

Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituut

Programmi RITA tegevuse 1 projekti „Eesti mereala keskkonna ja loodusväärtuste hindamise ja seire innovaatilised lahendused“ lõpparuanne

Innovative approaches to monitoring and assessing marine environment and nature values in Estonian sea area

Version 1, 31.03.2022

Leping: RITA1/02-60-07
Vastutav täitja: Georg Martin

Uuringu tellis ja uuringut rahastab Eesti Teadusagentuur Euroopa Regionaalarengu Fondist toetatava programmi „Valdkondliku teadus- ja arendustegevuse tugevdamine“ (RITA) tegevuse 1 „Strateegilise TA tegevuse toetamine“ kaudu.

Uuring valmis Eest Vabariigi Keskkonnaministeeriumi, Maaeluministeeriumi eesmärkide elluviimiseks.

Tartu/Tallinn 2022

1



RITA mereRITA

Sisukord

Sisukord.....	2
Executive Summary.....	3
Sissejuhatus.....	16
Projekti tegevuste kokkuvõte	25
Projekti tegevuste tulemustena esitatud soovitused	67
Kokkuvõte	70
Kasutatud allikad.....	73
LISAD	74

Executive Summary

This project was designed to answer the call “Development of innovative analytical and assessment methods for Estonian marine waters and testing them in a pilot area” under the RITA I program. Project proposal was compiled to answer most of the research questions stated in the Call by the most prominent and relevant research organizations dealing with different topics of marine research and environmental monitoring in Estonia.

Project is covering very complex topics and was aiming **to develop several new, innovative and cost-efficient methodologies** applicable for fulfilling the requirements of present day marine environmental monitoring and assessment.

All project activities were divided into “Tasks” which contained several activities. Each activity contributes to a certain “Deliverable” (See deliverable list in the Table 1).

The structure of the project proposal was developed around the two main topics - Habitats and quality of spawning grounds. So these two main topics are horizontal themes dealt with in all activities in the project. The content of the work was developed according to four main thematic strains:

1. Development of innovative methodologies for marine environmental monitoring;
2. Testing the proposed monitoring methods together with traditional approaches in pilot areas in Estonian marine waters;
3. Development and testing the integrated assessment of cumulative impacts on marine environment and fish stocks;
4. Development of proposals for more effective monitoring and management of marine areas.

The marine environment is subject to a multitude of human pressures such as eutrophication, overexploitation, pollution, and the introduction of invasive species which act to compound with global effects from climate change and ocean acidification. Such factors act to alter the marine ecosystems changing their function and on human level the ability to provide goods and services which are expected to effect areas of enclosed and semi-enclosed seas such as the Baltic to a disproportionate extent. Knowledge on and assessment of marine systems is imperative if we are to successfully manage our valuable marine resources. Current project covered an assortment of complex issues with the aim of developing innovative and cost-efficient methodologies capable of meeting the requirements of current marine research and environmental monitoring within an Estonian framework.

Conventional marine monitoring programs include observations and analyses relying on well-established methodologies to guarantee the high quality of data and assessments. Such work is costly and time consuming limiting the ability to efficiently conduct assessments. In recent decades, new technological solutions, e.g., autonomous in-situ observations and DNA-based approaches have been developed and are widely used in marine research, their application in environmental monitoring is still rare. Such advances offer a unique opportunity for managers to reassess current practices reducing overheads and improving efficiency. In particular, these new technologies would drastically increase the amount of acquired data for the same funding spent (costs for ship time and labour), and thus, the confidence of the status assessments. However, a major challenge in implementing these practices is a lack of knowledge/guidance about what new technologies are available and how they should be most efficiently incorporated into the marine monitoring programs, especially in such a complex region as the Baltic Sea. For instance, remote sensing of chlorophyll a as a function of productivity can be utilised but the algorithms developed may not accurately simulate the Baltic sea and are still under development. As such, several methods of employing new technological solutions for the marine environmental monitoring and status assessment were tested in current project. This included autonomous high-frequency observations, remote sensing (satellite, aerial and sonar applications), eDNA analysis, and otolith microchemistry.

The dynamic nature of marine systems presents a formidable challenge for environmental management and maritime spatial planning, especially when planning is primarily ecosystem-based. Even relatively simple ecological systems display high levels of fluctuation in process and structure that are oscillatory or even chaotic. Development of frameworks that can provide realistic predictions in highly dynamic systems is a current priority, especially when complexity arises from cumulative impacts. With this in mind, we designed studies in a manner that integrate the philosophy that management contexts require large-scale maps of nature assets and assessments of cumulative human pressures on these assets. Importantly, such assessments have to be based on solid ecological understanding of cause-effect relationships between pressures and biota and the ability to deliver estimates of associated uncertainties. As such, in order to develop an analysis framework with the described properties, next generation spatial modelling methods were developed and applied. This was achieved firstly by incorporating mechanistic processes and ecological interactions, secondly by developing quantitative links between species identity and associated ecosystem services, and thirdly by predicting future scenarios with varying magnitude and diversity of human pressures. Such integration of heterogeneous data and other information sources through model structures eventually opens new horizons for ecology and environmental management by enabling species distribution analyses in much more challenging hypotheses than what are currently feasible.

As it stands, current monitoring and assessment methods are inadequate in order to provide science based information that meets new demands required for integrated and systematic assessments of the status of the marine environment. In an Estonian context marine monitoring programs have been stepwise developed during the past 25 years to fulfil the differing requirements of varying regulating instruments. The offshore part of the monitoring program is still in its majority originating from the one developed by HELCOM in 1980s. At the same time modern data requirements include ability to give spatial information and very often also high-resolution information what is not available in the present day framework based on station based low frequency data collection. As marine areas are becoming more

and more used by traditional and non-traditional economic activities the need for better data collection schemes and management guidelines to prevent overexploitation of marine resources and further deterioration of marine environment are becoming more obvious.

The work undertaken in this project generated **20 separate reports** which work towards meeting the challenges discussed in the aforementioned text. Each report answered a specific set of tasks and research questions. The following sections describe and summarise the deliverable for each report.

Autonomous measurements have become an essential component of the research in marine areas. However, their application in environmental monitoring programs is still rare. The aim of deliverable **“Methodology for spatial characterization of habitats using autonomous high-frequency in situ observations in combination with conventional monitoring, remote sensing and model outcomes.”** was to develop and test a methodology for the 3D characterization of water column habitats by applying novel technologies of *in situ* observations and combining the acquired data with information from other sources such as conventional monitoring and numerical models. The following autonomous platforms and data sources were tested in the pilot area: flow-through thermosalinograph, mounted to a research vessel; extra profiling stations along the track of conventional monitoring network; repeated measurements along a section by underwater glider and continuous recording by fixed moorings.

Conventional monitoring conducted by research vessels is still an important part of the observing system. High-quality and high vertical resolution observations in the wide range of parameters are needed for the continuity of HELCOM time-series and for the reference and calibration of other platforms. A research vessel mounted thermosalinograph provides high-resolution data in the surface layer along the ship track. The high-resolution flow-through data is especially valuable in the areas of strong gradients (straits between basins, upwelling fronts). Project team suggests switching the flow-through data to the monitoring program. Another simple way to improve the sparse spatial resolution of the monitoring network is to add extra stations. We suggest adding two stations in the open sea part of the pilot area to improve the view on the deep layer characteristics and two stations to the coastal slope from the open sea towards the Irbe Strait to capture better the coastal processes and water exchange effects with the Gulf of Riga. Dedicated analysis in the other basins must be conducted to come up with suggestions for the station network improvement there.

Work involving the Zonal underwater glider improved considerably the characterization of water column habitats in the coastal slope of the Baltic Proper. This large area is not covered by either open sea and coastal monitoring program. The running costs of a glider are relatively high, but the added value – cost ratio is much higher for a glider if compared to conventional monitoring. Running costs of two-months continuous occupation of the glider section costs less than a five-day monitoring survey with a research vessel.

Estonian monitoring system has currently only one station continuously measuring water characteristics below the surface layer. The observations in the test site well revealed the added value of a single-point mooring. Nearly saturated conditions were registered in the times of conventional monitoring visits while the continuous measurements captured several periods (up to few weeks) with considerable oxygen

depletion, thereby three periods with hypoxic conditions. We suggest seven fixed moorings with continuous recording of water column characteristics shall be deployed and established to the deep areas in the open sea (four locations), straits (two) and coastal slope (one). The annual running cost for the whole system, if it will be serviced in the monitoring cruises, is comparable to a five-day monitoring cruise.

There are no continuous current measurements established in the Estonian sea areas. The registered time-series of current profiles confirmed the earlier understanding that circulation modelling in the stratified areas is not reliable enough yet. The flow structure measurements are required to provide data about advection, the information needed to estimate horizontal fluxes of substances. We suggest continuous current observations shall be started in Estonian marine areas. In addition to the platforms dealt with in this work, complementing conventional monitoring by profiling floats (Argo) and profiling moorings should be tested and considered.

The Copernicus wave hindcast product showed great performance in the test site. We suggest the product can be well used for the habitats characterization and no major further developments are required in the wave observations/modelling field in the open sea. The Copernicus reanalysis products for the temperature, salinity and oxygen can be considered for the water habitats characterization, but site-specific analysis on uncertainties and systematic errors must be conducted. The same applies to the temperature and salinity in the operational forecast product. Oxygen in the operational product and nutrients both in the operational and reanalysis product are not reliable enough yet for the habitats characterization.

Increasing atmospheric CO₂ dissolution into seawater resulting in the predictable decrease of pH is termed 'ocean acidification', the way how to deal with this phenomenon was analysed in the deliverable **"Carbon system monitoring guidelines and acidification indicator description"**. The acidity of seawater is primarily controlled by the inorganic carbon system and refers to four measurable parameters: pH, total alkalinity (AT), pCO₂ and DIC. Although there exists guidance to monitor these parameters in the ocean, work is still needed to more accurately evaluate coastal systems.

On regional scales (OSPAR, HELCOM), ocean acidification measurements are performed but in an uncoordinated manner. Amongst European countries, only Norway has legislation and research aimed at further understanding the acidification process. Within the Baltic Sea, pH trends are heavily site dependant. As a consequence, evaluations based on the data of the current Estonian monitoring program have led to no such distinct pH trends being detected. This therefore gives a strong incentive to improve acidification monitoring in relation to temporal and spatial coverage, as well as the quality of the measurements taken.

In accordance with the objectives outlined in the sub-task, pCO₂ and pH seasonal and spatial analysis was performed in combination with pH and AT vertical distribution. Based upon the received results, suggestions were made for a preliminary monitoring program of inorganic carbon system studies. The suggestions made are contingent upon the objective pursued. When the goal is to describe acidification in the Estonian sea area, pH measurements must be conducted with high quality and sufficient spatio-temporal resolution. Inorganic carbon system parameters are value-adding also for eutrophication

assessments. In the surface layer, measurements of pCO₂ and AT can provide quantification of organic matter production rates. In the water column, pH and AT based calculated DIC results provide an evaluation of the oxygen deficiency processes.

The development of the acidification indicator is based on information obtained in the frames of the current analysis and using the structure suggested in the HELCOM Indicator Manual and previously used to describe Estonian indicators. The aim of the indicator is to evaluate the acidification of the marine environment. However, based on our current knowledge it is not possible to determine the good environmental status in absolute terms. As such, it is proposed to use the absence of a negative trend as the threshold for good environmental status.

In the report **“Improved chlorophyll-a algorithm”** the use of computer algorithms we sought to develop tools that allow for more accurate retrieval of chlorophyll-a concentrations in the Baltic Sea from Sentinel-3 OLCI imagery than that of the current pan-European services (CMEMS and EUMETSAT).

Two field work campaigns were carried out in 2019-2020 (total three days of sampling). Limited funding restricted the ability to organise field campaigns and therefore this work depended fully upon the availability of space onboard the ship to carry out the necessary measurements. Unfortunately, there were no same day Sentinel-3 OLCI match ups for the fieldwork dates (i.e. all fieldwork days were cloudy). Only 3 cloud-free satellite images from the day before or after the in-situ samplings were available with 21 unique points. As a consequence, there is too little data to develop a Baltic Sea chlorophyll-a algorithm and strictly speaking this data cannot be used for that purpose due to algorithm development protocols that do not allow more than three-hour difference between the fieldwork and satellite overpass. On the other hand, reflectance measurements were carried out on board the research vessel. This data was used to test several empirical algorithms for chlorophyll-a retrieval as well as to evaluate the performance of the atmospheric correction of Sentinel-3 data. Although the latter analysis suffers the same problem that the reflectance data and the satellite data was collected one day apart. The results of this task demonstrate that there is a strong need for a specialized project in which the collection of the bio-optical data for remote sensing algorithm development and validation is the prime aim of the work.

The Baltic Sea has three different “seasons” – spring bloom, clear water period, and summer bloom of cyanobacteria. As a consequence of this dynamic system, no atmospheric correction method works reliably in the Baltic Sea as the optical complexity of its waters is high. Consequently, the future projects must focus on collecting hundreds of in-situ match-ups (simultaneous in-situ and satellite data) from the three main seasons and different locations (e.g. river inflows with large amount of coloured dissolved organic matter). Only through proper validation of atmospheric correction methods and chlorophyll-a retrieval methods will allow us to achieve the situation where remote sensing products can be trusted in Baltic Sea monitoring.

Phytoplankton primary production (PP) forms the basis of the food chain aquatic ecosystems. Measuring PP in-situ requires time consuming incubations as well as following laboratory analysis and it is complex and expensive procedure. Consequently, the number of primary production measurements is very low while the production can vary significantly in space and time. In the report **“Estimating primary production from remote sensing”** we discussed that remote sensing and model calculations could offer a

powerful solution for temporal and spatial estimations of PP. With this in mind we aimed to validate and apply a remote sensing based bio-optical primary production model for the Baltic Sea. As such, PP was measured altogether in 4 different stations (during 2 different days). We adjusted the bio-optical model developed for optically complex lakes for Baltic Sea which produced a good result ($R^2 = 0.87$). Regrettably, with the budget limitations of this project, only 4 measuring points were able to be collected. With such few points it is not possible to apply the model to the whole Baltic Sea with satisfactory certainty, but the results of this work appear promising.

We sought to test the feasibility of using different optical remote sensing methods for mapping shallow water (maximum depth about 6 m) seabed habitats in report **“Optical remote sensing for mapping seabed habitats”**. To achieve this, field studies were carried out at four study areas in Western Saaremaa, Saaremaa Island, Estonia, in May and June 2019. The feasibility of three optical remote sensing methods were tested, they included; Airborne orthophoto (OP) mosaics produced by the Estonian Land Board (pixel size 0.2 m); Airborne hyperspectral imagery acquired by hyperspectral imager Hypspec (pixel size 0.8 m); Sentinel-2 (S2) satellite imagery (pixel size 10-60 depending on channel). On-site sampling of seabed was done using underwater video. Substrate and biotic variables were recorded at sampling sites. This included percentage coverage of seabed substrate types as well as percentage coverage of macrophytes and selected macroinvertebrates. These variables are commonly utilised seabed mapping studies in Estonia.

Machine learning techniques such as boosted regression trees, random forest and artificial neural networks, were implemented to model relationships between remote sensing variables and seabed habitat variables. Predictor variables that are commonly used in mapping studies include, water depth, wave exposure and geographical coordinates, were used in a separate set of models in order to compare the predictive performance of models with different sets of predictor variables (i.e. models with and without remote sensing data). Using the trained models, spatial predictions were made in 2 m grid covering the full extent of study areas. The predictive performance of the models was estimated based on mathematical validation and visual expert judgement. Based on the mathematical validation and visual expert judgement, we concluded that data derived from all three remote sensing methods (OP, Hypspec, S2) enabled for the improvement of the predictive accuracy of the models compared to models without remote sensing data. Additionally, the modelling method ‘random forest’ proved to be superior to other methods in terms of predictive accuracy and ease of use.

Regardless that the mathematical validation showed that the numerical improvement of prediction accuracy attributable to remote sensing data was rather limited, the visual assessment of the map layers indicated significant qualitative improvements in model predictions. Models with remote sensing data produced predictions that exhibited more natural patterns compared to those without remote sensing data. The patterns of borderlines between patches and transitions between patches of communities and habitats followed the patterns that were also visually distinguishable in the remote sensing imagery.

In regard to the Sentinel-2 satellite imagery, its low spatial resolution is inadequate for high resolution mapping of seabed habitat features in cases where there is a need to detect features with a size < 100 m. However, Sentinel-2 is a good method for mapping on larger spatial scales. The mathematical model validation showed that among benthic habitat variables, the total cover of vegetation, cover of brown

algae and cover of eelgrass (*Zostera marina*) exhibited the highest gain due to the inclusion of remote sensing variables. In terms of Hypspx, its models showed higher predictive accuracy compared to the other remote sensing methods. This can be explained by the much wider spectral coverage and higher spectral resolution of Hypspx compared to orthophotos and satellite imagery. Overall, Models with satellite imagery had a somewhat higher predictive accuracy compared to models based on orthophotos. The predictive accuracy of models with orthophoto data was the lowest and this can be attributed to the lowest spectral resolution among the methods and to the fact that orthophotos were from year 2017 while the other remote sensing material was recorded in 2019.

In report “**Methodological approach to analyse the contribution of different spawning grounds to the stock recruitment of different coastal fish**” we explored the potential for otolith microchemistry to determining the contribution of multiple pre-selected spawning and nursery grounds (referred to as fish reproduction areas) to recruitment, using pike (*Esox lucius*) as a model species. Multi-elemental signatures of pike otoliths were used as natural tags for identifying the biome (fresh or brackish water) in which a specific individual hatched, but also natal origin. Otolith Sr:Ca ratios were used to determine the maternal origin (i.e. resident or anadromous) of the sampled young-of-the-year and adult pike. Field studies were carried out at eight study areas in Western and Southern Saaremaa Island, Estonia, in June and July 2019-2020. Additionally, methodological guidelines are discussed for designing otolith microchemistry studies, including sample sizes, laboratory analyses, statistical techniques, and inferential limitations. Finally, suggestions for management applications where these techniques may be particularly useful are provided.

