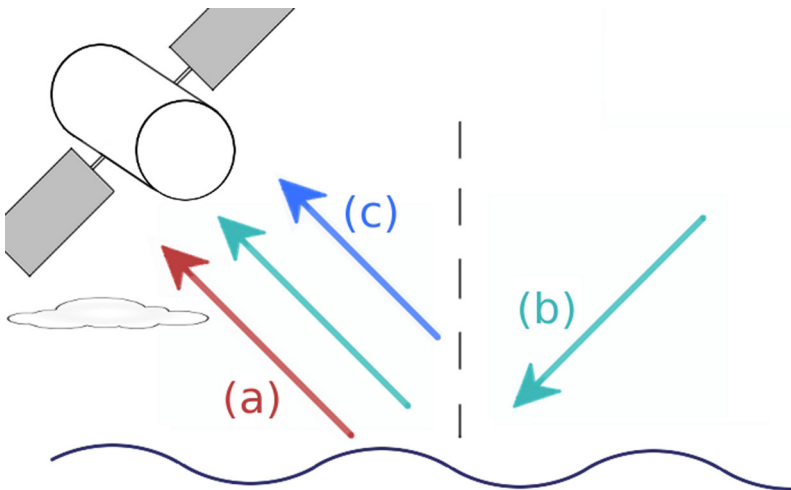
Klorofüll *a* jaotus Soome lahe ristlõikel Tallinna ja Helsingi vahelisel merealal. Skaala: mg/m^3 . Joonis on saadud järelveetava mõõteseadmega 22. juulil 2010 kogutud 83 vertikaalse profiili põhjal. Jooniselt on näha suured klorofüll *a* väärtused (punased ja kollased alad) pinnalähedases kihis ja kohati ka ilma valguseta veemassis allpool 20 m.

Lk 38. Järelveetav mõõteseadme laeva pardal enne vette laskmist (vasakpoolne foto) ja veepinnal (parempoolne foto).

Kirjeldatud süsteemiga on teostatud ulatuslikke mõõdistusi Soome lahes ja näidatud, et fütoplanktoni biomassi pinna-aluste maksimumide esinemine on siin suvekuudel tavapärane. Juulis-augustis 2010 kogutud andmetel esines pinna-aluseid maksimume klorofüll *a* vertikaalses jaotuses ligikaudu pooltel profiilidel, kusjuures kahel mõõdistuspäeval ületasid klorofüll *a* väärtused neis mitmekordselt taustaväärtusi. Järelikult tuleb fütoplanktoni biomassi pinna-aluseid maksimume arvesse võtta, kui eesmärgiks on hinnata produktsiooni vertikaalselt kihistatud rannikumeres.

Remote sensing

Remote sensors for Earth observations can be mounted on satellites or aircrafts. In marine research the remote sensing is used e.g. to measure water temperature and wave heights, track sea ice or map phytoplankton blooms. Sea surface temperature (SST) observations are important for many reasons: for algal bloom predictions, predictions of sea ice development etc. It would be impossible to cover areas large enough to get the whole picture of the present situation using only field observations. Some studies demand high spatial and temporal resolution of the SST information from large areas. Satellite SST products offer data from large areas several times a day.



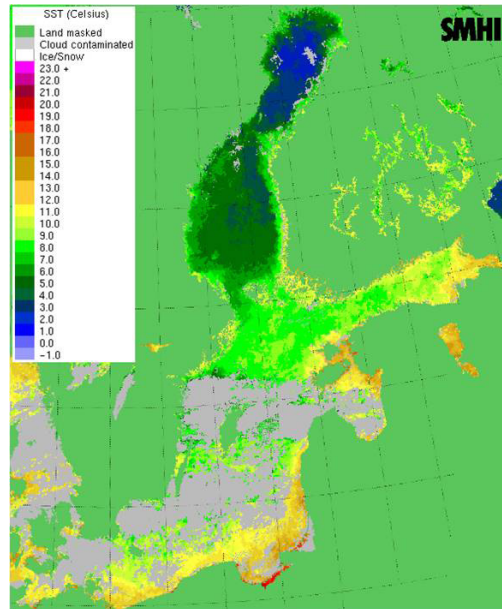
Satellite IR radiometric measurement: (a) emitted by the surface, (b) emitted by atmosphere and reflected to space, (c) direct atmosphere contribution (emission + absorption).

