

## Meresüsteemide instituudi 2022. aasta teadus- ja arendustegevuse ülevaade

### Meresüsteemide instituudi 2022. aasta olulisemad edulood

1. LainePoiss® – töötati välja jääkindel ja kerge lainepoi, mis arvutab mõõdetud veepinna kõrguse muutustest lainekõrguse ja lainespektrid ning edastab andmed reaajas üle mobiilside- või satelliitvõrkude (EAG100).
2. Koostöö väikeettevõttega Flydog Solutions OÜ innovatiivsete merekeskkonna seire ja uuringute meetodite rakendamine, sh uurimislaua läbivoolusüsteemiga ühendatud mikroprügi koguja (JPI Oceans projekt Andromeda) ja süsinikuringe parameetrite mõõtmise seadmed (projekt KIK21047).
3. Okeanograafilisi uuringuid ja andmebaase kasutati avamere- ja rannikurajatiste planeerimiseks Eesti merealal. Seoses LNG terminali rajamisega viidi läbi ekstreemsete hüdrodünaamiliste-, meteoroloogiliste- ja jäättingimuste ning heljumi leviku analüüs Pakri poolsaare lähedases rannikumeres (LLMEE22051, LLMEE22108, LLMEE22120, LLMEE22054).

### Gradientsüsteemide dünaamika uurimisrühm

Uurimisrühma juht: professor URMAS LIPS, tel: +3726204304, [urmas.lips@taltech.ee](mailto:urmas.lips@taltech.ee)

Akadeemilised: T. Liblik, M.-J. Lilover, G. Väli, N. Buhhalko, I. Kuprijanov, P. Laas, S. Sildever, I. Suhhova

Doktorandid: A. Mishra, N. Rünk, K. Salm, O. Samlas, E. Siht, S.-T. Stoicescu, H. Thennakoon

Mitteakadeemilised: V. Kikas, A. Aan, F. Buschmann, N. Kolesova, S. Lainela, K. Lind, M. Lipp, R. Reilson, D. Maslova

Võtmesõnad: stratifikatsioon, hüpoksia, submesomastaapsed protsessid, mikroprügi, eDNA, süsinikuringe, innovaatilised vaatlus- ja analüüsimeetodid

#### Ülevaade

Uurimistöö keskendub erinevat mastaapi füüsikalistele protsessidele, mis mõjutavad oluliselt biogeokeemilist aineriinget ja kontrollivad ainete transporti ning segunemist vertikaalselt kihistunud Läänemeres, sh hüpoksilises ja redokskliiniga seotud veekihtides. Fookus on submesomastaapsel protsessidel, nende lokaalsel ja suuremastaapsel mõjul vee- ja ainevahetusele basseini-, ranniku- ja avamere ning veekihtide vahel, mis mh mõjutavad kevadõitsengu, mikstroofsete liikide ja süsinikuvoogude dünaamikat. Mereökoloogiliste uuringute fookuses on planktilised ja bentilised algtootjad, merepõhja selgrootud, nende dünaamika ja roll Läänemere aineriingest ning mere mikroprügi ja ohtlike ainete mõju elustikule.

Uurimismeetoditest on kesksel kohal kontaktmõõtmised kasutades UL Salme ja uut tehnoloogiatel põhinevaid autonoomseid seadmeid, sh unikaalset, profileerivat põhjajaama ja allveeliugurit. Protsessuuringutes rakendatakse numbrilist modelleerimist. Mere-elustiku uuringutes kasutatakse mh läbivoolutsütomeeteriat, spektroskoopiat, mikroskoopiat ja metageenetilist analüüsi.

Uurimistöö praktiliseks väljundiks on merekeskkonna seisundi seire ja hindamise meetodite arendamine, inimtegevuse mõjude hindamine, sh Keskkonnaministeriumi nõustamine merestrategia väljatöötamisel, osalemine keskkonnakaitse alases rahvusvahelises koostöös ja Eesti mereala ruumilises planeerimises. Arendatakse mikroprügi seire meetodeid.

#### Olulisemad teadusprojektid:

PRG602 "Submesomastaapsede protsesside roll okeanograafiliste väljade struktuuri ja suuremastaapse dünaamika kujundamisel (01.2020–12.2024)", PI: Lips, U.