Depending on the habitat characteristics (i.e. salinity, vegetation, bottom cover) juvenile pike were sampled using electrofishing and/or a beach seine. Adult pike samples were obtained from local commercial fishers or from the archives of Estonian Marine Institute. The samples collected from commercial fishers were frozen and later thawed in the laboratory for otolith removal. Otoliths were manually ground with different size sandpapers until the core area was fully exposed. Juvenile and adult pike otoliths were analysed with different laser ablation inductively coupled plasma mass-spectrometry techniques to finally obtain the mmol/mol concentrations of Sr:Ca, Ba:Ca, Mn:Ca, Mg:Ca and 87Sr:86Sr ratios.

For abundance/density estimation it is easier to sample larvae shortly after hatching using the white disc method. For otolith microchemistry studies it is recommended that young-of-the-year fish should be sampled at least ca 2-4 weeks after hatching, therefore necessitating other sampling methods such as electrofishing, beach seine or small underwater detonations. Later sampling allows the ambient natal chemical signature to incorporate to the otolith, and it is also easier to handle larger otoliths. To allow for better statistical power, sample sizes should be as large as possible in terms of conservation and budget constraints. Different locations within one reproduction area should be sampled to address the potential variability of otolith natal fingerprints. If possible, 87Sr:86Sr should be used in addition to trace-element markers (e.g. Sr:Ca, Ba:Ca, Mn:Ca, Mg:Ca) to increase the rate of correct classifications and decrease the rate of incorrect classifications. If potential reproduction areas are numerous and cannot be sampled all, measures such as Bayesian statistics or manual inspection of the discriminant analysis classification results should be applied to identify individuals with unknown origin.

The final quadratic discriminant function analysis model (including $87\text{Sr}:86\text{Sr}$, $\text{Sr}:\text{Ca}$, $\text{Ba}:\text{Ca}$) had a successful reclassification rate of 87% for the juvenile pike sampled from pilot areas included to the present study. Based on these classification functions, adult pike sampled from different locations in the coastal sea were assigned to the pilot areas considered in the present study. Results stemming from the model only and after manual inspection are presented separately. According to the latter, most adult pike originated from Mullutu-Suurlaht (33%) and Oessaare Bay (18%), whereas other reproduction areas were less important comprising in total 9%. In total 28% of sampled adult pike were of unknown origin. Ten percent of adult pike were spawned to brackish water. Among the juvenile pike sampled from the reproduction areas, 43% were the progeny of anadromous pike, 30% were the progeny of freshwater resident pike, and 27% were classified as progeny of semi-residents.

Traditional methods for invasive species monitoring have been mainly based on morphology, which is a time-consuming and skill-dependent approach. In recent years, environmental DNA (eDNA) based methods are rapidly emerging as an important tool for the early detection of invasive alien species in aquatic environments. We explored this concept in report: **“Applicability of eDNA based methodology for early detection of alien (cryptic) species”**. In the frame of this study, we developed eDNA-based methods for the early detection of alien species in the Baltic Sea. Therefore, we aimed to develop eDNA-based methods for the early detection of alien species relevant to the Baltic Sea. We tested different types of enclosed filters and eDNA extraction methods to find the most suitable methodology for the Baltic Sea. A species-specific quantitative PCR and community-based NGS approach was used to identify alien species. qPCR methodology was optimized for five species (*Dreissena polymorpha*, *Neogobius melanostomus*, *Cercopagis pengoi*, *Rangia cuneata*, *Marenzelleria neglecta*). Community-based NGS analysis of the samples revealed 147 different animal genera, including 12 alien species in the studied area. In near future, developed methods can be integrated into the national environmental monitoring programs.

The feasibility of utilising different optical remote sensing methods for mapping the features (vegetation, substrate, water depth) of shallow water (mainly less than 2 m) coastal fish spawning and nursery habitats was investigated in the deliverable **“Mapping the functioning of fish spawning areas with remote sensing”**. Field study was carried out at eight study areas in Western and Southern Saaremaa Island, Estonia, in June and July 2019. The feasibility of four optical remote sensing methods was tested. They included; Drone orthophoto mosaics produced using consumer-grade aerial drone (pixel size 0.05 m); Airborne orthophoto mosaics produced by the Estonian Land Board (pixel size 0.2 m); Airborne hyperspectral imagery acquired by hyperspectral imager Hypspx (pixel size 0.8 m) and Sentinel-2 (S2) satellite imagery (pixel size 10-60 depending on channel). On-site sampling of habitat features was done using either direct visual observations or by underwater video. The following habitat variables were recorded: total percentage cover of vegetation, percentage coverage of seabed substrate types, percentage cover of macrophyte species, depth of free water column.

The visual assessment of different remote sensing imagery revealed that the freely available Sentinel-2 satellite imagery is not usable for assessing the features of spawning and nursery areas due to its low spatial resolution (pixel size of 10-60 m). The best suited method for direct visual assessment and interpretation of different features of spawning and nursery habitats, including detection of obstacles on

streams, is the drone-based imagery or video. The Random forest machine learning method was used for supervised distribution modelling of habitat variables. Optical remote sensing variables were used as predictors in the models. Models were trained based on habitat data from on-site sampling. Using the trained models, spatial predictions were made in 2 m grid covering the full extent of study areas. The predictive performance of the models was estimated based on mathematical validation and visual expert judgement. Satellite imagery was not used in modelling due to its low resolution. Based on mathematical model validation, drone orthophoto, Land Board orthophoto, and Hypspx imagery enabled to produce highly accurate model predictions but drone-based imagery is also recommended for modelling purposes because of its high spatial resolution and low cost.

Declining trends in the abundance of many fish species illustrates the urgent need to implement more informative monitoring programs and improve the efficiency of ongoing management and conservation actions. In recent years genetic monitoring programs have been increasingly applied as a valuable tool for quantifying the genetic changes of endangered or threatened populations. In this context the ability to estimate the effective population size (N_e) is especially relevant in this context because N_e , and not the census size, determines the relative effect of random genetic drift and the loss of genetic variation. We explored this concept in report **“Development and evaluation of the performance of the proposed DNAbased procedure for estimation of effective number of pike breeders in the pilot spawning areas at coastal sea of Saaremaa”**. Among the available methods, sibship assignment (SA), represents one of the most promising approaches to estimate the effective number of breeders (N_b) in a single breeding cycle. This is because SA is based on the frequency of half- and full-siblings in a population and relaxes the assumptions of random mating and lack of immigration.

To investigate this, over a period of two years sites located on Saaremaa were sampled with a total of eight potential spawning grounds being monitored. Tissue samples were collected for genetic analysis from a total of 274 juveniles (Young-of-the-Year, YOY) and 218 older pike from seven spawning grounds. Molecular screening of ten highly variable microsatellite loci was performed. Based on the frequency of fullsibblings, the effective number of breeders was the smallest in Kõiguste and the largest in Mullutu-Suurlahti and Oessaare but we also observed significant inter-year variability. In addition to estimation of effective population size, we performed for the first time a population genetic analysis of Saaremaa coastal pike. The largest genetic differences occurred between the spawning grounds of Lääne-Saaremaa (Pautsaare, Killatu) and the Gulf of Riga (Mullutu-Suurlaht, Oessaare, Kõiguste, Saastna). This shows that the flow between these two areas is minimal, whereas the pike populations of Western Saaremaa have significantly lower variability than the populations of the Gulf of Riga. The presence of significant genetic differences between spawning grounds, in turn, means that the protection and restoration of local spawning grounds is important for the protection of pike. It is also important to avoid mixing genetically diverse subpopulations and introducing fish of foreign genetic origin.

This study provided keen insights into fish population dynamics with the genetic analysis allowing for several conclusions to be drawn. Firstly, the analysis of a sufficient number of variable markers is required to obtain robust kinship estimation. In most cases, 10-20 high-variability microsatellite loci or 100-200 SNP loci are sufficient to estimate effective number of breeders. Additionally, an effective assessment of effective number of breeders using DNA-based kinship requires the analysis of a sufficient number of

juveniles randomly collected from the whole study area.

Preferably, the number of juveniles studied should be close to or greater than the actual effective population size. When assessing the size of the pike spawning stock, it is recommended that tissue samples be collected from at least 100 juveniles. Finally, if the number of samples collected from juveniles is less than the expected effective population size, the frequency of full siblings in the sample is a potentially informative parameter that reflects the effective number of breeders.

We sought to validate the methodology for assessing the status of marine broad habitat types, developed in the project activity **“Methodological guidelines for assessing status of marine habitat types in Estonian marine area”**, according to the MSFD criterion D6C5 “The extent of adverse effects from anthropogenic pressures on the condition of the habitat type” in the designated pilot area. The pilot area was selected from the study areas of activity 2.3.1 “Use of optical remote sensing for seabed habitat mapping” to compare the impact of traditionally collected seabed biota data and the distribution of habitat types modelled using optical remote sensing data in project deliverable **“Description of the status of benthic habitats in the pilot area using developed methodology and criteria”**. The Jaagarahu pilot area is located in the coastal water body of the WFD in the coastal waters of Kihelkonna Bay.

The MSFD broad habitat types were assessed using a methodology that is based on existing assessments as Water Framework Directive (WFD), Habitats Directive (HD) and additional indicators for the open sea area. The assessments of the study area were based on the assessments of the WFD quality elements benthic flora (Estonian Phytobenthos Index EPI) and benthic fauna (Zoobenthos Community Index ZKI) and HD habitat types reefs (1170), sandbanks (1110) and mudflats and sandflats (1140). Where several assessment areas overlap, the area will be assessed as ‘not good’ if one of the status assessments does not achieve the respective threshold.

Based on the monitoring data collected during the project and previously available data, the extent of the adverse effects of anthropogenic pressures on the status of the five MSFD broad habitat types (indicators D6C5.7-D6C5.11) in the Jaagarahu pilot area was assessed. According to the test assessment, the infralittoral rock (D6C5.7) and infralittoral mixed sediment (D6C5.10) habitat types had achieved good environmental status as the extent of adverse effects was low. Habitat types infralittoral sand (D6C5.8), infralittoral mud (D6.C5.9) and infralittoral coarse sediment (D6C5.11) have not achieved good environmental status.

In this work, four map layers of distribution of habitat types based on different data input, modelling scale and/or resolutions were used. The mapping methods tested had no effect on the assessment class of the habitat type indicator, but the estimates of the extent of adverse effects differed significantly in the pilot area. We concluded that any additional data collection (sonar, remote sensing, site observations) will increase the accuracy of mapping the distribution of habitat types. In order to increase the reliability of the commonly used national map layers, the number of on-site observation sampling points should be increased and the testing of remote monitoring methodology should be continued in a larger area.

As a means to describe the ecological quality of fish spawning and nursery grounds that are connected to the coastal sea of Saaremaa Island, a holistic approach was adopted to estimate the quality of fish reproduction areas in the report **“Maps of the status of spawning grounds”**. Such an approach required

the implementation of multiple data collection methodologies. In situ habitat and fish abundance observational data was collected directly at various habitats in each pilot area (habitat mapping) and was used to complement and verify the other methods of data collection. We utilised aircraft and drone orthophotos to map the overall habitat in terms of prevailing vegetation, bottom substrate, water depth and physical connection with the sea. Here, the results from in situ habitat mapping data provided input to train the model to map the entire study area. Through the use of genetics tools, juvenile pike collected from reproduction areas were assessed in terms of the total size of the pike spawning stock in each pilot area using the “effective number of breeders” parameter. Lastly, by using otolith microchemistry techniques, juvenile and adult pike collected from reproduction and feeding areas, respectively, were assessed in terms of their relative importance to each pilot area in terms of realized recruitment and accessibility of spawning areas to anadromous pike. The results showed that drone orthophotos can be used to gain a general estimation about the quality of the spawning and nursery area, but only if the visual parameters from the orthophoto are linked and validated with in situ habitat observations. For precise estimations about the quality of the spawning and nursery area, more labour intensive and expensive methods like otolith microchemistry and genetics have to be used.

Current monitoring programmes target only limited habitats of the Estonian coastal sea and are thereby inefficient in detecting the arrival and spread of the non-indigenous species. The existing citizen science programs have confirmed that given proper training, citizen scientists are able to detect and report larger invasive species (e.g. shrimps, crabs, fish) in their local areas, and the data they collect can be used by professional scientists. In the report **“Mapping non-indigenous species using citizen science”** we develop a prototype smartphone application that can be used to determine the key NIS by naked eye in the Estonian coastal sea and report the findings to central data servers. Thus, such a citizen science program provides the opportunity to enlist the public to help survey entire marine landscapes for NIS over long periods of time. Future use of citizen scientists on a national level to collect NIS location data is essential for a better understanding of the arrival and spread of NIS species across the country.

We participated in creation of a smartphone application that has a functional field guide to NIS as well as easy-to-use reporting of field observations. For each invasive species occurrence, the citizen scientists are able to record the species, provide abundance estimates of the species, and report description about the study habitat. The date of the observation and the GPS coordinates will be automatically delivered to a common database. These data will be complemented with a digital image that is required for validation purposes. This data will be then validated, summarized and shared to the public.

The dynamic nature of marine systems presents a formidable challenge for environmental management and maritime spatial planning, especially when planning is primarily ecosystem-based. Even relatively simple ecological systems display high levels of fluctuation in process and structure that are oscillatory or even chaotic. Development of frameworks that can provide realistic predictions in highly dynamic systems is a current priority, especially when complexity arises from cumulative impacts. Approaches emphasising cumulative impacts are very important in the Baltic Sea region, which is characterised by intensifying and diversifying human pressures. We described this in the report **“Methodological frame to assess cumulative impacts of anthropogenic pressures on nature assets.”**

Cumulative impacts are defined as impacts on the environment that result from several human activities and pressures acting together, as caused by past, present or any possible foreseeable actions in future and cumulative impact assessment is a way to evaluate such effects. Importantly, such assessments have to be based on solid ecological understanding of cause-effect relationships between pressures and biota and the ability to deliver estimates of associated uncertainties. As the total effect is not the sum of separate effects but interactions overwhelmingly prevail in nature, it is very important that the synergistic effects of different pressures on nature assets are also quantified and integrated into the assessment schemes. The existing assessment schemes in the Baltic Sea region as well in other European waters, however, are not yet able to incorporate such complexity.

As such, we adopted a procedure involving the meta-analysis of published or raw data that indicated separate and/or synergistic impacts (either from experimental manipulations or ecosystem changes observed before and after impact) and linked the impact data (effect-size estimates) and existing spatial prediction of different nature assets into an cumulative impact assessment framework. Some of these pressures are largely manageable and some are not (e.g. non-indigenous species) and in order to acknowledge the existing unmanageable pressures, the developed assessment scheme considers the cumulative impacts of manageable pressures in the context of unmanageable pressures. The current report shows in detail how to combine spatial patterns of human activities, distribution modelling of nature assets and meta-analysis of published or raw data into a cumulative impact assessment tool. Tool was tested and results presented in the report **“An easy-to-use online tool that calculates cumulative impacts of multiple pressures on key nature assets in pilot areas.”**

Shallow coastal ecosystems are changing at an accelerating rate due to different types of human pressures. In recent decades, several coastal fish communities have experienced significant declines in abundance due to increased and diversified human impacts. A number of direct drivers of declines have been identified (including overfishing), but there is increasing evidence that factors directly linked to the functioning of reproduction areas (i.e. spawning and nursery grounds) may also be strongly behind the observed declines. However, fish reproduction areas are often found in areas where human impacts are most pronounced. To date, it is still unclear which environmental and human factors have the greatest influence on the functioning of spawning and nursery areas. We explored this issues in the report **“Modelling the ecological status of spawning grounds of commercially important fish under changing human pressures.”**

Spawning is the most important and critical stage for the sustainability of fish communities. Therefore, it is of utmost importance to assess the performance of different rearing areas in the context of the formation of the supplement. As marine ecosystems are highly dynamic, it is important to use complex statistical models to predict the performance of nursery areas under varying levels of environmental parameters and intensities of human impacts. With this in mind, we identified the relationships between different environmental parameters, human impacts and the performance of fish nursery areas. Pike (*Esox lucius*) was chosen as a model species. The human pressures included in the models (eutrophication, fishing pressure) were not among the most important factors describing the functioning of the studied spawning/nursery areas. While eutrophication is certainly an environmental challenge in each of the pilot

sites, the most critical effects of eutrophication (hypoxia, habitat loss due to declining habitat volume) are more pronounced in mid- to late summer, when most of the young-of-the-year pike have already left the rearing areas.

This work demonstrated that the quality of coastal freshwater rearing areas for freshwater reproducing fish can be assessed using relatively simple field work settings. For an initial assessment, on-site observations during the spring-summer period (including aerial drone photography) are sufficient to determine the salinity of the area, the quality of the marine connectivity, the quantity and quality of the inflowing watercourses and the water level dynamics. In this way, it will be possible to map the entire coastal sea and the connected freshwater bodies. All of this would provide a data-driven framework to assess whether and to what extent different areas would be suitable as a (semi-)migratory fish reproduction and/or restocking areas.

In mereRITA project several activities resulted in development of recommendations either to update current marine environmental monitoring programme or other data collection activities. On the basis of these recommendations separate report was compiled **“Proposal for updating Estonian marine monitoring programme”**. In this report we analysed situation with previously identified gaps in Estonian marine monitoring programme and based on the results of the different activities of the project developed list of possible changes and additions to current monitoring programme and recommendations for further methodological developments.