Page 41. Example of SST product 22 May 2012. Characteristic pattern of warming of the sea surface in spring can clearly be seen – higher SST is observed in the southern Baltic Sea and coastal areas while lower SST in the Bothnian Bay in the north and open sea areas. The grey areas of the Baltic Sea are covered with clouds. Source: Modified image from SMHI, OSI SAF.

It is possible to estimate the SST in the very top layer of the water column using infra-red (IR) sensors on satellites. Different IR frequencies are measured by the satellite and sent to computers. SST algorithms have been developed to distinguish between IR radiation emitted from the sea surface and other types of IR radiation, and take into account absorption in the atmosphere (see figure above).

Kaugseire

Maa kaugseireks kasutatavaid andureid saab paigaldada nii satelliitidele kui lennukitele. Mereuuringutes kasutatakse kaugseiret näiteks merepinna temperatuuri ja lainetuse parameetrite mõõtmiseks, jääseireks ja fütoplanktoni vohamise kaardistamiseks. Merepinna temperatuuri mõõtmised on olulised näiteks fütoplanktoni massvohamiste ja merejää moodustumise ennustusteks. Ainult kontaktmõõtmistega ei ole võimalik koguda andmeid piisava katvusega, et kirjeldada hetkeolukorda suuremal merealal. Mõnede uuringute tarvis on vaja aga just väga suure ruumilise ja ajalise lahutusega merepinna temperatuuri mõõtmisi. Satelliitide abil on võimalik kaardistada merepinna temperatuuri mitu korda päevas.



Veepinna temperatuuri jaotus 22. mail 2012. Näha on iseloomulik soojenemise muster – Läänemere lõunaosas ja rannikumeres on vee temperatuur kõrgem, Botnia lahes ja avamerel madalam. Hallid piirkonnad tähistavad mereala, mis oli kaetud pilvedega. Allikas: Töödeldud kujutis SMHI, OSI SAF.

Lk 40. Satelliidilt radiomeetriga teostatud mõõtmised: (a) kiirgus merepinnalt, (b) kiirgus atmosfäärist, mis peegeldub merepinnalt tagasi, (c) otsene atmosfääri mõju (kiirgus ja selle neeldumine).

Kasutades satelliitidele paigaldatud radiomeetreid on võimalik hinnata temperatuuri mere pinnakihis. Kiirgust mõõdetakse erinevatel infrapunase diapasooni sagedustel ja saadud tulemused edastatakse edasiseks tötluseks. Selleks, et eristada merepinnalt pärinevat kiirgust teistest allikatest lähtuvast kiirgusest ja arvestada atmosfääri mõju, on välja töötatud merepinna temperatuuri algoritmid (vt joonist lk 40).

The interpreted data can be presented as images (see figure on page 41) or assimilated directly into oceanographic models. When using a satellite based SST product it should be kept in mind that it is a refined product that can contain errors. In summer, when the surface water is warmed up, very shallow stratification can occur which can result in higher temperatures in satellite products than in field observations. Clouds can periodically be a problem as they prevent the valuable IR radiation from the sea to reach the satellite.

In summer cyanobacterial blooms occur in the Baltic Sea. During warm and calm periods the filaments of cyanobacteria are accumulating at the sea surface and the formed yellowish green scum may drift on shores. As the summer blooms of cyanobacteria spread over a large area of the Baltic Sea, satellite images and images taken from aircrafts are an efficient way to map extent of the surface accumulations. The satellite sensors use visible light, and are thus hampered by clouds covering the sea surface. But on clear days, one may get a good perception of the distribution of surface accumulations.