PSG735 "Kuidas saada metatriipkoodimisest rohkem infot: rakkude arvukus, aktiivsus/mitteaktiivsus ja koosluste dünaamika (01.2022–12.2025)", PI: Sildever, S.

#### Olulisemad publikatsioonid:

Laas et al., 2022, J Environ Management, DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116403.

Liblik et al., 2022, Ocean Sci, DOI: 10.5194/os-18-857-2022.

Mishra et al., 2022, Front Mar Sci, DOI: 10.3389/fmars.2022.875984.

#### Olulisemad rakendusprojektid:

KIK20025 "Bioindikaatorite rakendamine Väinameres ja Liivi lahes" (06.2020–07.2022), PI: Kolesova, N.

LLMEE21071 "Hüdrodünaamika, settetranspordi ja reostuslevi uuring Saare Wind Energy poolt kavandatava tuulepargi keskkonnamõju hindamise jaoks" (07.2021–09.2022), PI: Liblik, T.

#### Edulood 2022

Koostöö väikeettevõttega Flydog Solutions OÜ innovatiivsete merekeskkonna seire ja uuringute meetodite rakendamine, sh uurimislaua läbivoolusüsteemiga ühendatud mikroprügi koguja (JPI Oceans projekt Andromeda) ja süsinikuringe parameetrite mõõtmise seadmed (projekt KIK21047).

#### Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga:

- Nutikas merendussektor ja jätkusuutlik merekeskkond

#### Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkonnad:

- Frascati alusel:
  - 1.5 Maateadused ja nendega seotud keskkonnateadused
  - 1.6 Bioteadused
- CERCS alusel:
  - P500 Geofüüsika, füüsikaline okeanograafia, meteoroloogia
  - B260 Hüdrobioloogia, mere-bioloogia, veeökoloogia, limnoloogia
  - T270 Keskkonnatehnoloogia, reostuskontroll

#### Olulisemad välispartnerid:

- Soome mereuuringute infrastruktuuri partnerid Soome Meteoroloogiainstituut ja Soome Keskkonnainstituut
- Warnemünde Läänemere uuringute instituut (IOW), Saksamaa
- Jaapani kalandusuuringute ja haridusagentuur

#### Olulisemad Eesti koostööpartnerid:

- Tartu Ülikool (Eesti Mereinstituut, Ökoloogia ja maateaduste instituut, Füüsika instituut)
- Eesti Keskkonnauuringute Keskus
- Flydog Solutions OÜ

## Meredünaamika modelleerimise ja kaugseire uurimisrühm

Uurimisrühma juht: Prof. URMAS RAUDSEPP, Tallinna Tehnikaülikool, Loodusteaduskond, meresüsteemide instituut; [urmas.raudsepp@taltech.ee](mailto:urmas.raudsepp@taltech.ee); +372 53437292

Akadeemilised: V. Alari, J. Elken, P. Lagemaa, I. Maljutenko, A. Männik, S. Rikka, L. Sipelgas, R. Uiboupin; Järel doktorid: N. Janatian

Doktorandid: A. Aavaste, A. Barzandeh, M.-L. Kasemets, M. Kõuts, A. Lerner-Vilu, S. Pärt, L. Siitam, N. Vidjajev  
Mitteakadeemilised: J.-V. Björkqvist, K. Vahter, S. Verjovkina, S. Aas

Võtmesõnad: Okeanograafia, meteoroloogia, numbriline modelleerimine, kaugseire, masinõpe

### Ülevaade

Uurimisrühm viib läbi teaduslikul analüüsil põhinevaid okeanograafia protsessiuuringuid põhjus-tagajärg seoste leidmiseks. Rakendatakse uudseid (operatiivseid) meetodeid merekeskkonna seireks ja muutuste analüüsiks sh. ilmaprognoosi- ja kliimamudeleid, mida rakendatakse superarvutitel atmosfääri ja ookeani vastasmõju mehhanismide selgitamiseks, ning masinõppel põhinevaid satelliitpiltide töötlemise ja mudelandmete analüüsi algoritme.

Operatiivokeanograafia rakenduste/meetodite arendamisel on töörühmal pikaajaline kogemus, mille väljunditeks on avalikkusele ja riigiasutustele pakutav informatsioon veetaseme muutlikkuse, jääolude ja teiste merefüüsika parameetrite kohta. Uurimisrühm panustab oluliselt üleeuroopalisse Copernicuse programmi.