Following the special request posted in the call this project developed report **“Set of criteria to define areas for developing the Blue economy.”** Report summarises understanding on criteria needed for selection of the marine areas suitable for development of different types of Blue economy. Aim of the activity was to develop the set of criteria for selection of marine areas for developing of different types of Blue economy sectors. Methodology of defining the criteria includes following steps: 1. Analysis of different requirements for marine environmental resources and environmental conditions for each of different types of Blue economy sectors. 2. Analysis and quantification of different impacts on the different components of marine environment. 3. Analysis of competitiveness or possible synergy between different types of Blue economy. 4. Development of prioritization procedure and selection criteria for Estonian marine area.

Development of different sectors of Blue economy has special requirements for resources and space. Environmental impact from this development projects also differs in great extent. These projects are usually also of very different scale compared to the development projects commonly processed under traditional EIA mechanisms. The report **“Minimum knowledge set for performing EIA of different Blue economy projects”** was developed to assist future EIA processes and give similar baseline for future EIA procedures. Deliverable includes compilation of the minimum levels of knowledge and advice on the survey and research methodology for the different ecosystem components according to different types of pressures and activities connected to Blue economy.

Sissejuhatus

Käesolevat projekti rahastab Euroopa Regionaalarengu Fond SA Eesti Teadusagentuur programmi „Valdkondliku teadus- ja arendustegevuse tugevdamise“ (RITA) tegevusest 1 „Strateegilise teadus- ja arendustegevuse toetamine“. Projekt viidi läbi konsortsiumi poolt kuhu kuulusid töörühmad Tartu Ülikoolist, Tallinna Tehnikaülikoolist ja Eesti Maaülikoolist.

Mere ökosüsteemi mõjutavad nii maismaal kui ka Läänemeres toimuvad enamasti inimtegevusest põhjustatud muutused. Paraku puudub suure osa Eesti mereala kohta kompleksne alusteave, et:

- hinnata mereökosüsteeme;
- arendada sinimajandust;
- kaitsta mereelupaikasid;
- kavandada ja rakendada asjakohasid meetmeid.

[Euroopa Liidu merestrateegia raamdirektiiv](#) kohustab iga riiki välja töötama ja kasutusele võtma meetmeid, mille eesmärgiks on:

- kaitsta ja säilitada merekeskkonda, hoida ära selle seisundi halvenemine või taastada võimaluse korral mereökosüsteemid piirkondades, kus need on kahjustatud;
- hoida ära ja vähendada heiteid merekeskkonda, et järk-järgult kõrvaldada reostus ning tagada, et see ei mõjutaks ega ohustaks oluliselt mere elustiku mitmekesisust, mere ökosüsteeme, inimese tervist ega mere õiguspäraseid kasutusviise.

Mereala keskkonnaseisundit ja inimtegevuse mõju on seni hinnatud punktipõhistel ja aegridade-kesksetel vaatlustel ning analüüsidel – paraku on see taganud pikaajalise seireteabe vaid kindlate seirejaamade kohta. Et analüüsi aluseks saaks võtta ökosüsteemi tervikuna, tuleb mereala keskkonnaseisundit ning inimtegevuse mõju sellele hinnata pindalalisest aspektist – selleks on vaja luua uuenduslikud teaduspõhised seire- ja hindamismeetodid. Kuigi uued tehnoloogilised lahendused (näiteks sõltumatud *in-situ* vaatlused ja DNA analüüsil põhinevad meetodid) on mereteadusuuringutes laialdaselt kasutusel, on nende rakendamine keskkonnaseires endiselt harv.

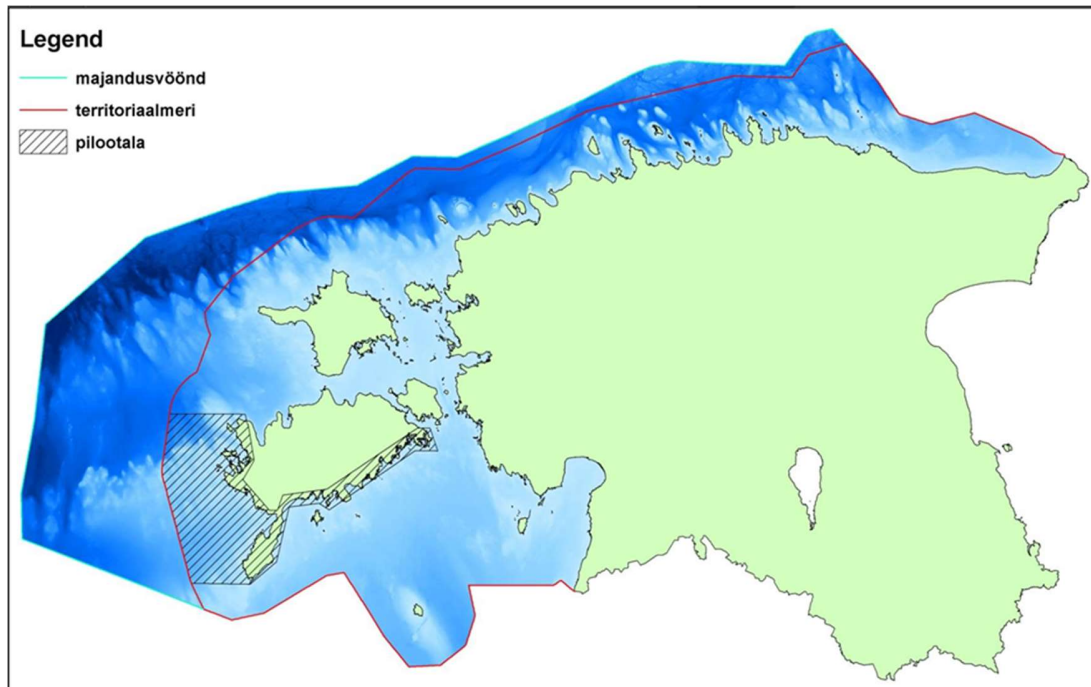
Projekti „Eesti mereala innovaatiliste analüüsi- ja hinnangumeetodite arendamine ning testimine pilootalal“ (mereRITA) eesmärgiks oli arendada mereala seire-, analüüsi- ja hindamismeetodeid, mis aitavad merestrateegia ja [Euroopa Liidu loodusdirektiivi](#) nõuetest lähtuvalt hinnata mereala seisundit ning seda mõjutavaid survetegureid.

Projekti mereRITA elluviimisel arendati välja senisest aja- ja kuluefektiivsemad hindamismeetodid, mida kasutatakse:

- merepõhja koosluste ning majanduslikult oluliste kalaliikide koelmualade keskkonnaseisundi ja survetegurite hindamisel ning
- erinevate meremajandamise, reostuskoormuse ja võõrliikide sissetalumise hindamisel.

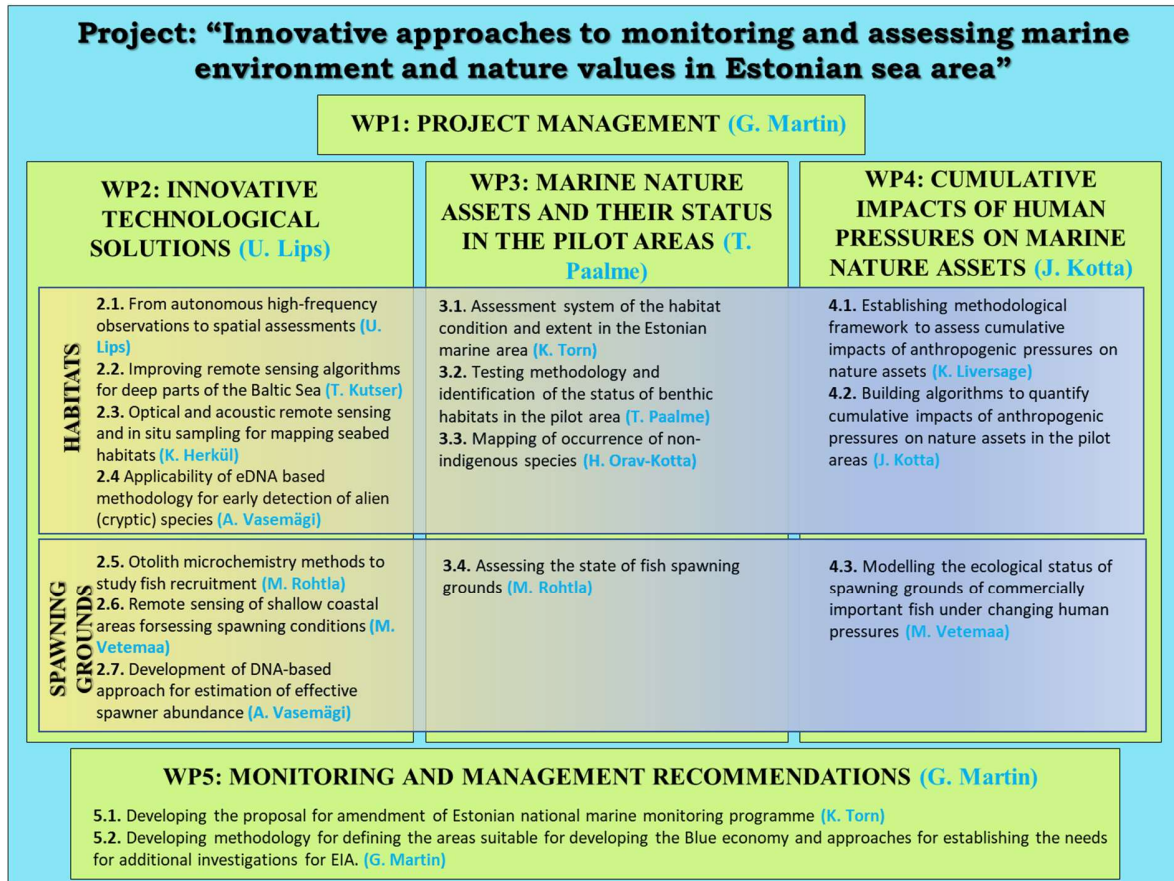
Projekti elluviimise peamised piirkonnad olid:

- Saaremaast läände jääv majandusvööndi piirini ulatuv mereala;
- Saaremaa rannikumere Kübassaare, Sõrve ja Pammana poolsaarte piirkond (kalade koelmualade uuringud);
- Muuga sadama akvatoorium keskkonna DNA-d analüüsimiseks (võõrliikide varajaseks avastamiseks).



Joonis 1. Projekti pilootalade asukoht. Lisaks viidi osa tegevusi läbi ka Soome lahe sadamates (võõrliikide uuringud).

Projekti mereRITA elluviimiseks vajalikud tegevused olid koondatud viieks teineteisega seotud töopaketi (Joonis 2):



Joonis 2. projekti tegevuste ja töopakettide skemaatiline kirjeldus.

Töopakettide kirjeldus.

1. Projektijuhtimine (WP1)

Projekti mereRITA juhtis Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituudi merebioloogia uurimisrühm. Projekti partneritest koosneva konsortsiumi tegevusi koordineeris mereinstituudi merebioloogia osakonna juhataja ja merebioloogia professor Georg Martin (PhD), projektjuhiks oli Kristina Tiivel.

2. Innovaatilised tehnilised lahendused (WP2)

Projekti elluviimisel innovaatiliste tehniliste lahenduste väljatöötamises ja arendamises löid kaasa projekti kõik partnerasutused. Selles tööpaketis arendati ning katsetati projekti käigus loodud merekeskkonna seisundi hindamise ja seire meetodeid:

- uuriti veesamba elupaikasadmetega, mis võimaldaks saada elupaikade iseloomulikest parameetritest 3D informatsiooni (TalTech-i meresüsteemide instituut, TÜ Eesti mereinstituut);
- uuriti merepõhja geoloogiat akustiliste meetoditega (TalTech-i Geoloogiainstituut);
- otoliitide mikrokeemia, kaugseire ja masinõppe meetodeid kombineerides kaardistati kalade kudealaseid (TÜ Eesti mereinstituut);
- kohandati keskkonna DNA-I (eDNA) põhinev metoodika võõrliikide varajaseks avastamiseks Läänemeres (EMÜ vesiviljeluse õppetool);
- hinnati kudevate kalade arvukust erinevate DNA-põhiste meetoditega (EMÜ vesiviljeluse õppetool, TÜ Eesti mereinstituut)

3. Mere loodusväärtused ja nende seisund pilootaladel (WP3)

Selles tööpaketis hinnati WP2-s välja töötatud uuenduslike meetodite rakendatavust põhjakoosluste ja elupaigatüüpide struktuuri, ruumilise jaotumise, suuruse, funktsiooni ja keskkonnaseisundi hindamisel. Hinnangu põhjal koostati soovitused ja ettepanekud kaasaegsete mereuuringute meetodite edasise kasutuspotentsiaali kohta. Muuhulgas hinnati katsetatud meetodite rakendamisel ilmnunud eeliseid ja puuduseid Läänemere tingimustes ning võrreldi meetodeid hetkel riiklikus seires kasutusel olevatega.

Seirealastest ja kaitsekorralduslikest soovitusi (vt WP5) arvesse võttes tehti ettepanekud uute mere-seire meetodite rakendamiseks riiklikus keskkonnaseire programmis.

Tööpaketis loetletud töid viisid läbi TÜ Eesti mereinstituudi erinevad töörühmad.

4. Survetegurite kumulatiivsed mõjud loodusväärtustele (WP4)

Käesoleva tööpaketi käigus töötati välja metoodika, mis võimaldab hinnata erinevate inimtegevuste ja nendest tegevustest tulenevate survete kumulatiivset mõju Eesti mereala loodusväärtustele. Vaatluse all olid:

- süvendamine;
- kaadamine;
- mineraalide kaevandamine;
- tuuleparkide rajamine;
- vesiehitus;
- vesiviljelus, sh vetika- ja karbikasvatus;
- vetikapüük;
- töõnduslik kalapüük;
- merekeskkonna rikastamine toitainetega;
- turism;
- võõrliikide sissetalumine.

Survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise aluseks on faktilistele andmetele toetuv mõjumaatriks, milles kirjeldatakse matemaatilisi seoseid eelnevalt loetletud erinevate inimkasutuste intensiivsuse ja keskkonnamõju ulatuse vahel. Leitud seosed võtavad arvesse piirkondlikku elustiku iseloomu. Kasutatud meetodika võimaldab mõjude kombineerumist summeerumise, kompenseerimise ja muude vastastikmõjude kaudu.

Loodav kumulatiivse mõjude hindamise meetodiline raamistik on dünaamiliselt täiendatav nii alusandmete kihtide kui ka inimkasutuse interaktiivsete mõjude maatriksi osas. Loodud meetodikat testitakse erinevates ruumilistes modelleerimisülesannetes, kus hinnatakse olulisemate inimtegevuste kumulatiivset mõju valitud loodusväärtustele, sealhulgas kalade koelmualade seisundile tänapäevaste ja tuleviku keskkonnatingimuste juures. Kumulatiivsete mõjude hindamise meetodika võimaldab erinevatel huvirühmadel läbi mängida erinevaid ruumialduse stsenaariume ning hinnata nende stsenaariumite potentsiaalse keskkonnamõju ulatust.

Tööpakettis loetletud töid viisid läbi TÜ Eesti mereinstituudi erinevad töörühmad.

5. Seirealased ja kaitsekorralduslikud soovitused (WP5)

Eelnevate tegevuste käigus kogutud andmete ja muu teabe põhjal koostati ettepanekud olemasoleva mereseire programmi muutmiseks ning täiendamiseks. Lisaks on kogutud materjal aluseks ja teaduspõhiseks sisendiks mitmetele loodavatele õigusaktide ja juhenditele nagu:

- mereala planeeringule;
- veemajanduskavadele;
- merestrateegiale;
- keskkonnaseisundi hindamisele;
- kalapüügi korraldamisele jne.

Tööpaketiga olid seotud [kõik projekti partnerid](#).