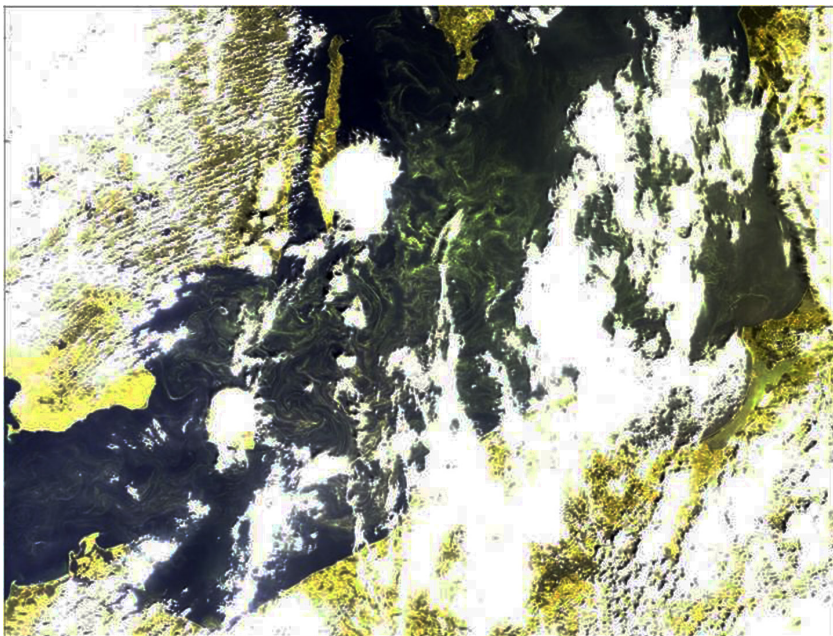
Photo: Swedish Coast Guard

A cyanobacterial bloom approaching the Swedish coast. Photo taken from an aircraft.

Page 43. Cyanobacterial surface accumulations as seen from Envisat. On the background of dark Baltic Sea waters the surface accumulations are visible in green. White areas are clouds and land surface is yellow.

Töödeldud andmed esitletakse piltidena (joonis lk 41) või näiteks assimileeritakse operatiivsetesse prognoosimudelitesse. Kasutades satelliitide poolt mõõdetavaid merepinna temperatuuri andmeid tuleb alati meeles pidada, et need ei ole saadud otseste kontaktmõõtmistega, vaid on arvutatud kasutades teatud eeldusi ja algoritme. Näiteks suvel, kui ülemine veekiht on kihistatud, võivad kaugseire tulemused hinnata vee temperatuuri tegelikust kõrgemaks. Ka pilvkate võib tekitada probleeme, kuna takistab infrapunase kiirguse levikut.

Suvel võivad Läänemeres vahuda tsüanobakterid. Soojadel ja tuulevaiksetel perioodidel tõusevad vetikaniidid pindmisse veekihti ja võivad moodustuda kollakas-rohelised pinnakogumid, mis aeg-ajalt ka hoovustega randadesse kantakse. Kuna tsüanobakterite massvohamised võivad Läänemeres eksisteerida ulatuslikul merealal, siis on kaugseire väga efektiivseks meetodiks nende kaardistamisel. Pinnakogumite registreerimiseks kasutatavad andurid töötavad nähtava valguse diapasoonis ning seega mõjutab nende abil saadavaid tulemusi pilvkate. Pilvitu ilmaga võib aga kaugseire abil saada väga selge ettekujutuse pinnakogumite ruumilise jaotuse kohta.



Allikas: Euroopa Kosmoseagentuur

Satelliidiga Envisat registreeritud tsüanobakterite pinnakogumid Läänemeres. Läänemere tumedal taustal on näha rohekad tsüanobakterite pinnakogumid. Valged alad pildil on pilved ja kollakad alad maismaa.

Lk 42. Tsüanobakterite massvohamine Rootsi rannikumeres. Foto on tehtud lennuki aknast.

In conclusion

A variety of methods and devices, from traditional research vessels to sensors on satellites, are used for marine monitoring and research. Observations using autonomous systems and platforms are becoming more substantial allowing to collect environmental data in a cost-effective way. Each of the used approaches has its advantages and disadvantages while the best results are achieved when several methods are applied in combination. For instance, in order to assess the total productivity of a sea area data with sufficient temporal resolution describing both horizontal and vertical distribution of phytoplankton biomass (chlorophyll *a*) are needed. This could not be achieved by a single method alone.