Teaduslikes protsessiuuringutes ja rakendusuuringutes on uurimisrühma tugevus suurandmete kasutamine (masstöötlamine) kliima uuringuteks ja merekeskkonna omaduste statistiliseks analüüsiks ning dünaamiliste seoste leidmisteks.

### Kasutatavad meetodid

Numbriline modelleerimine: superarvutitel töötavad operatiivsed mereprognoosi mudelid (Copernicus mere teenus); atmosfääri- ja meremudelid ilma-, kliima- ja protsessiuuringuteks, ning järelanalüüside andmebaaside loomiseks ja rakendamiseks. Kaugseire: optilised, infrapuna ja radari satelliitpildid, droonivaatlused ja kaldaradari andmed mere- ja maismaa seisundi kirjeldamiseks ja hindamiseks. Operatiivsed mõõdistused: maailmatasemel teadusaparatuur satelliitpiltide ja numbriliste mudelite kalibreerimiseks ja valideerimiseks; on-line infotehnoloogiliste lahenduste väljatöötamine ja uudse teadusaparatuuri arendamine.

Olulisemad projektid: LLMEV21136, VEU22001LM, EAG100, LLMAV22111, LLMEE22054

### Olulisemad publikatsioonid:

Raudsepp and Maljutenko, 2022, Geoscientific Model Development, DOI:10.5194/gmd-15-535-2022

Villoslada et al., 2022, Ecological Indicators, DOI:10.1016/j.ecolind.2022.109329

Alari et al., 2022, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, DOI:10.1175/JTECH-D-21-0091

### Väljapaistvad teadustulemused

Kliimamuutuse signaal avaldub Maa süsteemi osades toimuvate äärmuslike sündmuste kaudu. Talvel 2019/20 oli ookeani soojussisalduse anomaalia Läänemere ülemises 50 m kihis (211 MJ/m<sup>2</sup>) suurim perioodi 1993–2020 kohta ja maksimaalne jää ulatus madalaim (38 300 km<sup>2</sup>) alates 1720. aastast.

Numbrilised mudelid mängivad Maa süsteemi digitaalse kaksiku väljatöötamisel olulist rolli. Seetõttu on oluline hinnata Maa süsteemi mudelite kvaliteeti. Uus meetod numbrilise mudeli oskuste mitmemõõtmeliseks hindamiseks kasutab mudelivigade rühmitamiseks K-means algoritmi. Klasterdatud vigu kasutatakse mudeli täpsuse ruumiliseks ja ajaliseks analüüsiks.

Sinine/roheline majandus ja keskkonnaressursside säästev kasutamine on tänapäeva ühiskonna võtmetemad. Seda lähenemisviisi toetavad järgmised uurimistulemused:

- Üleujutuste sageduse suhteline panus pinnase orgaanilise süsiniku kontsentratsiooni Läänemere ranniku märgaladel sõltub märgala asukohast ja üleujutuste iseloomust. Kõrgemad üleujutuste sagedused võivad suurendada pinnase orgaanilise süsiniku sisaldust märgaladel, mida mõjutavad suudmeala setted.
- Makrovetikate kasvatamine on paljulubav ringmajanduse lahendus toitainete vähendamise ja toiduga kindlustatuse saavutamiseks. Läänemere lääne- ja lõunaosas on Ulva intestinalis ja Fucus vesiculosus'e

suurim põllumajanduslik potentsiaal, paljutöötavad alad on ka Läänemere idaosas. Makrovetikakasvatus ei põhjendanud olulist toitainete limiteerimist. Makrovetikakasvatusest tingitud toitainete limiteerimise eeldatav ruumiline levik oli alla 100–250 m. Suuremad levimiskaugused leiti vähese toitainete ja vähese veevahetusega piirkondades ning väiksemad kõrge toitainete ja suure veevahetusega piirkondades.