Projekti tulemusena valmisid 20 temaatilist aruannet, mis on avaldatud projekti kodulehel <https://sisu.ut.ee/mererita/tulemused>. Temaatiliste aruannete loend on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Projekti käigus valminud temaatimiste uuringute loend/List of deliverables

Aruande kood/Report Code	Aruande pealkiri/Title of the report
2.1.1.	Mere elupaikade kirjeldamise parandamise võimalused kasutades autonoomseid mõõtmisi ja andmeprodukte (<i>Methodology for spatial characterization of habitats using autonomous high-frequency in situ observations in combination with conventional monitoring, remote sensing and model outcomes</i>)
2.1.2.	Anorgaanilise süsinikuringe seiramise soovitused Eesti merealal ja hapestumise indikaator (<i>Carbon system monitoring guidelines and acidification indicator description</i>)
2.2.1.	Läänemere klorofüll-a algoritm (<i>Improved chlorophyll-a algorithm</i>)
2.2.2.	Primaarproduktiooni hindamine kaugseire abil (<i>Estimating primary production from remote sensing</i>)
2.3.1.	Optilise kaugseire kasutamine merepõhja elupaikade kaardistamisel (<i>Optical remote sensing for mapping seabed habitats</i>)
2.3.2.	Merepõhja geoloogia: geofüüsikalised kaugseire meetodid ja setteuuringud (<i>Seabed geological inventories: acoustic profiling and sediment survey</i>)
2.4.1.	eDNA meetodi väljaarendamine (krüptiliste) võõrliikide varajaseks tuvastamiseks (<i>Applicability of eDNA based methodology for early detection of alien (cryptic) species</i>)
2.5.1.	Otoliiidi mikrokeemia meetodite kasutamine kalade täiendi tekkimise uurimisel (<i>Methodological approach to analyse the contribution of different spawning grounds to the stock recruitment of different coastal fish</i>)
2.6.1.	Optilise kaugseire kasutamine kalade kude- ja turgutusvalade kaardistamisel (<i>Mapping the functioning of fish spawning areas with remote sensing</i>)

2.7.1.	DNA-põhise meetodika välja töötamine ja tõhususe hindamine haugi efektiivse kudekarja suuruse seiramiseks Saaremaa rannikumeres (<i>Development and evaluation of the performance of the proposed DNAbased procedure for estimation of effective number of pike breeders in the pilot spawning areas at coastal sea of Saaremaa</i>)
3.1.1.	Mereliste elupaigatüüpide seisundi seire ja hindamise meetodika (<i>Methodological guidelines for assessing status of marine habitat types in Estonian marine area</i>)
3.2.1.	Mereliste elupaigatüüpide seisundi hindamise meetodika testimine pilootalal (<i>Testing the methodology and assessment of extent and condition of habitat types based on HELCOM HUB</i>)
3.3.1.	Võõrliikide kaardistamine rahvateaduse abil (<i>Mapping non-indigenous species using citizen science</i>).
3.4.1.	Koelmualade kvaliteedi hinnangud tüüpelupaikades (<i>Maps of the status of spawning grounds</i>)
4.1.1.	Survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise raamistik (<i>Methodological frame to assess cumulative impacts of anthropogenic pressures on nature assets</i>)
4.2.1.	Veebipõhine tööriist hindamaks survetegurite kumulatiivset mõju loodusväärtustele (<i>An easy-to-use online tool that calculates cumulative impacts of multiple pressures on key nature assets in pilot areas</i>)
4.3.1.	Majanduslikult oluliste kalaliikide koelmualade ökoloogilise seisundi modelleerimine muutuvate survetegurite foonil (<i>Modelling the ecological status of spawning grounds of commercially important fish under changing human pressures</i>)
5.1.1.	Eesti merekeskkonna seireprogrammi täiendamise ettepanek (<i>Proposal for updating Estonian marine monitoring programme</i>)
5.2.1.	Sinimajanduse arendamise asukoha valiku kriteeriumid (<i>Set of criteria to define areas for developing the Blue economy</i>)
5.2.2.	Sinimajanduse keskkonnamõjude hindamise miinimumnõuete koostamine Sinimajanduse projektidele (<i>Minimum knowledge set for performing EIA of different Blue economy projects</i>).

Projekti tegevuste kokkuvõte

2.1.1. Mere elupaikade kirjeldamise parandamise võimalused kasutades autonoomseid mõõtmisi ja andmeprodukte (Methodology for spatial characterization of habitats using autonomous high-frequency in situ observations in combination with conventional monitoring, remote sensing and model outcomes)

Autorid: Fred Buschmann, Taavi Liblik, Nelli Rünk, Kai Salm, Oliver Samlas, Stella-Theresa Stoicescu, Irina Suhhova

Parima pildi nähtuste kohta meres annab erinevate *in-situ* mõõteplatvormide ning satelliidi- ja numbriliste mudelite produktide integreerimine. Käesoleva töö eesmärgid olid: 1) kombineerida konventsionaalne seire autonoomsete mõõtmiste ning numbriliste mudelite ja satelliidi produktidega; 2) tuua välja autonoomsete mõõtmiste ja produktide potentsiaalne lisandväärtus mereala elupaikade ruumilisel kirjeldamisel; 3) teha ettepanekud autonoomsete mõõtmiste lülitamiseks mereseire programmi. Töös testiti järgnevaid platvorme/seadmeid/meetodeid: Uurimislaevale paigaldatud läbivoolusüsteem; uurimislaevaga tehtavad täiendavad mõõtmisjaamad avamereseire jaamade vahel; Allveeliuguri mõõtmised; Hoovusmõõtmised punktis ja hoovuste profileerimine; Vee karakteristikute pidevmõõtmine punktis. Lisaks hindasime Copernicuse mereteenuse füüsikaliste ja biogeokeemiliste mudelite reanalüüsi ja operatiivse produkti võimekust.

Klassikalised, uurimislaevalt tehtud vaatlused on pikaajaliselt hästi sisse töötatud seiremetoodika, mis on läbi HELCOMi riikide vahelise koostöö regionaalselt harmoniseeritud ja aktsepteeritud, kuid ei kirjelda mitmeid meres toimuvaid protsesse piisava ajalis-ruumilise lahutusega. Viimastel aastakümnetel on mereuuringutes oluliselt kasvanud autonoomsete platvormide ja kaugseire roll. Suhteliselt hästi on mõõtmistega kaetud Soome lahe keskosa. Risti lahte domineerivad protsessid on pinnakihis edukalt jälgitavad Tallinn-Helsingi ferrybox süsteemiga, piki lahte gradiendid Tallinn-Stockholmi ferryboxiga ning veesamba vertikaalse struktuuri aegread Keri jaama profileerija abil. Avamere seire uurimislaevalt täiendab autonoomseid vaatluseid 3D ruumiliste hetkevaadetega kuus korda aastas. Ülejäänud Eesti merealadel, sh. käesoleva projekti pilootalal, ei ole seis nii hea, mistõttu soovitame kaaluda järgmisi uuendusi seireprogrammis:

- Laiendada jaamade võrku nii, et see oluliselt ei pikendaks avamere seire kestust. Pilootalal lisada programmi seirejaamad Ava2, Ava4, Ava5-6 (Ava5 ja Ava6 vahel) ja Ava7. Jaamad Ava2 ja Ava4 aitaksid infoga täita jaam 85 ning vastavalt jaam H2 ja jaam 32 vahele jäävat mõõdistamata sügavamalt mereala. Jaam Ava5-6 täidab olulise tühimiku jaamade 32 ja 34a vahelisel rannikunõlval. Täiendav jaam Ava7 annab infot dünaamilise Irbe väina kohta, mis on oluline kitsus Liivi lahe ja Läänemere avaosa vaheliste voogude seisukohalt. Nende jaamade lisamise hind seireprogrammi on ca 8000 eurot aastas. Ülejäänud Eesti merealal tuleks täiendavate jaamade lisamise ettepanekuks teha eraldi analüüs.

- Lülitada seireprogrammi uurimislaeva läbivoolusüsteemiga andmete kogumine. Läbivoolusüsteemiga mõõtmiste suurim lisandväärtus seisneb gradientide täpsuse tuvastamises. Täienduse aastane kulu on ca 7000 eurot.
- Kaaluda Saaremaast läänes asuva liuguri püsitranssekti lisamist seireprogrammi, sest olemasolev seire ei kata suurt ala jaam 85 ja Saaremaa ranniku vahel. Aastaringse seire käivitamine vajab investeeringut 300 000 eurot ja aastane kulu on ca 100 000 eurot. Kui piirduda kahe kuuga aastas, siis on vajalik investeering 150 000 eurot ja aastane kulu ca 15 000 eurot.
- Alustada veesamba parameetrite pidevmõõtmisi seitsmes asukohas: basseinide süvikutes (Narva lahes; Liivi lahes; Läänemere avaosa põhjabasseinis (jaam H2 läheduses) ja lõunaosas (jaam 32 läheduses); rannikunõlval (käesoleva projekti piirkonnas, Läänemere avaosas); väinades (Irbe väin, Väinamere keskosa seirejaam V15). Seitsme poijaama käitamise aastane kulu oleks ca 20 000 eurot ja käivitamise investeering ligikaudu 210 000 eurot. Viimasest ligikaudu pool on TalTech merefüüsika osakond juba edukalt taotlenud. Pidevmõõtmised võimaldavad piirkonna kohta anda adekvaatset ja täpset infot alates paarist tunnist kuni kliimaatiliste ajamastaapideni välja.
- Alustada Eesti merealadel pidevate hoovusmõõtmistega, soovituslikult samades asukohtades, mis toodud eelmises punktis ja Keri avamere jaamas. Püsivad hoovusmõõtmised Eesti avamerialadel puuduvad. Hoovused annavad olulist informatsiooni adveksiooni, sh. ainete transpordi kohta.

Copernicuse lainesimulatsiooni produkt töötab ja sobib hästi avamere elupaikade kirjeldamiseks. Seega ei ole lainetuse vaatlusvõrgu või simuleerimise arendamiseks avamerel edaspidi suuremaid investeeringuid vaja teha.

Copernicuse reanalüüsi produktil on temperatuuri, soolsuse ja hapniku osas hea potentsiaal, kuid kasutaja peab nende andmete usaldusväärseks rakendamiseks neid vastavas piirkonnas verifitseerima, andma hinnangu määramatuse kohta, leidma süstemaatilised vead. Operatiivse prognoosimudeli täpsus on tunduvalt madalam. Temperatuuri ja soolsuse puhul võib andmetest peale valideerimis-analüüsi tegemist mingit kasu ikkagi olla. Biogeokeemiliste näitajate osas on operatiivse mudeli tulemused praegu reaalsusest liiga kauged, et neid saaks elupaikade kirjeldamisel kasutada.

2.1.2 Anorgaanilise süsinikuringe seiramise soovitused Eesti merealal ja hapestumise indikaator (Carbon system monitoring guidelines and acidification indicator description)

Autorid: Silvie Lainela ja Urmas Lips

Merevee hapestumine on merevee pH langus, mis on põhjustatud suureneva atmosfäärse CO₂ neeldumisest merevees. Hapestumise, st anorgaanilise süsinikuringe seisukohast olulisi seireparameetreid on neli: pH, CO₂ partsiaalrõhk (pCO₂), üldleeliselisus (A_T) ning lahustunud anorgaaniline süsinik (DIC). Globaalselt eksisteerivad juhendid nimetatud parameetrite seiramiseks ookeanis, sisemere puhul vajavad aga anorgaanilise süsinikuringe parameetrite mõõtmised eraldi käsitlust. Regionaalsel skaalal (OSPAR, HELCOM) teostatakse hapestumise mõõtmisi, kuid pigem koordineerimata. Läänemeres on näidatud, et pH trendid sõltuvad oluliselt asukohast. Praegu kehtiva Eesti riikliku mereseire raames kogutavate andmete põhjal ei ole võimalik pH trende Eesti merealal statistiliselt usaldusväärselt määrata. See toob välja tugeva vajaduse parandada hapestumise seire ajalis-ruumilist katvust ning mõõtmiste kordustäpsust.

Käesoleva projekti üheks eesmärgiks oli pakkuda välja anorgaanilise süsinikuringe seiramise soovitused Eesti merealal. Sellest tulenevalt viidi läbi pinnavee kõrge lahutusega pCO₂ ja pH sesoonsed ja ruumilised mõõtmised Läänemere avaosas koos pH ja A_T vertikaalsete profiilide registreerimisega. Saadud tulemusi analüüsiti hapestumise seiremetoodika kontekstis. Anorgaanilise süsinikuringe seiramissoovitused sõltuvad taotletavast eesmärgist. Kui eesmärk on kirjeldada merevee hapestumist, on piisav seirata vaid pH-d, kuna pH mõõtmistulemused võimaldavad otse mõõta merevee hapestumist. Teostatavad pH mõõtmised peavad olema nõutava kvaliteediga (kasutades spektrofotomeetrilist mõõteprintsipi), sagedusega (seirereiside sagedusele lisaks soovitus kuupõhised/kahe nädalase sammuga kõrge lahutusega pH mõõtmised valitud piirkondades, näiteks Tallinn-Helsingi liinil) ja ruumilise katvusega (pH muutusi hinnata Eesti merealades eraldi). Teise lähenemisena, kui on vajadus paremini mõista, miks pH muutused merekeskkonnas aset leiavad ja nende muutuste seost mere biogeokeemiliste protsessidega, mis võimaldab tulemusi rakendada ka eutrofeerumise kontekstis, on lisaks pH-le vaja teostada ka pCO₂ ja A_T mõõtmisi. Pinnavees võimaldavad pCO₂ ja A_T mõõtmised hinnata biomassi netoproduksiooni. Veesambas pH ja A_T mõõtmiste põhjal arvatud DIC sisaldused võimaldavad aga hinnata hapnikuvaegusest tulenevaid muutusi halokliinialustes kihtides.

Teiseks eesmärgiks oli välja pakkuda esmane hapestumise indikaator ja koostada indikaatori kirjeldus (avamere hapestumise indikaator). Hapestumise indikaatori väljatöötamine põhineb aruande esimeses osas välja toodud informatsioonil ning indikaatori kirjelduses lähtuti HELCOM-i *Indicator Manual*-is väljatöötatud ja Eesti indikaatorite kirjeldamisel varasemalt kasutatud struktuurist. Indikaatori eesmärgiks on hinnata merekeskkonna hapestumist (hapestumise taset). Seisundit hinnatakse avamere hindamisüksustes (vastavalt HELCOM jaotusele) ilma rannikumereta ning hinnang antakse igale avamere

osale eraldi. Praeguste teadmiste juures ei ole võimalik määrata hea keskkonnaseisundi läviväärtust pH absoluutväärtusena, seepärast on ettepanek kasutada hea keskkonnaseisundi taseme väärtusena negatiivse pH trendi puudumist.

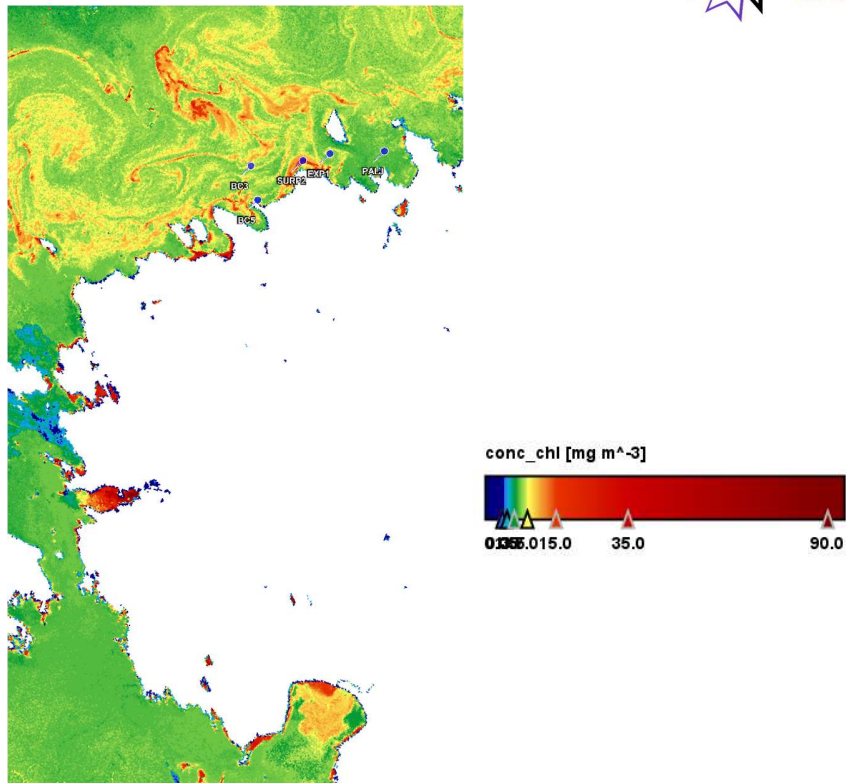
2.2.1 Läänemere klorofüll-*a* algoritm (Improved chlorophyll-*a* algorithm)

Autorid: Tuuli Soomets, Tiit Kutser

Käesoleva töö eesmärgiks oli testida ja arendada erinevate klorofüll-*a* hindamise algoritme Sentinel-3 OLCI sensori tarbeks. RITA projekti raames teostati aastatel 2019-2020 kaks ekspeditsiooni uurimislaua Salme pardal. Kahjuks mõlema ekspeditsiooni päevad olid pilves. Oli 3 päeva, millal saime pilvevaba satelliidipildi in-situ mõõtmisele eelnenud või järgnenud päeval (kahel päeval oli saadaval nii Sentinel-3A kui ka Sentinel-3B pilt. Kokku saime vaadelda paralleelsete OLCI piltide peale 33 (millest 21 unikaalset) punkti. Seda on väga vähe töötamiseks välja kogu Eesti rannikumerd hõlmavat algoritmi, mis arvutaks aastaringselt klorofüll-*a* erinevates veekogu osades. Siiski teostasime mõõdetud andmetega analüüsi ja leidime kinnitust eelnevatele töödele, et sinises ja rohelises spektriosas kanalite kasutamist klorofüll-*a* algoritmides peaks vältima ning tuleks eelistada punase spektriosa kanaleid. Testitud algoritmidest näitas kõige paremat tulemust C2RCC protsessori produkt `conc_chl` (korrelatsioonikordaja, $R^2 = 0,3$ ja keskmine absoluutne veaprotsent, MAPE = 31,4 %).

Kuna RITA programmi raames ei õnnestunud koguda mitte ühtegi andmepaari (samaaegne in-situ ja satelliidi mõõtmine), siis kasutasime kõiki (34) kahe kampaania jooksul mõõdetud in-situ peegeldusteguri spektreid, et testida valitud algoritme. Testitud algoritmidest näitas paremaid tulemusi algoritm, mis kasutab 709/620 nm kanalite spektri väärtuste suhet ($R^2 = 0,51$ ja MAPE = 22,3 %).

Kaugseire suurim eelis on selle ruumiline katvus. Allpool ongi toodud näide RITA projektis parimat tulemust näidanud klorofüll-*a* määramise meetod (C2RCC `conc_chl`) rakendatuna suuremale alale (Joonis 1). Kaugseire näitab selgesti õitsengukohad, näiteks Soome lahe avaosa.