Limited number of environmental parameters as well as processes and events occurring in the marine environment are described in the present publication. This knowledge on the variations of temperature, salinity, oxygen, nutrients and phytoplankton distribution and processes influencing their dynamics shows that complex interrelations exist in the marine ecosystem. Vertical stratification of the Baltic Sea waters creates great dissimilarities between the key processes in different water layers. While in the upper layer, the phytoplankton distribution and productivity are mainly influenced by the availability of light and nutrients, in the near bottom layer the biogeochemical processes are in a large extent controlled by the oxygen conditions. Recent studies have revealed that short-term processes, such as coastal upwelling events, can significantly influence the phytoplankton species composition and productivity in the Baltic Sea.

A comprehensive picture on the status and dynamics of the marine ecosystem is obtained by monitoring and studies of many other ecosystem components and parameters, such as fish, bottom vegetation and animals, habitats, concentrations and pathways of harmful substances, etc.

One of the aims of marine monitoring and research is to forecast possible future changes in the environmental status. This could not be achieved without adequate understanding of the processes in the marine environment. More detailed knowledge on interrelations between the ecosystem components and links between the pressures and status have to be incorporated into the numerical models. In addition to the forecasts on the possible changes such models can advise if and what kind of measures should be implemented to avoid or mitigate adverse changes.

Kokkuvõtteks

Mereseireks ja -uuringuteks kasutatakse tänapäeval mitmesuguseid meetodeid ja vahendeid alates traditsioonilistest uurimislaevadest kuni satelliitidele paigaldatud anduriteni. Olulisel kohal on kontaktmõõtmised autonoomsete süsteemidega, mille abil on võimalik majanduslikult efektiivselt koguda suure ajalise ja ruumilise lahutusega andmeid merekeskkonnast. Igal meetodil on omad plussid ja miinused ning parima tulemuse annab nende kombineeritud kasutamine. Näiteks mereala koguproduktiooni hindamiseks on vajalik omada piisava ajalise lahutusega infot nii fütoplanktoni (klorofüll *a*) horisontaalse kui vertikaalse jaotuse kohta, mida aga ei ole võimalik hankida kasutades ainult üht meetodit.

Käesolevas publikatsioonis on käsitletud piiratud arvu keskkonnaparameetreid ning meres esinevaid nähtusi ja protsesse. Ainuüksi temperatuuri, soolsuse, hapniku, toitainete ja fütoplanktoni jaotuse ning nende dünaamikat mõjutavate protsesside näitel on selge, et mere ökosüsteemis toimivad keerulised seosed. Läänemere veesamba kihistatus tingib suured erinevused ökosüsteemi funktsioneerimise seisukohalt olulistest protsessides erinevates veekihtides. Kui ülemistes kihtides on fütoplanktoni jaotust ja produktiooni määravateks teguriteks valgus ja toitainete dünaamika, siis põhjalähedases kihis määravad biogeokeemiliste protsesside kulgu hapnikutingimused. Viimaste aastate uuringutega on olnud võimalik näidata, et lühiajalised sündmused, nagu näiteks apvellingud, mõjutavad oluliselt fütoplanktoni liigilist koosseisu ja produktiooni Läänemeres.

Loomulikult on merekeskkonnas toimuvast täiusliku pildi saamiseks vajalik teostada ka teiste parameetrite ja mere ökosüsteemi komponentide seiret ja uuringuid – näiteks kalastiku, põhjaelustiku ja elupaikade, ohtlike ainete sisalduse ja nende leviku uuringuid.

Mereseire ja -uuringute üheks eesmärgiks on prognoosida mere keskkonnaseisundi võimalikke muutusi tulevikus. Ilma teadmisteta merekeskkonnas toimuvatest protsessidest ei ole võimalik seda adekvaatselt teha. Uuringute tulemusena saadud üha detailsemad teadmised seoste kohta nii keskkonnakomponentide kui ka survetegurite ja ökosüsteemi seisundi vahel on vajalik lülitada numbrilistesse prognoosimudelitesse. Mudeleid kasutades saab ennustada võimalikke muutusi merekeskkonnas, aga anda ka soovitusi, kas ja missuguseid meetmeid oleks vaja kasutusele võtta soovimatute muutuste vältimiseks või leevendamiseks.