- Tallinna kesklinna näitel kirjeldati ja rakendati kaugjahutust kui linnasüsteemi planeerimise vahendit. Vaadeldud linnaosa jahutusvõimsuseks hinnati 63,2 MW. Analüüs näitas, et vabajahutuse korral mereveega saab katta kuni 55% aastasest jahutusvajadusest.
- Formuleeriti terviklik lähenemine operatiivse laevanduse keskkonnamõtjude hindamise uuringuteks Läänemere laevanduse näitel. Selles määratakse kindlaks laevandusest põhjustatud keskkonnaseisundi halvenemise peamised valdkonnad ning võimalikud leevendavad meetmed täiustatud õigusaktide ja tehnoloogiliste arengu kaudu.

#### Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga:

- Nutikas merendussektor ja jätkusuutlik merekeskkond
- Keskkonnaressursside väärastamine

#### Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond:

- Frascati alusel:  
1.5 Maateadused ja nendega seotud keskkonnateadused
- CERCS alusel:  
P500 Geofüüsika, füüsikaline okeanograafia, meteoroloogia;  
T181 Kaugseire;  
P176 Tehisintellekt

#### Uurimisrühma liikmete osalus oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös:

- Jüri Elken  
Rahvusvahelise teadusprogrammi Baltic Earth nõuandva kogu esimees  
Rahvuslik delegaat: IAPSO (Rahvusvaheline Füüsikaliste Ookeaniteaduste Assotsiatsioon) / IUGG  
[www.iugg.org](http://www.iugg.org)
- Liis Sipelgas  
Eesti delegaat Euroopa Kosmoseagentuuri (ESA) kaugseire programminõukogu toetavas töögrupis (PB-EO/DOSTAG)

#### Uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevus:

- Okeanograafilisi uuringuid ja andmebaase kasutati rajatiste planeerimiseks Eesti merealal. Seoses LNG terminali planeerimisega viidi läbi ekstreemaalsete hüdrodünaamiliste-, meteoroloogiliste- ja jäätingimuste ning heljumi leviku analüüs Pakri poolsaare lähedases rannikumeres (LLMEE22051, LLMEE22108, LLMEE22120, LLMEE22054).
- Erinevate stsenaariumipõhiste arvustuste tulemusena valiti välja vähima keskkonnamõtjuga Viru Keemia Grupi planeeritava biotoodete tootmiskompleksi heitvee süvalasu asukoht (LLMEE22095).
- Ohutu laevaliikluse tagamiseks Eesti merealal on installeeritud rannikumeres meteo, meretasemete ja lainetuse pidevseirejaamad (LLMEE22010, LLMEE22011, MNKE22066).
- LainePoiss® – töötati välja jääkindel ja kerge lainepoi, mis arvutab veepinna kõrguse ning edastab laineparameetrid ja spektrid reaajas üle mobiilside- või satelliitvõrkude (EAG100).
- Kliimaneutraalsuse tagamiseks on teostatud uuringud taastuvenergia (merevee soojusenergia) kasutuselevõtuks ja energiatõhusate ehitiste planeerimiseks, mis sobivad meie kliimatsiooni võttes arvesse võimalikke tuleviku kliimastenaariume (VEU22001LM, LLMEE22041, LLMAE22047, LLMEE22025).
- Viidi läbi Läänemere piirkonna esialgne hinnang laineenergia kasutamise piirangute ja potentsiaali kohta seniste taastuvate energiaallikate täiendusena.
- Kaugseireplatvormide integreerimine on tõhus vahend süsiniku ladustamise ruumilise heterogeensuse paljastamiseks rannikualade märgaladel (KIK20023; LLMAE21069).

Käimasolevate projektide/lepingute tulemuste rakendusvõimalused:

- Läänemere regiooni digitaalse kaksiku arendamine (LLMAV22111, LLMEV21136) võimaldab piiramatuid rakendusi sinise/rohelise majandus ja keskkonnaressursside säästeva kasutamise rakenduste elluviimiseks.
- Laevanduse keskkonnamõju holistilist hindamise metoodikat on rakendatud laevanduse keskkonnamõjude analüüsi läbiviimiseks Eestiga seotud merealal (LLMAE22017).