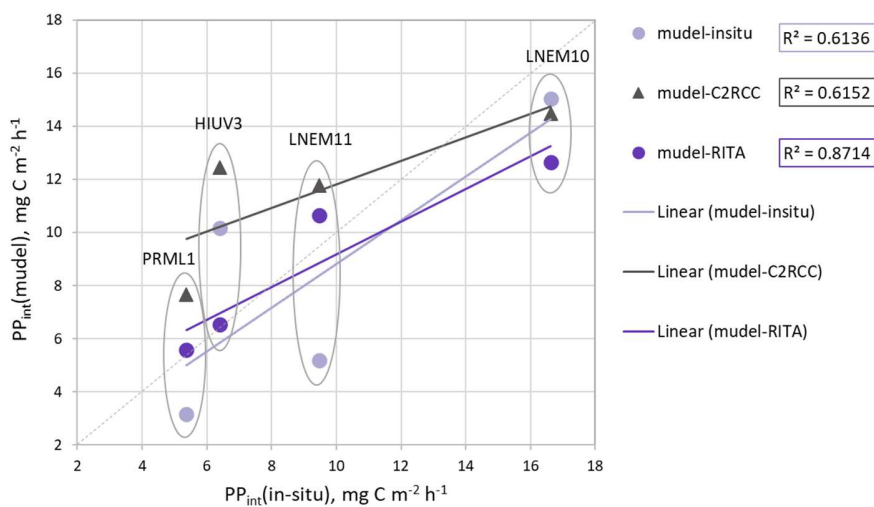
Joonis 1. Eesti rannikumere klorofüllü kontsentratsioon 08.08.2020 Sentinel-3B pildil.

2.2.2 Primaarproduktsooni hindamine kaugseire abil (Estimating primary production from remote sensing)

Autorid: Tuuli Soomets, Tiit Kutser

Käesoleva töö eesmärgiks oli valideerida ja rakendada Läänemere jaoks bio-optilist primaarproduktsooni (PP) mudelit, mis on varasemalt optiliselt keerukates vetes näidanud häid tulemusi. MereRITA projekti raames oli meil võimalik teostada *in-situ* PP mõõtmisi ($^{14}\text{CO}_2$ assimilatsioonikiiruse meetod) kahel päeval (17. ja 18.07.2020) kokku neljas mõõtejaamas Soela väina läheduses.

Läänemere jaoks kohandatud mudel (RITA) kaugseire andmetega (C2RCC protsessori produktid) andsid väga häid tulemusi ($R^2 = 0,87$) (Joonis 1).



Joonis 1. *In-situ* ja kolme erineva mudeli integraalse primaarproduktsooni (PP_{int} , $\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$) korrelatsioon erinevates mõõtejaamades. PP_{int} mudelid: mudel-insitu (sisendid mõõdetud *in-situ*), mudel-C2RCC (sisendid Sentinel-3 OLCI pildilt) ja mudel-RITA (sisendid Sentinel-3 OLCI pildilt ja kohandatud PP profiil).

Hoolimata mudel-RITA kõige madalamast täpsusest LNEM10 punkti hindamisel (absoluutne viga 24 %), hindas see mudeliversioon teisi kolme mõõtepunkti väga hea täpsusega (absoluutne viga jäi vahemikku 2,1-12,5 %). Kogu valimi absoluutne viga PP_{int} määramisel on väga hea mudel-RITA jaoks (vaid 11 %) ja ka ruutkeskmise viga on rahuldavalt madal (2,1). Teised mudelite versioonid nii häid tulemusi ei näita (Tabel 1).

Tabel 1. Statistikud primaarproduktiooni mudelitele:

determinatsioonikordaja (R^2), keskmine absoluutne protsentuaalne viga (MAPE), ruutkeskmine viga (RMSE), süstemaatiline viga (Bias) ja mõõtepunktide arv (n).

	R^2	MAPE	RMSE	Bias	n
Mudel-insitu	0,61	38,76	3,16	-1,08	4
Mudel-	0,62				4
C2RCC		43,56	3,59	2,12	
Mudel-RITA	0,87	10,68	2,08	-0,61	4

Kahjuks on vaid 4 mõõtepunkti liiga vähe (ja meil puuduvad andmed teistest PP mõõtmistest Läänemeres minevikus), et rahuldava kindlusega rakendada mudelit kogu Läänemerele, kuid antud töö tulemused on väga paljutõotavad ning mudel-RITA vajaks valideerimist suurema andmekoguga.

2.3.1. Optilise kaugseire kasutamine merepõhja elupaikade kaardistamisel (Optical remote sensing for mapping seabed habitats)

Autorid: Kristjan Herkül, Ele Vahtmäe, Tiit Kutser

Uuringu eesmärgiks oli testida erinevate kaugseire meetodite rakendatavust madalate merealade merepõhja elupaikade (põhjasubstraadi ja põhjaelustiku) kaardistamisel. Uuring viidi läbi neljal uuringualal Saaremaa läänerannikul 2019. aasta mais ja juunis.

Testitavateks kaugseire meetoditeks olid:

- Maa-ameti ortofotod (OF), piksli suurus 0,2 m;
- hüperspektraalse spektromeetriga Hypspex lennukilt kogutud andmed, piksli suurus (0,8 m);
- Sentinel-2 satelliidipildid (S2), piksli suurus olenevalt spektraalsest kanalist 10-60 m.

Elupaikade kohtvaatlused teostati peamiselt allveevideo abil. Kohtvaatlustel registreeriti põhjaelupaikade muutujate väärtused, mida hinnatakse ka tavapäraste põhjaelupaikade kaardistamise ja seire käigus: põhjataimestiku üldkatvus, põhjataimestiku ja loomastiku liikide/rühmade katvused ja põhjasubstraadi tüüpide katvused protsentuaalselt.

Matemaatiliste seoste loomiseks kohtvaatlustel tuvastatud elupaigamuutujate ja kaugseirest saadud andmete vahel testiti juhumetsa (*random forest*), võimendatud regressioonipuude (*boosted regressioon trees*) ja tehisnärvivõrkude (*artificial neural networks*) modelleerimismeetodeid. Lisaks kaugseiremuutujatele kasutati ka täiendavaid muutujaid (sügavus, avatus lainetusele, geograafilised koordinaadid), et võrrelda kas ja milles avaldub kaugseire muutujate mudelitesse lisamise mõju. Loodud mudelite abil teostati mudelennustused 2 m ruudustikus kogu uuringuala piires. Mudelennustuste headuse hindamiseks kasutati matemaatilist valideerimist ja visuaalset eksperthinnangut.

Erinevate kaugseire meetodite abil saadud mudelennustuste visuaalse eksperthinnangu ja matemaatilise valideerimise tulemusel saab väita:

- Kõigi kolme kaugseire meetodi (OF, Hypspex, S2) kasutamine võimaldab tõsta mudelennustuste täpsust võrreldes mudeliga, kus kaugseire andmeid ei kasutata.
- Juhumetsa modelleerimismeetod oli parim oma ennustuste täpsuse ja praktilise rakendatavuse poolset.
- Erinevalt matemaatilise valideerimise tulemustest, mis näitasid, et kaugseire andmete kasutamisel paraneb mudelite ennustusvõime mõõdukalt, võib visuaalse eksperthinnangu põhjal järeldada, et mudelennustuste kvaliteedi tõus on märkimisväärne. Kaugseire andmete lisamine mudelisse muutis mudelennustustes nähtavad mustrid looduslikele sarnasemaks; kaugseire abil toodetud mudelennustustes olid jälgitavad piirid ja üleminekud, mis olid ka kaugseire pildidel visuaalselt tuvastatavad.

- Erinevate kaugseire meetoditega saadud andmetel põhinevate mudelennustuste matemaatiline valideerimine näitas:
 - Kaugseire andmete lisamine parandas ilma kaugseire andmeteta mudelitega võrreldes enim taimestiku üldist ohtrust kirjeldavate muutujate, pruunvetikate ja pika meriheina valideerimistulemusi.
 - Hypex andmed võimaldavad saada teiste meetoditega võrreldes kõrgema ennustusvõimega mudeleid. Selle põhjuseks võib pidada Hypex andmete väga palju kõrgemat spektraalset lahutust võrreldes teiste meetoditega.
 - Satelliidipildid (S2) tagasid mõnevõrra nõrgema ennustusvõime kui Hypex aga kõrgema ennustusvõime kui ortofoto (OF).
 - OF mudelite ennustusvõime oli kõige madalam, mis on seletatav kahe asjaoluga: OF spektraalne resolutsioon oli kõige madalam (3 kanalit) ja ortofotod pärinesid 2017. aastast samas kui teiste meetodite andmed pärinesid 2019. aastast.

Euroopa Liidu kohustustega seotud elupaikade kaardistamise vajadusi silmas pidades saab töö tulemuste põhjal teha järgmised järeldused:

- Optiline kaugseire sobib madalate merealade (antud uuringualade näitel kohati maksimaalselt 6 m) loodusdirektiivi (92/43/EMÜ) taimestikuga seotud elupaikade vööndite kaardistustöödel täpsema tulemuse saavutamiseks võrreldes ainult kohtvaatlustel ja modelleerimisel põhineva meetodikaga:
 - karide (1170) elupaigatüübi taimestiku tunnusliikidega seotud alad: põisadru, agarik, niitjad vetikad;
 - liivamadalate (1110) elupaigatüübi taimestiku tunnusliikidega seotud alad: pikk merihein, teised kõrgemad taimed, mändvetikad.
- Merestrategia raamdirektiivi (2008/56/EÜ) merepõhja elupaikade põhitüüpide aluseks oleva HELCOM HUB substraaditüübi kaardistamisel ei parandanud optilise kaugseire andmete kasutamine matemaatilise valideerimise põhjal mudelite ennustusvõimet. Visuaalse eksperthinnangu põhjal võib siiski väita, et optiliste andmete kasutamine võimaldab looduslikele sarnasemate ruumimustritega mudelennustuste loomist.

Saadud tulemuste puhul peab arvestama, et uuringud viidi läbi Saaremaa läänerannikul, kus vee läbipaistvus on parem kui suuremal osal ülejäänud Eesti merealal. Kuna kaugseire abil merepõhja kaardistamist limiteerib vee läbipaistvus, siis ei saa uuringus saadud tulemusi ja meetodite rakendatavust otse üle kanda kogu Eesti merealale.

Tabelis 2.3.1 on toodud analüüside tulemuste ja nende interpretatsiooni kokkuvõte.

Tabel 2.3.1. Erinevate kaugseire meetodite rakendatavuse kokkuvõte. Värvitaust näitab meetodi rakendatavuse hinnangut: roheline – parim, valge – neutraalne või ebarelevantne, kollane – ebaotstarbekas või probleemne, punane – halvim või sobimatu.

Omadus	Maa-ameti ortofoto	Hypex lennukilt	Satelliit Sentinel-2
Kasutatavus merepõhja elupaigamuutujate kõrge ruumilise lahtusega (laigud < 100 m) kaardistamiseks	Võib olla sobilik, kui materjal on saadaval sobivast aastast, hooajast ja piisava kvaliteediga (materjali kogumine ei ole optimeeritud veealadele ja võib esineda palju päikesepeegeldust, lainetust, lainevahtu)	Sobilik, andis teiste meetoditega võrreldes kõige täpsemad mudelennustused	Sobimatu: piksli suurus \geq 10 m ja seetõttu ei kajasta väikesemõõtmelist elupaikade varieeruvust
Kasutatavus merepõhja elupaigamuutujate madala ruumilise lahtusega (laigud > 100 m) kaardistamiseks	vt eelmine	vt eelmine	Sobilik
Kasutatavus merepõhja elupaigamuutujate kaardistamisel väikestel uuringualadel (kuni ca 100 km²)	vt eelmine	vt eelmine	Sobilik, kui ei ole vajalik kõrge ruumilahutusega tulemus
Kasutatavus merepõhja elupaigamuutujate üle-Eestisel kaardistamisel	Ei sobi kuna üle-Eestiline OF materjal kombineeritakse mitmest erinevast aastast ja võimalik, et erinevatest hooaegadest (varakevad kuni kesksuvi).	Tehniliselt sobilik, aga ebaotstarbekas suure rahalise kulu tõttu	Meetod on olemusel sobilik, aga üle-Eestilist kaardistamist antud töös ei testitud
Kasutatavus merepõhja elupaigamuutujate aastatevaheliste	Ajaseeriaid otseselt ei uuritud kuid uuringualade olemasolevate OF-de visuaalne vaatlus näitas, et materjali kvaliteet on liiga muutlik	Ajaseeriaid ei uuritud kuid meetod on olemuselt sobilik	Ajaseeriaid ei uuritud kuid meetod on olemuselt sobilik

muutuste hindamiseks	(päikesepeegeldus, lainevaht, halb vee läbipaistvus) ajaseeriade hindamiseks. Täiendavalt on probleemiks see, et kaardistamist ei toimu igal aastal ja erinevatel aastatel võib see olla teostatud erinevatel kuudel (aprillist augustini).		
Rahaline kulukus	Tasuta	Väga kulukas	Tasuta
Operatiivsus, organisatoorne keerukus	Materjali kogumine toimub vastavalt Maa-ameti tööde plaanile	Mehitatud lennuki tellimine ei ole operatiivne organisatoorselt lihtne	Ajas ja ruumis fikseeritud ülelennud
Arendusvõimalused ja -vajadused		Vajalik vähendada lennujoonte vahelisi erinevusi, aga selle eelduseks on homogeensete sügavaveeliste alade olemasolu pildil	Vajalik testida kasutatavust kogu Eesti mereala ulatuses
Täiendavad kommentaarid		Meetod on parim kui on vaja saada võimalikult täpseid kaardistamise tulemusi	on eelis on hinnanguid töödes, kus kaardistamise on vaja suurte alade kohta ja vajalik on aastatevaheliste muutuste hindamine, sest satelliidipildid katavad väga suure ala ja materjal uueneb regulaarsete intervallidega

2.3.2 Merepõhja geoloogia: geofüüsikalised kaugseire

meetodid ja setteuuringud (Seabed geological inventories: acoustic profiling and sediment survey)

Autorid: Atko Heinsalu, Tiiu Alliksaar, Merlin Liiv, Toivo Kallaste, Kristjan Urtson, Vladimir Karpin, Sten Suuroja (EGT), Igor Tuuling (EGT), Anu Veski (EGT)

Käesolev projekt käsitleb kahte erinevat tegevussuunda: (1) erinevate seisimoakustiliste seadmetega merepõhja geofüüsikalist kaugseiret; ja (2) Eesti avamereala pikaajalise (viimased sajandid) keskkonnaseisundi hindamist põhjasetete geokeemilise koostise alusel.

Merepõhja kaugseire pilootuuringute käigus katsetati erinevaid geofüüsikalisi meetodeid ja aparatuure leidmaks efektiivseimat meetodit merepõhja geoloogiliseks kaardistamiseks. Merepõhja vertikaalse geoloogilise läbilõike kaardistamisel rakendati üheaegselt erineva sagedusega seisimoakustilisi profilaatoreid ning pindalaliseks kaardistamiseks erinevaid sonareid (külgvaate- ja lehviksonar). Geofüüsikaliste andmete usaldusväärseks interpreteerimiseks ja väljaeraldatud merepõhja substraaditüüpide verifitseerimiseks määrati haardkopaga võetud setteproovide granulomeetiline koostis.

Põhjasetete geokeemilise koostise uuringute käigus määrati erinevate dateerimismeetodite (^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{241}Am , fossiilsete kütuste põletamisel eralduvad lenduhaosakesed) abil kolme setteläbilõike vanus ning rekonstrueeriti setteparameetrite (põhjasetete orgaanilise aine, C_{org} , $N_{\text{üld}}$, $P_{\text{üld}}$ sisaldus, granulomeetiline koostis, erinevad raskmetallid) põhjal viimaste sajandite vältel aset leidnud merekeskkonna kvaliteedi muutused ning selgitati välja avamere põhjasetete toksiliste raskmetallide hea keskkonnaseisund. Kaks setteläbilõiget võeti Eesti läänepoolselt avamerealalt, üks uuritud setteprofiil pärineb Soome lahest. Eesti läänepoolselt avamerealalt varasemad sellised detailsed setteuuringud puudusid.

Geofüüsikaliste kaugseire uuringutega saadud andmete tulemusel võib kokkuvõtvalt teha järgmised järeldused:

- üheaegselt kasutatavate erinevatel sagedustel töötavate seisimoakustiliste setteprofilaatorite andmete alusel saab koostada pinnakatte ja selle all lasuva aluskivimi vertikaalseid geoloogilisi läbilõikeid. Meetod võimaldab läbindada setteid kuni aluspõhja kivimite pinnani. Sõltuvalt kasutatud lainepikkuse sagedusest on võimalik eraldada settekihte kuni 0,1 m täpsusega;
- geofüüsikalised kaugseire meetodid võimaldavad anda usaldusväärse ülevaate looduslike ja inimtekkeliste tegurite mõjul toimuvatest settimisprotsessidest (setete dünaamika, kulutus, transport ja kuhjumine). Kordusmõõdistustega (nt 3-5 aastase ajavahemikuga) saab määrata põhjasetete liikumise suuna ja mahud;
- sonaritega tehtud merepõhja pindalaline geofüüsikaline kaardistamine koos põhjaproovide lõimise analüüsiga võimaldab eristada erinevaid Folk'i klassifikatsioonidele vastavaid settelisi substraaditüüpe;

- sonarite võrdluses saab külgvaatesonariga merepõhja kiiremini kaardistada kui lehviksonariga. Merepõhja substraaditüüpide eraldamise võimekus on mõlemal meetodil samaväärne. Lehviksonari tagasipeegelduva signaali tugevuse andmete põhjal koostatud settetüüpide kaartide detailsus on võrreldes külgvaate sonariga parem.