Olulisemad välispartnerid:

- Soome Meteoroloogia Instituut
- Mercator Ocean
- Federal Maritime and Hydrographic Agency, Saksamaa

Olulisemad Eesti partnerid:

- Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituut
  - Tartu Ülikooli Tartu observatoorium
  - Eesti Keskkonnaagentuur
-

## Overview of the department's research and development activities in 2022

### Most important success stories of Department of Marine Systems in 2022

1. LainePoiss®—an ice-resistant and lightweight wave buoy was developed and tested. The buoy calculates the wave height and wave spectrum from the measured surface elevation and transmits the data in real time over cellular or satellite networks (EAG100 ).
2. Application of innovative marine environment monitoring and research methods, including a micro-litter sampler (JPI Oceans project Andromeda) and equipment for measuring carbon system parameters (project KIK21047) connected to the flow-through system of the research vessel in cooperation with SME Flydog Solutions OÜ.
3. Oceanographic research and databases have been used to plan installations in the Estonian sea area. In connection with the construction of the LNG terminal, an analysis of extreme hydrodynamic, meteorological and ice conditions and the distribution of suspended solids in the coastal sea near the Pakri Peninsula was carried out (LLMEE22051, LLMEE22108, LLMEE22120, LLMEE22054).

### Research Group on Dynamics of Gradient Systems

Research group leader: Prof URMAS LIPS, phone: +3726204304, [urmas.lips@taltech.ee](mailto:urmas.lips@taltech.ee)

Members: T. Liblik, M.-J. Lilover, G. Väli, N. Buhhalko, I. Kuprijanov, P. Laas, S. Sildever, I. Suhhova

PhD Students: A. Mishra, N. Rünk, K. Salm, O. Samlas, E. Siht, S.-T. Stoicescu, H. Thennakoon

Non-academic members: V. Kikas, A. Aan, F. Buschmann, N. Kolesova, S. Lainela, K. Lind, M. Lipp, R. Reilson, D. Maslova

Keywords: stratification, hypoxia, submesoscale processes, micro litter, eDNA, carbon cycle, innovative observing and analysis methods

Overview. We study multiscale physical processes that influence the biogeochemical cycle of substances and control the transport and mixing in the stratified Baltic Sea, including the hypoxic layer and redoxcline. Main focus is on submesoscale processes, their local and largescale impact on water and matter exchange between the sub-basins, coastal and open sea, and vertically between the water layers that influence the dynamics of the spring bloom, mixotrophic organisms and carbon fluxes. Marine ecology studies focus on pelagic and benthic primary producers, benthic invertebrates, their dynamics and role, and impact of micro-litter and hazardous substances on marine biota.

Methods. The main method is field studies using RV Salme and autonomous instruments based on new technologies, including a unique bottom-mounted profiling station and underwater glider. Numerical modeling is used for process-oriented studies. For the water sample analyses flow-cytometry, spectroscopy, microscopy, and metagenomics are used.

Applications. Results feed into the development of marine environmental monitoring and assessment methods, including micro-litter monitoring, assessment of human pressures, advising the Ministry of the Environment on marine strategy development, participating in international co-operation on the protection of marine environmental and Estonian maritime spatial planning.

Latest research projects:

PRG602 "The role of sub-mesoscale processes in structuring and large-scale dynamics of oceanographic fields (01.2020–12.2024)", PI: Lips, U.

PSG735 "Squeezing more out of metabarcoding data: cell abundance, activity/inactivity and community dynamics" (01.2022–12.2025), PI: Sildever, S.

Selected publications:

Laas et al., 2022, J Environ Management, DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116403.

Liblik et al., 2022, Ocean Sci, DOI: 10.5194/os-18-857-2022.

Mishra et al., 2022, Front Mar Sci, DOI: 10.3389/fmars.2022.875984.

Significant applied projects:

KIK20025 "Application of bioeffect indicators in Väinameri and the Gulf of Riga" (06.2020–07.2022), PI: Kolesova, N.

LLMEE21071 "Measurements for the hydrodynamics, suspended matter and pollution spreading investigations for the impact assessment of the offshore wind farm construction developed by Saare Wind Energy" (07.2021–09.2022); PI: Liblik, T.

Success stories 2022:

Application of innovative marine environment monitoring and research methods, including a micro-litter sampler (JPI Oceans project Andromeda) and equipment for measuring carbon system parameters (project KIK21047) connected to the flow-through system of the research vessel in cooperation with SME Flydog Solutions OÜ.