Läänemere põhjasetete dateeritud läbilõigete geokeemilistes uuringutes saadud andmete koondanalüüsi tulemusena võib kokkuvõtvalt teha järgnevad järeldused ja soovitused:

- avamere põhjasetete orgaanilise aine sisaldus on sobilik eutrofeerumist kirjeldav mereseire indikaator. Käesolevas uuringus kasutatud paleometoodika võimaldab määratleda põhjasetete orgaanilise aine sisalduse läviväärtused;
- viia mõnede avamere seirejaamade piirkonnas läbi pinnasette fosfori eri fraktsioonide testuuringud. Sellised uuringud võimaldaksid anda hinnangut settest lähtuvatele toitainevõogudele, nn fosfori sisekoormusele. Uuringutulemustest lähtuvalt saab kaaluda ka põhjasetete fosfori sisalduse lülitamist mereseire indikaatorite nimekirja;
- Eesti mereala avamere osa põhjasetete pindmise kihi toksiliste raskmetallide sisaldus on madal ja põhjasetete keskkonnaseisund seega hea. Lähitulevikus pole vajadust mereseire raames toksiliste raskmetallide seireks avamere põhjasetetes;
- uuringute käigus täheldati, et settepinna all 5-25 cm sügavusel on kõrgenenud toksiliste raskmetallide ja radioaktiivse ¹³⁷Cs sisaldusega settekiht. Seda tuleb silmas pidada merepõhja inimtegevusest põhjustatavate füüsiliste merepõhja häiringute (nt süvendused, kaabli, torujuhtmed jm tehisrajatised) planeerimisel.

2.4.1 eDNA meetodi väljaarendamine (krüptiliste) võõrliikide varajaseks tuvastamiseks (Applicability of eDNA based methodology for early detection of alien (cryptic) species)

Autorid: Kristel Panksep, Veljo Kisand, Anti Vasemägi

Tegevuse 2.4.1 raames töötati välja keskkonna DNA põhised meetodid võõrliikide varajaseks tuvastamiseks Läänemeres. Selleks koguti 2019-2020. aastal Lohusalu ja Muuga sadama akvatooriumil veeproove eDNA eraldamiseks ja analüüsimiseks. Selleks, et leida Läänemere oludesse sobivaim meetodika, testiti proovide kogumiseks erinevaid filtritüüpe ja eDNA isoleerimiseks erinevaid eraldusmeetodikaid. Võõrliikide tuvastamiseks kasutati liigispetsiifilist ja kooslusepõhist (metatriipkoodistamine) lähenemist. Kaheksale võõrliikide siirega kaetud liigile disainiti liigispetsiifilised COI (mitokondriaalne tsütokroom-oksüdaas I geen) praimerid ning neile vastav sond. Loodud praimeritega analüüsiti kogutud veeproove nende võõrliikide tuvastamiseks. Kaheksast väljavalitud liigist saadi qPCR meetodika optimeeritud viiele liigile (ümarmudil *Neogobius melanostomus*, rändkarp *Dreissena polymorpha*, Virgiinia keeritsuss *Marenzelleria neglecta*, Mehhiko lahest pärit merikarp *Rangia cuneata*, sabaloom *Cercopagis pengoi*). Kuna kogutud proovides oli järgnevate liikide: ogajas tolmuhari *Laonome xeprovala*, harilik rändkrabi *Rhithropanopeus harrisi*, elegantne krevett *Palaemon elegans* DNA hulk väga madal, siis nendele liikidele on vaja meetodikat veel optimeerida suurema arvu proovidega. Kooslusepõhise analüüsi käigus leiti proovides 147 erinevasse perekonda kuuluva (193 liiki) looma DNAd. Kõige arvukamalt olid proovides esindatud lüljalgsed (*Arthropoda*), rõngussid (*Annelida*) ja limused (*Mollusca*). Seni Eestis leitud võõrliike tuvastati Lohusalu ja Muuga sadama veeproovide eDNA kooslusepõhise analüüsiiga 12, ühtegi uut võõrliiki ei tuvastatud.

Töö käigus testitud filtritest osutus pea kõikide liikide puhul sobivaimaks isekombineeritud kaheosaline filtersüsteem. Erinevus tuli ennekõike välja liigispetsiifilisel qPCR analüüsil. Metatriipkoodistamisel filtri tüüp statistiliselt olulist rolli ei mänginud. Samuti ei olnud olulist erinevust eDNA eraldamisemetoodika vahel.

Kuigi eDNA põhised meetodid on võrdlemisi uued, on mitmeid põhjuseid, miks on oluline nende lülitamine Eesti riiklikesse seireprogrammidesse.

- eDNA meetodika on **sobilik traditsiooniliste meetodite täiendamiseks**, kuna võimaldab eelnevalt kindlaks teha kohad, kus uuritavaid liike võiks esineda ja seejärel viia traditsiooniliste meetoditega uuringuid läbi fokuseeritult nendel aladel, kus võõrliikide DNAd leiti.
- **Kulu- ja ajatõhusus** – eDNA põhise seirega saab lihtsasti katta laiemaid alasid ja proove koguda suurema tihedusega. Samuti on laboris võimalik üheaegselt analüüsida kuni sadu proove korraga.
- **Meetod on mitteinvasiivne** – analüüsimiseks kasutatakse vaid veeproovi ja seega häiritakse loomulikku elukeskkonda võimalikult vähesel määral. See on eriti oluline vähearvukate ja haruldaste liikide seirel ning range looduskaitsega aladel.

- **Meetodi tundlikkus** – organismide DNAd on võimalik tuvastada juba väga madalate kontsentratsioonide juures. See on väga oluline võõrliikide varajaseks tuvastamiseks ning suurendab vähearvukate ja raskesti kättesaadavate liikide tabamise tõenäosust.
- **Tulemused ei sõltu eksperdi kogemustest ja liigitundmise oskustest** ja seetõttu on tulemused eri agedel tehtud analüüsitulemused võrreldavad.
- Morfoloogiliste tunnuste abil **raskesti eristatavaid arengustadiumeid** (vastsed, noorjärgud) on DNA põhiselt **võimalik täpsemini liigini määrata**.

eDNA põhine metoodika töötab kui eelhoiatussüsteem, võimaldades tuvastada võimalikke uusi võõrliike väga madalate arvukuste juures. Invasiivsete võõrliikide puhul on nende varajane avastamine äärmiselt oluline, kuna see võimaldab vajadusel rakendada kiireid vastumeetmeid. Siinkohal tulevad välja eDNA põhiste meetodite eelised, sest väga madalate arvukuste juures on traditsiooniliste meetoditega võõrliikide tuvastamine väga keeruline. eDNA meetodite abil oleks võimalik küllaltki väiksemahulise ja pisteliste proovide kogumise abil kontrollida võõrliikide levimist suurte aladel. Mõlema DNA põhise meetodiga, st metatriipkoodistamine ja üksikute liikide eDNA kvantifitseerimise abil saab üheaegselt analüüsida suurt arvu proove, metatriipkoodistamise abil saab korraga analüüsida lausa sadu proove. Ka saab eDNA proove koguda suurema tihedusega võrreldes klassikaliste loomade kinnipüüdmisel põhineva seiremetoodikaga, mis on aja- ja tööjõumahukad ettevõtmised. eDNA põhise seire teiseks eesmärgiks oleks nende olemasolevate võõrliikide, kelle levikust puudub veel piisav andmestik, võimalike esinemisalade tuvastamine. eDNA leiu korral tuleks siiski liigi olemasolu kinnitada elusate organismide tabamisega, ainult eDNA põhine tuvastamine ei ole liigi asurkonna laienemise lõplikuks tõendiks.

eDNA on riiklikes seireprogrammides kasutusel juba mitmets Euroopa riigis (Belgia, Suurbritannia, Prantsusmaa, Hispaania, Portugal) ja praeguseks väljatöötamisel on DNA põhise monitooringu standardid bioloogilistele kvaliteedielementidele liitmaks need EL Veepoliitika ja EL Merestrateegia raamdirektiivi (2000/60/EÜ ja 2008/56/EÜ). Peame oluliseks Eesti valmisolekut eDNA põhiste meetodite liitmiseks riiklikesse seireprogrammidesse ja seda nii mere kui mageveekogude seires, mistõttu soovime alustada konkreetse eDNA põhise seireprogrammi väljatöötamisega selgitamaks välja võimalikud esialgsed proovide kogumise alad ning tihedus.

2.5.1 Otolüüdi mikrokeemia meetodite kasutamine kalade täiendi tekkimise uurimisel (Methodological approach to analyse the contribution of different spawning grounds to the stock recruitment of different coastal fish)

Autorid: Mehis Rohtla, Roland Svirgsden, Markus Vetemaa

Tegevuse otseseks eesmärgiks oli luua metodoloogiline raamistik erinevate otolüüdi mikrokeemia uurimuste läbiviimiseks ning testida meetodi potentsiaali Lõuna- ja Lääne-Saaremaa magedaveelistes rannikuveekogudes kudevate kalade näitel. Keskenduti kala sünnipäritolu ja maternaalse elukäigu väljaselgitamisele, mis on kalamajanduslikult kõige olulisemad meetodid. Teisalt oli antud tegevus vajalik, et välja selgitada pilootalade tõeline ehk nõ realiseerunud kvaliteet kalade taastootmisaladena, mida saaks potentsiaalselt hiljem seostada erinevate kaugseire indikaatoritega, mis on lihtsama vaeva ja kuluga omastatavad (tegevused 3.4.1, 4.3.1). Mudelliigiks valiti tööde käigus haug (*Esox lucius*), sest tegemist on rannikumeres laialt levinud ja suhteliselt hõlpsasti tabatava liigiga. Lõppkokkuvõttes oli töösse võimalik kaasata 5 pilootala, kuigi uuriti veel 3 pilootala, mis jäeti andmete vähesuse tõttu edasisest tööst välja. Välitööde käigus koguti andmeid ka tegevuste 2.6.1 ja 2.7.1 tarbeks.

Tegevuse tulemusel koostasime metodoloogilise kirjelduse otolüüdi mikrokeemia analüüsi erinevatest aspektidest alates proovide kogumisest kuni statistilise andmeanalüüsini. Testisime sünnipäritolu ja maternaalse elukäigu määramise meetodeid pilootaladel.

Tegevuse tulemusel selgus, et samasuviste kalade tabamine taimestikurikastes veekogudes on kriitilise tähtsusega ning selle jaoks tuleb planeerida piisavalt ajalist ressursi ja vahendeid ning valida kõige optimaalsem tabamise meetod, mis varieerub veekogude vahel. Taimestikurikastel aladel on tõenäoliselt parimaks lahenduseks väikeste veealuste detonatsioonide kasutamine ujupõiega kalade kogumiseks – selle meetodi kasutatavust Eesti kontekstis tuleb aga tulevikus veel testida.

Viielt pilootalalt pärit samasuviste haugide otolüüdi keemiline koostis erines märgatavalt pilootalade vahel ja samade kalade (kudealadele) nõ tagasi klassifitseerimise edukus oli väga kõrge. Võimaluse korral tuleks lisaks kasutada jälgelementidele (Sr:Ca, Ba:Ca, Mn:Ca, Mg:Ca) ka $^{87}\text{Sr}:$ ^{86}Sr , sest klassifitseerimise edukus paranes 69 protsendilt 90 protsendini kasutades kõiki markereid koos. Samasuviste haugide andmestik oli aluseks merest püütud täiskasvanud kalade päritolu määramiseks ja nõnda pilootalade suhtelise osatähtsuse väljaselgitamisel. Samasuviste valimi suurus võiks olla piisavalt suur tagamaks kogu (või vähemalt suurema osa) võimaliku varieeruvuse kaasamise sõrmejälje analüüsi. Ühtlasi tuleks suuremad veekogud jagada omakorda osadeks ning kui tuvastatakse nende osade vahel süstemaatiline erinevus, siis tuleks need sõrmejälje analüüsi kaasata eraldi (ala)rühmadena. Maternaalse elukäigu määramise juures

on väga oluline transektide positsioneerimine üle otoliidi tuuma ala või võimalikult tuuma lähedale. Minimaliseerida tuleks nii inimlikest (nt tuuma asukoha ebatäpne positsioneerimine) kui ka tehnilistest (nt laseri nihkumine eelnevalt märgitud transektist) faktoritest tulenevate võimalike vigade esinemise tõenäosust.

Analüüsidest merest püütud täiskasvanud haugede selgus, et täiendi mõttes olid kõige produktiivsemad koelmud Mullutu-Suurlaht ja Oessaare laht, millede osakaal koguvälimist oli vastavalt 33% ja 18%. Meres sündinud haugide osakaal oli 10%, mis on identne tulemus varasemalt Väinameres leituga. Meres sündinud haugide suhteliselt väike osakaal viitab selgelt meres kudeva haugi kehvale olukorrale kogu Eesti rannikumeres, kuid samas rõhutab ka mageveeliste taastootmisealade suurt tähtsust rannikumere haugivaru täiendi moodustumisel.

Maternaalsete elukäikude osakaalud erinesid uuringualade lõikes märkimisväärselt. Üldvälimist moodustasid siirdehaugi järglased 43%, kuid üllatavalt kõrge oli ka magevee haugi järglaste osakaal 30% näol. Kakkümmend seitse protsenti samasuvistest haugidest olid aga „semi-residentide“ järglased. Maternaalse elukäikude mitmekesisus pilootaladel viitab erinevate elukäigu strateegiatega haugide esinemisele, mis on äärmiselt vajalik asurkonna jätkusuutlikkuse tagamiseks. Ka näitab see magevees paikset elavate haugiasurkondade olulisust rannikumere haugiasurkondade täiendi moodustumisel.

2.6.1. Optilise kaugseire kasutamine kalade kude- ja turgutusalade kaardistamisel (Mapping the functioning of fish spawning areas with remote sensing)

Autorid: Kristjan Herkül, Mehis Rohtla, Roland Svirgsden, Ele Vahtmäe, Tiit Kutser, Jonne Kotta, Markus Vetemaa

Uuringu eesmärgiks oli testida erinevate kaugseire meetodite rakendatavust mererannikuga seotud kalade kude- ja turgutusalade omaduste (veekogu põhjasubstraat, põhjataimestik, kaldaveetaimestik, vaba vee sügavus) kaardistamisel. Uuring viidi läbi kaheksal uuringualal Saaremaa lääne- ja lõunaosas 2019. aasta juunis ja juulis.

Kaugseire meetoditeks olid droonipõhised ortofotod, Maa-ameti ortofotod, hüperspektraalse spektromeetriga HySpex lennukilt kogutud andmed, Sentinel-2 satelliidipildid.

Elupaikade kohtvaatlused teostati otseste visuaalsete vaatlustena või allveevideo abil. Kude- ja turgutusalade iseloomustamiseks kasutatavad elupaigamuutujad olid põhjataimestiku üldkatvus, põhjaelupaiga või põhjasubstraadi klass, vaba vee sügavus, mändvetikate katvus, muda katvus, kõva põhjasubstraadi katvus.

Erinevate meetoditega kogutud kaugseire materjali visuaalne hinnang näitas, et tasuta kättesaadava satelliidi Sentinel-2 pildimaterjal ei sobi oma madala ruumilise lahutuse tõttu (piksel 10–60 m) väikesemõõtmeliste kude- ja turgutusalade ja nendega seotud omaduste hindamiseks. Parim kulutõhus meetod elupaikade karakteristikute otseseks visuaalseks interpreteerimiseks, nt kalade rändeteede ja nendel olevate takistuste hindamiseks, on droonipõhine ortofotomosaik või ka tavapärased ortokorreksioonita drooniga teostatud aerofotod ja videod.

Matemaatiliste seoste loomiseks kohtvaatlustel tuvastatud elupaigamuutujate ja kaugseirest saadud andmete vahel kasutati juhumetsa (*random forest*) modelleerimismeetodit. Loodud mudelite abil teostati mudelennustused 2 m ruudustikus kogu uuringuala piires. Mudelennustuste headuse hindamiseks kasutati matemaatilist valideerimist ja visuaalset eksperthinnangut. Modelleerimisel ei kasutatud satelliidipilte nende madala ruumilise lahutuse tõttu. Mudelennustuste matemaatiline valideerimine näitas, et Maa-ameti ortofoto, droonipõhine ortofoto ja Hypsrex andmete kaks erinevat versiooni (12 valitud kanalit ja 12 esimest peakomponentanalüüsi komponenti) võimaldasid kõik kõrge ennustusvõimega mudelite loomist. Erinevatel kaugseire andmetel põhinevate mudelite ennustusvõimed olid sarnased ja ühe parima väljatoomine ei olnud võimalik. Hypsrex andmete versioonide võrdluses oli kanalipõhine marginaalselt madalama ennustusvõimega kui peakomponendipõhine versioon. Tabelis 2.6.1 on toodud analüüside tulemuste ja nende interpretatsiooni kokkuvõte.

Tabel 2.6.1. Erinevate kaugseire meetodite rakendatavuse kokkuvõte. Värvitaust näitab meetodi rakendatavuse hinnangut: roheline – parim, valge – neutraalne või ebarelevantne, kollane – ebaotstarbekas või probleemne, punane – halvim või sobimatu.

Omadus	Drooni ortofoto	Maa-ameti ortofoto	Hypex lennukilt	Satelliit Sentinel-2
Kasutatavus kude- ja turgutusalade ja rändeteede omaduste visuaalseks hindamiseks	Parim meetod, sest võimaldab väga kõrget ruumilahutust. Võimalik teostada ka käsitsi lennu juhtimist ja reaajas videopildi jälgimist ja salvestamist huvipakkuvates kohtades	Sobilik, kui materjal on saadaval sobivast aastast ja hooajast	Ebaotstarbekas, sest mehitatud lennuki tellimine väga kulukas	Sobimatu, sest piksli suurus ≥ 10 m ja seetõttu visuaalne interpreteerimine enamasti võimatu
Kasutatavus kude- ja turgutusalade omaduste modelleerimiseks	Sobilik	Võib olla sobilik, kui materjal on saadaval sobivast aastast, hooajast ja piisava kvaliteediga (materjali kogumine ei ole optimeeritud veealadele ja võib esineda palju päikesepeegeldust, lainetust, lainevahtu)	Sobilik, Hypex-PCA andis marginaalselt paremad tulemused kui Hypex-kanalid	Sobimatu väikesemõõtmeliste uuringualade puhul, sest piksli suurus ≥ 10 m
Rahaline kulukus	Väga madal	Tasuta	Väga kulukas	Tasuta
Operatiivsus, organisatoorne keerukus	Võimalik on ise operatiivselt valida drooni lennutamise aeg ja koht. Organisatoorselt võib olla keerukam ainult lennujaamade läheduses või muude lennupiirangute korral	Materjali kogumine toimub vastavalt Maa-ameti tööde plaanile	Mehitatud lennuki tellimine ei ole operatiivne ega organisatoorselt lihtne	Ajas ja ruumis fikseeritud ülelend
Arendusvõimalused ja -vajadused	1. Lennujoonte heleduse ja värvigamma ühtlustamiseks proovida valgetasakaalu fikseerimist automaatrežiimi asemel. 2. Täiendavate spektrikanalite (nt lähisinfra) lisamine drooni kaamerasüsteemile võimaldaks parandada pildi kvaliteeti (nt päikesepeegelduse vähendamine) ja signaali informatiivsust.		Vajalik vähendada lennujoonte vahelisi erinevusi, aga selle eelduseks on homogeensete sügavaveeliste alade olemasolu pildil	

Täiendavad kommentaarid			Satelliidipiltide eelis on töödes, kus hinnanguid on vaja suurte alade kohta ja vajalik on aastatevaheliste muutuste hindamine, sest satelliidipildid katavad väga suure ala ja materjal uueneb regulaarsete intervallidega
-------------------------	--	--	---

2.7.1 DNA-põhise meetodika välja töötamine ja tõhususe hindamine haugi efektiivse kudekarja suuruse seiramiseks Saaremaa rannikumeres (Development and evaluation of the performance of the proposed DNA-based procedure for estimation of effective number of pike breeders in the pilot spawning areas at coastal sea of Saaremaa)

Autorid: Anti Vasemägi, Alfonso Diaz Suarez, Riho Gross, Veljo Kisand, Kristel Panksep, Kerli Haugjärv, Mehis Rohtla, Roland Svirgsden, Markus Vetemaa

Paljude kalaliikide arvukuse vähenemine näitab kiiret vajadust rakendada informatiivsemaid seireprogramme ning parandada käimasolevate majandamis- ja kaitsemeetmete tõhusust. Viimasel ajal on geneetilise muutlikkuse ja mitmekesisuse seireprogrammide vajalikkust hakatud üha laiemalt teadvustama ning geneetilist seiret nähakse kui väärtuslikku vahendit ohustatud populatsioonide geneetiliste muutuste hindamisel (Schwartz jt. 2007). Populatsiooni efektiivse suuruse (N_e) hindamine on selles kontekstis eriti oluline, sest N_e , mitte lihtsalt populatsiooni isendite arvukus, määrab juhusliku geneetilise triivi ja inbriidingu kaudu populatsiooni geneetilise varieeruvuse taseme. Ühel ajahetkel kogutud geneetiliste proovide analüüsil peetakse lähisuguluses olevate indiviidide sageduse hindamise meetodikat üheks informatiivseimaks ohustatud populatsioonide arvukuse hindamisel (Jones & Wang 2010).

Tegevuse 2.7.1 raames töötati välja DNA-põhine meetodika ja hinnati selle tõhusust haugi efektiivse kudekarja suuruse seiramiseks. Uuringud viidi läbi kaheksal alal Saaremaa lõuna- ja läänesaosas. Kokku analüüsiti kahe aasta jooksul 274 samasuvist ja 218 vanemalt haugi genotüüpiseerides kümme mikrosateliidi lookust. Sugulussidemete analüüsil avastati igas uuritud proovis 2-17 täisõve (keskmise 9,25) ning veelgi rohkem poolõvesid. Samas kordusanalüüside tulemusel oli poolõvede identifitseerimise täpsus madal, mis sarnaselt avaldatud töödele viitab sellele, et poolõvede täpselt identifitseerimiseks on vaja kasutada suuremat arvu markerlookuseid või väga kõrge muutlikkusega mikrosateliidilookusi.

Kõige kõrgem hinnatud efektiivse kudekarja suurus sugulussidemete põhjal tuvastati Oessaare 2020. aasta valimis ($N_e=25$, 95%CI 15-44) ning kõige madalam hinnatud kudekarja suurus esines Kõiguste 2020. aasta valimis ($N_e=12$, 95%CI 6-28). Markerite ahelduse põhjal hinnatud efektiivse kudekarja suurused olid märgatavalt kõrgemad. Selle meetodi alusel oli efektiivse kudekarja suurus kõrgeim Oessaare ja Mullutu-Suurlahe kudealadel ning väikseim Killatu järves (43,3) ja Kõiguste lahes (25,7). Kolmel juhul ei võimaldanud ahelduse puudumine markerite vahel hinnata Oessaare (2019, 2020) ja Mullutu-Suurlahe (2020) efektiivset kudekarja suurust ning seetõttu andis andmeanalüüs tulemiks, et uuritud populatsiooni suurus on lõpmatu (ingl. k. *infinite*). See illustreerib hästi geneetiliste analüüside põhjal hinnatava efektiivse populatsiooni suuruse ühte olulist piirangut. Nimelt on suure efektiivse populatsiooni puhul hinnatud N_e võrdlemisi ebatäpne. Samas väikse N_e väärtuste puhul on efektiivse populatsiooni suuruse hindamise täpsus suurem. See on oluline just looduskaitseaspektist, kuna just väikeste ja ohustatud

populatsioonide efektiivse populatsiooni suuruse hinnangu täpsus on kriitiline toimivate kaitsemeetmete välja töötamiseks.

Lisaks sugulussidemete hindamisele viidi läbi esmakordselt populatsioonigeneetiline analüüs mille tulemusena avastasime, et uuritud kudealadel on haug geneetiliselt eristunud omavahel alampopulatsioonideks. Suurimad geneetilised erinevused esinesid Lääne-Saaremaa (Pautsaare, Killatu) ja Liivi lahe (Mullutu-Suurlaht, Oessaare, Kõiguste, Saastna) kudemispaikade vahel ning Lääne-Saaremaa haugipopulatsioonide varieeruvus on oluliselt väiksem kui Liivi lahe populatsioonides. See näitab, et geenivool ehk geenisiire (ingl. k. *gene flow*) nende kahe piirkonna vahel on minimaalne. Oluliste geneetiliste erinevuste olemasolu kudemispaikade vahel tähendab omakorda seda, et kohalike kudemispaikade kaitse ja taastamine on haugide kaitseks äärmiselt tähtis. Samuti on oluline vältida geneetiliselt mitmekesiste alampopulatsioonide segunemist ja võõra geneetilise päritoluga kalade sissetoomist.

Soovitused efektiivse kudekarja suuruse hindamiseks:

- Efektiivse kudekarja suuruse hindamiseks DNA-põhise analüüsi põhjal on vajalik piisava arvu varieeruvate markerlookuste analüüs. Enamikul juhtudel on 10-20 kõrge muutlikkusega mikrosatelliidilookust või 100-200 üksiku nukleotiidi polümorfismi (ingl. k. *SNP, single nucleotide polymorphism*) piisav efektiivse kudekarja suuruse hindamiseks sugulussidemete meetodit kasutades. Samas suurema arvu markerite kasutamine vähendab efektiivse kudekarja suuruse hinnangu ebatäpsust.
- Efektiivse kudekarja suuruse hindamiseks DNA-põhise analüüsi põhjal on vajalik piisava arvu noorjärkude analüüs, mis on kogutud juhuslikult kogu uurimise all olevast piirkonnast. Soovitavalt peaks uuritud noorkalade arv olema lähedane või suurem võrreldes tegeliku efektiivse populatsiooni suurusega, mis on paraku enne uuringute läbiviimist teadmata. Juhul kui uuritud noorkalade arv on väiksem kui tegelik efektiivne populatsiooni suurus, alahindab sugulussidemete meetod tegelikku Neb väärtust. Sellisel juhul soovitame kasutada markerite ahelduse meetodit efektiivse kudekarja suuruse hindamiseks. Haugi kudekarja suuruse hindamiseks kudeladelt on soovitatav koguda koeproovid vähemalt 100 noorkalalt mis võimaldab tuvastada kudealad, kus efektiivne kudekarja suurus on väike (<100).
- Juhul kui noorjärkudelt kogutud proovide arv on väiksem kui eeldatav efektiivse populatsiooni suurus, on täisõvede (õdede ja vendade) sagedus proovis potentsiaalselt informatiivne parameeter, mis peegeldab efektiivse kudekarja suurust. Seega annab täisõvede sageduse hindamine isegi küllaltki väikese valimi puhul olulist informatsiooni kudekarja suuruse kohta.
- DNA-põhine meetodika on sageli ainuvõimalik viis kudekarja suuruse hindamiseks ning seetõttu peame oluliseks Eesti valmisolekut nende meetodikate liitmiseks riiklikesse seireprogrammidesse ja seda nii mere kui magevees elavate kalade seires.

3.1.1. Mereliste elupaigatüüpide seisundi seire ja hindamise metoodika (Methodological guidelines for assessing status of marine habitat types in Estonian marine area)

Autorid: Kaire Torn, Kristjan Herkül, Georg Martin

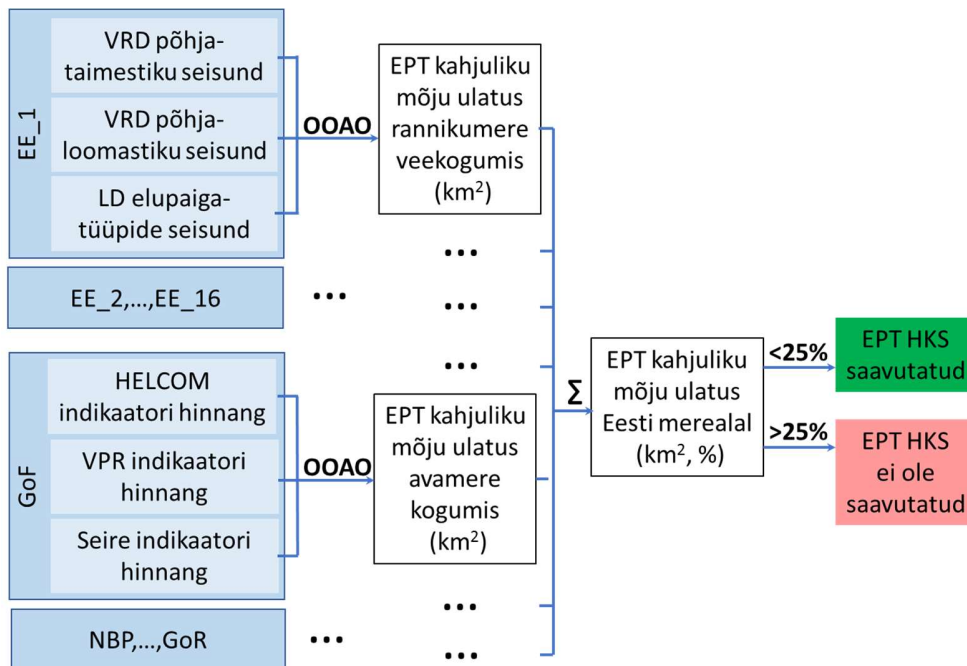
Merestrategie raamdirektiivi (MSRD) kohaselt on vajalik liikmesriikidel viia merealal läbi keskkonnaseisundi hindamine vastavalt üldistele merepõhja elupaiga põhitüüpidele (*broad habitat type* (BHT)). RITA projekti tegevuse 3.1.1 käigus koostati mereliste elupaigatüüpide seisundi hindamise seiremetoodika ettepanek, mis põhineb HELCOM HUB klassifikatsioonil. HELCOM HUB elupaigatüübid on viidud vastavusse MSRD merepõhja elupaikade põhitüüpidega (BHT) vastavalt Euroopa Keskkonnaagentuuri juhistele.

Analüüsides erinevate metoodikate eeliseid ja puudusi ning arvestades toimiva seirega erinevate direktiivide täitmiseks soovitate kriteeriumi D6C5 hindamiseks Eesti merealal kasutada olemasolevaid hinnanguid (VRD ja loodusdirektiivi (LD) kohane hindamine). See võimaldab vältida dubleerivat tööd ning vastuolulisi hinnanguid erinevate direktiivide hindamismetoodikate põhjal. VRD ja LD hinnangute ruumilise kattuvuse korral määrab seisundi madalaim hinnang. Täiendavaid indikaatoreid soovitate kasutada avamere piirkonnas, kus teiste direktiivide hinnangud puuduvad või ei ole piisavad.

MSRD kohase elupaiga põhitüüpide hindamise aluseks on mere elupaigatüüpide, rannikumere ja avamere seire käigus kogutavad andmed. Mereliste elupaigatüüpide seisundi hindamiseks sobivad indikaatorid Eesti merealal on:

- LD elupaigatüüpide 1110, 1130, 1140, 1150, 1160, 1170 looduskaitseline seisund
- Eesti põhjataimestiku indeks (EPI_1 , EPI_2 , EPI_{HPO} , EPI_{PCF})
- Zoobentose koosluse indeks (ZKI_2)
- Balti lamekarbi (*Limecola balthica*) sügavuslevik
- Süvavee hapniku puudujääk
- Orgaanilise aine sisaldus põhjasettes

Komisjoni otsus 2017/848/EL sätestab, et kahjulikult mõjutatud (kriteerium D6C5) elupaiga ulatus tuleb esitada ruutkilomeetrites ja osakaaluna elupaigatüübi koguulatuses samas kui mereseire viiakse läbi punktipõhiselt. Seetõttu on ettepanek viia esmatasandi hinnang läbi ruumilistes üksustes, mis võimaldab lõpphinnangus esitada pindalaliselt kahjuliku mõju ulatuse iga elupaigatüübi seisundile. Hindamisskeem on toodud joonisel 1. Eesti mereala ruumilise jaotuse aluseks on rannikumeres veepoliitika raamdirektiivi (VPD) kohasel hindamisel kasutatavad veekogumid ning avameres HELCOM alambasseinid.



Joonis 1. Elupaigatüübi kahjuliku mõju ulatuse (kriteerium D6C5) hindamisskeem. OOAO – *one-out-all-out*, üks väljas - kõik väljas. EPT – elupaigatüüp.

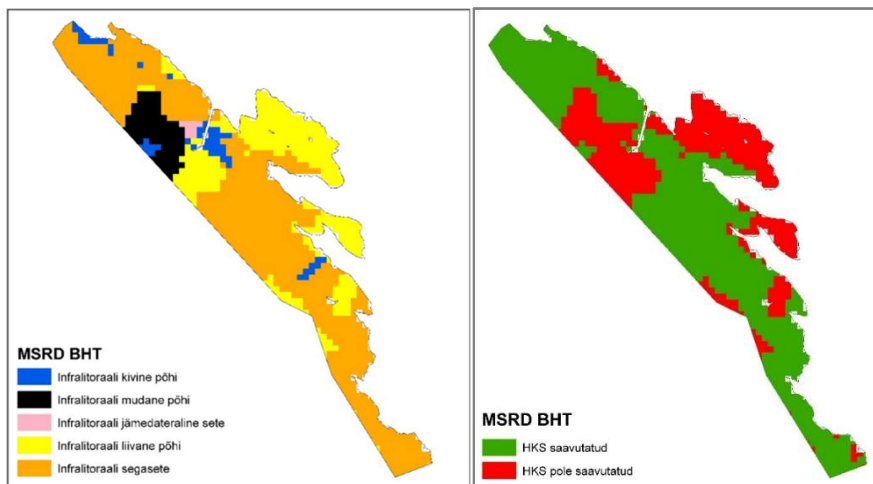
3.2.1. Mereliste elupaigatüüpide seisundi hindamise meetodika testimine pilootalal (Testing the methodology and assessment of extent and condition of habitat types based on HELCOM HUB)

Autor: Kaire Torn

Töö eesmärgiks oli testida RITA projekti tegevuse 3.1.1 käigus koostud mereliste elupaigatüüpide seisundi hindamismetoodikat pilootalal vastavalt kriteeriumile D6C5 kahjuliku mõju ulatus elupaigatüübi seisundile. Pilootala valiti tegevuse 2.3.1 „Optilise kaugseire kasutamine merepõhja elupaikade kaardistamisel“ uuringualade hulgast, et oleks võimalik võrrelda traditsiooniliselt kogutud merepõhja elustiku andmete ja optilise kaugseire andmete põhjal modelleeritud elupaigatüüpide leviku mõju hindamisele. Jaagarahu pilootala asub VRD rannikuveekogumis Kihelkonna lahe rannikuvesi (EE_11).

MSRD elupaiga põhitüüpide hindamisel kasutati meetodikat, mis kasutab olemasolevaid hinnanguid (veepoliitika raamdirektiiv (VRD), loodusdirektiiv (LD)) ning avameres ka lisaks täiendavaid indikaatoreid. Uurimisala hinnangud baseerusid VRD kvaliteedielementide põhjataimestik (EPI) ja põhjaloomastik (ZKI) ning LoD elupaigatüüpide karid (1170), liivamadalad (1110) ja laugmatalikud (1140) hinnangutel. Hinnangute ruumilise kattuvuse korral määrab seisundi madalaim hinnang.