TalTech R&D priority area:

- Smart maritime sector and sustainable marine environment

Field of research

- Based on Frascati Manual:
  - 1.5 Earth and related environmental sciences
  - 1.6 Biological sciences
- Based on CERCS:
  - P500 Geophysics, physical oceanography, meteorology
  - B260 Hydrobiology, marine biology, aquatic ecology, limnology
  - T270 Environmental technology, pollution control

Important foreign cooperation partners:

- Finnish Marine Research Infrastructure FINMARI partners Finnish Meteorological Institute and Finnish Environment Institute
- Baltic Sea Research Institute, Warnemünde (IOW), Germany
- Japan Fisheries Research and Education Agency

Important Estonian cooperation partners:

- University of Tartu (Estonian Marine Institute, Institute of Ecology and Earth Sciences, Institute of Physics)
- Estonian Environmental Research Centre
- Flydog Solutions Ltd

## Research Group on Modelling and Remote Sensing of Marine Dynamics

Research Group Leader: Prof. URMAS RAUDSEPP, Tallinn University of Technology, School of Science, Department of Marine Systems; [urmas.raudsepp@taltech.ee](mailto:urmas.raudsepp@taltech.ee); +372 53437292

Members: V. Alari, J. Elken, P. Lagemaa, I. Maljutenko, A. Männik, S. Rikka, L. Sipelgas, R. Uiboupin

Postdoctoral fellows: N. Janatian

PhD students: A. Aavaste, A. Barzandeh, M.-L. Kasemets, M. Kõuts, A. Lerner-Vilu, S. Pärt, L. Siitam, N. Vidjajev

Non-academic members: J.-V. Björkqvist, K. Vahter, S. Verjovkina, S. Aas.

Keywords: Oceanography, meteorology, numerical modelling, remote sensing, machine learning

### Overview:

The research team is conducting oceanographic process research based on scientific analysis to find cause-and-effect relationships. Innovative (operational) methods for monitoring the marine environment and analyzing changes are being developed, incl. weather forecasting and climate models applied to supercomputers, to elucidate the mechanisms of atmospheric and ocean interactions; and machine learning based algorithms for satellite image processing and model data analysis. The research group has a long experience in developing applications / methods of operational oceanography, the outputs of which are information provided to the public and public authorities on water level variability, ice conditions and other parameters of marine physics. The research group is making a significant contribution to the pan-European Copernicus program. In scientific process research and applied research, the strength of the research team is the use of big data (mass processing) for climate studies and statistical analysis of the properties of the marine environment, as well as for finding dynamic relationships.

Methods used. Numerical modeling: operational marine forecasting models running on supercomputers (Copernicus Marine Service); atmospheric and marine models for weather, climate and process research, and for the creation and implementation of reanalysis databases. Remote sensing: optical, infrared and radar satellite imagery, drone observations and shore-based radar data to describe and assess the state of the sea and land. Operational surveys: world-class scientific equipment for the calibration and validation of satellite images and numerical models; development of on-line information technology solutions and development of innovative research equipment.

### Latest research projects:

LLMEV21136, VEU22001LM, EAG100, LLMAV22111, LLMEE22054

### Selected publications:

Raudsepp and Maljutenko, 2022, doi:10.5194/gmd-15-535-2022

Villoslada et al., 2022, Ecological Indicators, 143, 109329. doi:10.1016/j.ecolind.2022.109329

Alari et al. 2022, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 39 (5), 573–594. doi:10.1175/JTECH-D-21-0091.1

### Outstanding research results:

A climate change signal manifests itself through the extreme events in the Earth system compartments. In winter 2019/20, ocean heat content anomaly in the upper 50 m layer of the Baltic Sea of 211 MJ/m<sup>2</sup> was the highest over the period 1993– 2020. Maximum ice extent in the Baltic Sea, which has been the main indicator of the severity of ice winters in the Baltic Sea, was the lowest (38,300 km<sup>2</sup>) on record since 1720 in winter 2019/20.

Numerical models play a significant role in the development of the digital twin of the Earth system. Therefore, it is very important to assess the quality of the Earth system models. A new method for the multivariate assessment of numerical model skills uses K-means algorithm for clustering of model errors. The clustered errors are used for the spatial and temporal analysis of the model accuracy.

Blue/green economy and sustainable use of the environmental resources are the key terms for a present-day society. Following research results support this approach.



- Relative contribution of flood frequency to topsoil organic carbon concentration in Baltic coastal wetlands depends strongly on the location of the wetland and the nature of the floods. Higher flood frequencies could lead to increased topsoil organic carbon in wetlands subject to the input of estuarine sediments.
- Macroalgal cultivation is a promising circular economy solution to achieve nutrient reduction and food security. The western and southern Baltic Sea exhibited the highest farming potential for *Ulva intestinalis* and *Fucus vesiculosus*, with promising areas also in the eastern Baltic Sea. Macroalgal farming did not induce significant nutrient limitation. The expected spatial propagation of nutrient limitation caused by macroalgal farming was less than 100–250 m. Higher propagation distances were found in areas of low nutrient and low water exchange and smaller distances in areas of high nutrient and high water exchange.
- The planning procedure for district cooling as an urban system was described and implemented using the example of the city centre of Tallinn. The cooling capacity of the evaluated district was estimated at 63.2 MW. The analysis showed that free cooling with seawater can cover up to 55% of the annual cooling demand.
- A holistic approach to studies of the environmental impacts of operational shipping through presentation of an assessment framework developed and applied on a case of shipping in the Baltic Sea was formulated. It identifies the main areas of environmental degradation caused by shipping and potential improvements through legislation and technological development.

#### TalTech R&D priority area:

- Smart maritime sector and sustainable marine environment
- Valorisation of natural resources

#### Field of research

- Based on Frascati Manual:  
Natural Sciences 1.5. Earth and related environmental sciences
- Based on CERCS  
P500 Geophysics, physical oceanography, meteorology;  
T181 Remote sensing;  
P176 Artificial intelligence

#### Participation of the research group members in the activities of international R&D organizations

- Jüri Elken  
International Association for the Physical Sciences of the Oceans (IAPSO), National Correspondent,  
[www.iugg.org](http://www.iugg.org)  
International research programme „Baltic Earth“, member of advisory board
- Liis Sipelgas  
Estonian delegate at ESA's Data Operations Scientific and Technical Advisory Group for Programme Board for Earth Observation (PB-EO/DOSTAG)

#### Applied research and development activities of the research group

- Oceanographic research and databases have been used to plan installations in the Estonian sea area. In connection with the planning of the LNG terminal, an analysis of extreme hydrodynamic, meteorological and ice conditions and the distribution of suspended solids in the coastal sea near the Pakri Peninsula was carried out (LLMEE22051, LLMEE22108, LLMEE22120, LLMEE22054).
- As a result of various scenario-based reviews, the location of the waste water disposal site of the planned bioproducts production complex of the Viru Keemia Group with the least environmental impact was selected (LLMEE22095).
- In order to ensure safe ship traffic in the Estonian sea area, continuous meteorological, sea level and wave monitoring stations have been installed in the coastal sea (LLMEE22010, LLMEE22011, MNKE22066).

- LainePoiss®—an ice-resistant and lightweight wave buoy was developed and tested. It calculates the surface elevation by double integrating the data from the inertial sensors of the microelectromechanical system, and transmits wave parameters and spectra in real time over cellular or satellite networks (EAG100 ).
- In order to ensure climate neutrality, studies have been carried out for the use of renewable energy (seawater thermal energy) and the planning of energy-efficient buildings that are suitable for our climate zone, taking into account possible future climate scenarios (VEU22001LM, LLME22041, LLMAE22047, LLME22025).
- An initial assessment of the Baltic Sea region concerning the limitations and potential of using wave energy as a supplement to the current renewables was conducted.
- Integration of remote sensing platforms constitutes an effective tool for revealing spatial heterogeneity of carbon storage in coastal wetlands. (KIK20023; LLMAE21069).

#### Results of ongoing projects/contracts:

- The development of the digital twin of the Baltic Sea region (LLMAV22111, LLMEV21136) enables unlimited applications for the implementation of blue/green economy and sustainable use of environmental resources applications.
- The holistic assessment methodology of the environmental impact of shipping has been applied to carry out the analysis of the environmental impact of shipping in the Estonian sea area (LLMAE22017).

#### Important foreign cooperation partners:

- Finnish Meteorological Institute
- Mercator Ocean
- Federal Maritime and Hydrographic Agency, Germany

#### Important Estonian cooperation partners:

- Estonian Marine Institute of the University of Tartu
- Estonian Environment Agency
- Tartu Observatory of the University of Tartu