Pilootalal läbi viidud testhinnangu kohaselt oli MSRD elupaiga põhitüüpide infralitoraali kivine põhi (D6C5.7) ja infralitoraali segasete (D6C5.10) hea keskkonnaseisund saavutatud ning kahjuliku mõju ulatus oli madal. Elupaigatüüpide infralitoraali liivane põhi (D6C5.8), mudane põhi (D6.C5.9) ja jämedateraline sete (D6C5.11) hea keskkonnaseisund pole saavutatud. Kogu pilootala ulatuses oli kahjulikult mõjutatud elupaigatüüpide osakaal 31,42% (joonis 2). Hinnangu määras ära VPRD põhjaloomastiku kvaliteedielemendi ZKI, mille kohaselt on piirkonna pehmpõhjalise substraadi seisund kesine = HKS pole saavutatud.



Joonis 2. MSRD elupaiga põhitüüpide modelleeritud levik ja keskkonnaseisund pilootalal.

Lisaks võrreldi erinevate kaardistustööde meetodikate, sh optilise kaugseire meetodika (RITA projekti tegevus 2.3.1), mõju hindamistulemusele. Elupaigatüüpide leviku mudelennustuse täpsus sõltub paljudest teguritest, näiteks kasutatud mudeli olemusest, sisendandmete kvaliteedist ja ruumilisest tihedusest. Jaagarahu uuringualal olid nii kaugseirel kombineerituna kohtvaatlustega kui ka ainult kohtvaatluste sisendandmetel põhinevad MSRD elupaiga põhitüüpide levikukaardid sarnase mustriga. TÜ EMI üle-eestilise elupaigatüüpide leviku koondkaardi ja EuSeaMap Läänemere/Euroopa Liidu tasemel elupaigatüüpide leviku modelleerimisel ei ole kogutud proovipunkte pilootala piiridest ning seetõttu on nende kaardikihtide elupaigatüüpide levik selles piirkonnas ebatäpne. Testitud kaardistamise meetodid ei avaldanud mõju elupaigatüübi indikaatori hinnanguklassile, kuid erinev kaardistustööde meetodika, sisendandmete kvaliteet ning modelleerimise resolutsioon mõjutavad oluliselt elupaigatüübi ennustatavat leviala ning seeläbi hinnatavat kahjuliku mõju ulatuse määra elupaigatüübi seisundile. Käesoleva töö põhjal võib järeldada, et EuSeaMap kaardikiht on Eesti mereala elupaigatüüpide hindamiseks liiga ebatäpne. EUSeaMap poolt modelleeritud kaardikihi järgi esineb piirkonnas vaid infralitoraali segasete, kuid RITA projektis kogutud kohtvaatlusandmete põhjal eristati pilootalal neli elupaigatüüpi. Igasugune täiendav andmekogumine (sonar, kaugseire, kohtvaatlused) suurendab elupaigatüüpide leviku kaardistamise täpsust. Üle-eestiliste koondkaardikihtide usaldusväarsuse tõstmiseks tuleks suurendada kohtvaatluste proovipunktide arvu ning jätkata kaugseire meetodika testimist suuremal alal.

3.3.1. Võõrliikide kaardistamine rahvateaduse abil (Mapping non-indigenous species using citizen science).

Autor: Jonne Kotta

Praegused seireprogrammid kaardistavad Eesti rannikumere üksikuid elupaiku ja on seega võrdlemisi ebatõhusad võõrliikide saabumise ja leviku tuvastamisel. Varasemalt läbi viidud rahvateaduse programmid on näidanud, et piisava koolituse läbimisel on kodanikuteadlased võimelised avastama ja teatama suurematest invasiivsetest liikidest (nt krevetid, krabid, kalad) ning nende kogutud andmeid on võimalik teaduse eesmärkidel ära kasutada.

Käesoleva teema all töötasime välja nutitelefoni rakenduse kontseptsiooni, mille abil saab Eesti rannikumeres palja silmaga määrata põhilisi võõrliikide liike ja teatada leidudest andmeserverisse. Seega annab selline rahvateaduse algatus võimaluse kaasata üldsust, et aidata pikaajaliselt kaardistada võõrliike kogu Eesti rannikumeres.

Rakenduse kaudu kogutav loodusvaatluse info on järgmine:

1. vaadeldud liik,
2. vaatlemise aeg (kuupäev) – vaikumisi tänane kuupäev
3. vaatluskoht (koordinaadid) – vaikumisi GPS järgi koordinaadid, kuid võimalus valida kaardilt (vt ka joonis 2) või enda varem salvestatud vaatluskohtade hulgast
4. vaatleja nimi – vaikumisi kasutaja nimi, kuid võimalus seda muuta (sh valida enda varem salvestatud vaatlusgruppide hulgast)
5. Lisaks saab rakenduse kaudu saab sisestada arvu (vaikumisi 1), määraja nime ja määramise kuupäeva, liigirühma põhise eriinfot (klassifikaatorid) ja merel tehtava vaatluse eriinfot (sh. sügavus, proovikogumise vahend), liigirühma, elupaika, ohtrust, projekti nime (klassifikaator) ning vaatluse juurde salvestada maksimaalselt 3 fotot. Lisaks on olemas ka üks vabatekstiline märkuste väli.

Kogutud andmehulkade analüüsimisel on võimalik paremini mõista primaarseid invasioone ja võõrliikide edasist levikut mõjutavaid protsesse. Antud kontseptsioon integreeriti projekti "Loodusvaatluste nutirakenduse uuendamine ja vabatahtlikus seires kasutamine" alt arendavasse loodusvaatluse nutirakendusse (LVA). Kuna LVA rakenduse eesmärgiks on käsitleda kogu elustikku, siis mereteema tegevuse mõju suurendamiseks kaasati rakendusse nii kohalikud kui ka võõrliigid. LVA meeskond on praeguseks loonud rakenduse prototüübi ning oleme seda prototüüpi edukalt testinud ning edastanud kasutajapoolset tagasisidet LVA rakenduse arendajatele.

3.4.1 Koelmualade kvaliteedi hinnangud tüüpelupaikades (Maps of the status of spawning grounds)

Autorid: Mehis Rohtla, Roland Svirgsden, Markus Vetemaa

Tegevuse üldeesmärgiks oli kombineerida MereRITA tegevuste 2.5.1, 2.6.1 ja 2.7.1 tulemused, et anda kvalitatiivne koondhinnang pilootalade sobivuse kohta kalade taastootmisaladena Lõuna-Saaremaal. Täpsemalt oli eesmärgiks selgitada välja kas ja kuidas on omavahel seotud taastootmisala „välimus“ kaugseire ja kohtvaatluste abil hinnatuna ning taastootmisala reaalseeritud kvaliteet ehk kudekarja suurus, panus täiendisse ja siirdehaugide osakaal samasuviste järglaste hulgas. Mudelliigiks valiti tööde käigus haug, sest tegemist on rannikumeres laialt levinud ning suhteliselt hõlpsasti tabatava ja uuritava liigiga. Tegevused tulemused olid omakorda sisendiks tegevuse 4.3.1 läbiviimisel.

Tegevuse tulemusel näitasime, et mageveeliste siirdekalade taastootmisalade kvaliteedi ja toimimise üldiseks hindamiseks võib teatud juhtudel piisata ka drooniga tehtud aerofotodest, kui nende seos elupaiga erinevate parameetritega on eelnevalt valideeritud kohtvaatluste teel. Seega on võimalik välise vaatluste abil optimaalse aja- ja rahakuluga saada üsna kiire ülevaate konkreetse ala hetkeolukorrast ning sobivusest mageveeliste siirdekalade taastootmisalana. Täpsemate hinnangute andmiseks konkreetse taastootmisala reaalse toimimise kohta on siiski vaja kasutada töömahukamaid ja kulukamaid otoliidi mikrokeemia ja geneetika meetodeid.

Selgus, et uuritud pilootalad on väga erineva kvaliteediga. Lõuna-Saaremaa pilootaladest olid parima kvaliteediga Mullutu-Suurlaht ja Oessaare laht, mida näitasid üheselt ka otoliidi mikrokeemia ja geneetika tulemused. Sellistel, Lõuna-Saaremaale üliolulistel kalade taastootmisaladel tuleks lõpetada igasugune kalapüük või lubada seda ainult piiratud (lepiskalad) või väga piiratud (röövkalad) mahus. Lääne-Saaremaa pilootaladest oli parima kvaliteediga Pautsaare laht, kuid haugi kudekarja suurus oli sealgi väike – tõenäoliselt on selle põhjuseks üldine haugivaru madalseis Lääne-Saaremaal ja mitte Pautsaare lahe madal kvaliteet haugi taastootmisalana.

Hästi toimivaid mageveeliste siirdekalade taastootmisalasid iseloomustab ennekõike püsiv ühendus merega, magevee sissevool ning veetaseme aastaringne stabiilsus. Väga oluline on ka veetaimestiku mitmekesisus – taastootmisalad, kus peale mändvetika leidub ka pilliroogu, vesisammalt, penikeelt ja muid makrofüüte on kvaliteetsemad ja täiendi mõttes produktiivsemad (Mullutu-Suurlaht, Oessaare laht), kui alad, kus tugevaks dominantliigiks on mändvetikas ning muud liigid on vähearvukad (Killatu, vähemal määral ka Pautsaare).

Meres kudeva haugi olukorra parandamiseks tuleb kõigepealt parendada magevees kudevate haugide taastootmisalade kvaliteeti ning rakendada röövkalade arvukuse kasvu soodustavaid püügiregulatsioone. Juba kadunud mereliste taastootmisalade taastamine on aga võimatu ilma vee toitelisuse vähenemiseta ja siinkohal võiks pigem mõelda meres kudeva haugi asustamise peale.

4.1.1. Survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise raamistik (Methodological frame to assess cumulative impacts of anthropogenic pressures on nature assets)

Autorid: Jonne Kotta, Kiran Liversage, Robert Szava-Kovats, Emil Kotta, Georg Martin

Inimtegevus on Läänemeres muutumas üha intensiivsemaks ning selle olemus pidevalt mitmekesisub. Kiirete muutuste taustal on tekkimas täiesti uued merekeskkonda ümber kujundavad mehhanismid, mille sisu on teadusele veel ebaselge, kuid mis väärivad väga suurt tähelepanu, kuna ohustatud on ökosüsteemide mitmekesisus, terviklikkus ja toimimine. Mereökosüsteemide tervikliku majandamise käigus tuleb teadlikult vältida erinevate merekasutuste jaoks ebasobivat ruumieraldust ning selle läbi vähendada mere ökosüsteemidele avalduvat survet. Selle eesmärgi täitmine pole aga lihtne, kuna ökosüsteemide mitmekesiseid tagasiside mehhanisme ei ole võimalik kirjeldada lihtsate prognoosimudelitega ja paljude keskkonnamõju aspektide kohta on teaduslik informatsioon endiselt üsna puudulik.

Inimtekkeliste survetegurite kumulatiivsete mõjude analüüs võimaldab süsteemselt analüüsida inimtegevuste mõju looduskeskkonnale. Kumulatiivset mõju defineeritakse siin kui erinevate inimtegevuste ja nendest inimtegevustest tulenevate survete koosmõju ökosüsteemidele. Usaldusväärsete prognooside saamiseks peab kumulatiivsete mõjude hindamine lähtuma alusteadmistest erinevate survetegurite ja loodusväärtuste vahelistest põhjus-tagajärg seostest. Veelgi enam, selline teoreetiline raamistik peab võimaldama eritüübiliste ja keerukate vastastikmõjude kirjeldamist, kuna survetegurite mõju elustikule ei avaldu üldjuhul aditiivselt (üksikelementide liitmise kaudu), vaid on kirjeldatav keerukate interaktsioonidega.

Käesoleva teema all töötati välja meetodika, mis võimaldab hinnata erinevate survetegurite kumulatiivset mõju Eesti mereala erinevatele loodusväärtustele. Loodusväärtustest käsitletakse selliseid keskkonnaandmeid, millel on püsiv asukoht ning mida kasutatakse Merestrategia Raamdirektiivi tunnuste indikaatorite loomisel. Survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise alustalaks on faktilistele teadusandmetele toetuv mõjumaatriks, milles kirjeldatakse matemaatilisi seoseid erinevate inimtegevuste survete ja keskkonnamõju ulatuse vahel. Leitud seosed võtavad arvesse piirkondlikku elustiku iseloomu. Kasutatud meetodika võimaldab mõjude kombineerumist summeerumise, kompenseerimise ja muude vastastikmõjude kaudu. Loodud kumulatiivse mõjude hindamise meetodiline raamistik on dünaamiliselt täiendatav, seda nii alusandmete kihtide osas kui ka inimkasutuse interaktiivsete mõjude maatriksi osas.

Loodud meetodikat testiti Eesti merealade ruumilise planeeringu käigus, kus hinnati planeeringu mõistes olulisemate inimtegevuste kumulatiivset mõju valitud loodusväärtustele. Kumulatiivsete mõjude hindamise meetodika võimaldas erinevatel huvirühmadel läbi mängida erinevaid ruumieralduse stsenaariume ning hinnata eri stsenaariumite potentsiaalse keskkonnamõju ulatust. Väjatöötatud inimtegevuste survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise meetodikat tutvustati

Rahandusministeeriumile (5.11.2019 koosolek
Rahandusministeeriumis) ja Läänemere maade planeerijatele (PanBalticScope projektikoosolek
23-25.09.2019 <http://www.panbalticscope.eu/>). Lisaks on selle teema all publitseeritud kaks
teadusartiklit, milles on kirjeldatud meie uudset lähenemist inimsurve kumulatiivsete mõjude
hindamisel. Samades teadusartiklites on antud ülevaade ka teistest Euroopas kasutusel olevatest
kumulatiivsete keskkonnamõjude hindamise tööriistadest (Depellegrin et al. 2021; Galparsoro et al. 2021).

4.2.1. Veebipõhine tööriist hindamaks survetegurite kumulatiivset mõju loodusväärtustele (An easy-to-use online tool that calculates cumulative impacts of multiple pressures on key nature assets in pilot areas)

Autorid: Jonne Kotta, Mihhail Fetissof, Anneliis Kõivupuu, Annaleena Vaher, Kiran Liversage, Emil Kotta, Mihkel Kotta, Robert SzavaKovats

RITA alateema 4.1.1. "Survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise empiirilise raamistiku loomine" käigus töötati välja uudne meetodika, mille puhul kumulatiivsete mõjude hindamine lähtub teaduskirjanduses publitseeritud ja/või andmebaasidest arvatavatest kvantitatiivsetest alusteadmistest erinevate survetegurite ja loodusväärtuste vahelistest põhjus-tagajärg seostest. Sellest tulenevalt võimaldab selline meetodika arvutusalgortimidesse koondada suurema osa piirkondlikest vaatlustest ja eksperimentaaluuringutest, mis demonstreerivad erinevate survetegurite eraldi- ja koosmõju erinevatele loodusväärtustele. Veelgi enam, sellisel lähenemisel on andmebaasid operatiivselt kaasajastatavad so. arvutusalgortimi on võimalik lihtsalt täiendada uute teadmistega uutest surveteguritest ja nende mõjudest loodusväärtustele.

Käesolev aruanne kirjeldab alateema „Veebipõhine tööriist hindamaks survetegurite kumulatiivset mõju loodusväärtustele“ tegevusi. Alateema tegevuste käigus kasutati väljatöötatud kumulatiivse mõjude hindamise uudset kontseptsiooni, et välja töötada veebipõhine graafiline rakendus võimaldamaks meremajandajatel ja mereruumi planeerijatel läbi mängida erinevaid inimkasutuse stsenaariume ning hinnata selliste stsenaariumite potentsiaalset keskkonnamõju. Alateema tegevuste käigus loodi andmebaas kvantitatiivsetest alusteadmistest erinevate survetegurite ja loodusväärtuste vahelistest põhjus-tagajärg seostest ning seostati see andmebaas alateema 4.1.1. aruandes kirjeldatud kumulatiivsete mõjude arvutamise algortimidega. Saadud matemaatilise mudeli põhjal tekitati veebipõhine kaardirakendus, mis võimaldab hinnata erinevate inimkasutuste stsenaariumite kumulatiivset mõju loodusväärtustele.

Veebipõhise portaali loomisel tehti aktiivset koostööd 2014-2020 Eesti-Vene koostööprogrammi projekti ADRIENNE'ga. RITA projekti raames töötati välja kumulatiivsete mõjude arvutamise algortim ning loodi Eesti merealalt kogutud alusteadmiste põhjal andmebaas kvantitatiivsetest põhjus-tagajärg seostest erinevate survetegurite ja loodusväärtuste vahel. ADRIENNE projekti toel viidi läbi kõik IT-alased arendustööd. Lisaks täiendati ADRIENNE projekti käigus survetegurite ja loodusväärtuste vaheliste seoste koondbaasi alusteadmistega inimtegevuste mõjudest naaberriikides (Soome, Venemaa).

Projektidevaheline koostöö võimaldab mõjualgortimidesse kaasata naabermaade (Soome, Venemaa) alusandmestikku ja kogemust ning viia RITA projektis loodud kumulatiivsete mõjude hindamise kontseptsioon ja praktiline teostus HELCOM'i inimtegevuste keskkonnamõjude hindamise metodikatesse. RITA ja ADRIENNE projekti raames tutvustasime oma lähenemist erinevatel rahvusvahelistel töönõupidamistel ning nendel kohtumistel avaldas HELCOM selget soovi meie lahendust

(arvutusalgoritmi ja veebipõhist rakendust) integreerida oma järgmise põlvkonna kumulatiivsete mõjude hindamise tööriista.

Loodud kumulatiivsete keskkonnamõjude hindamise veebiportaali kontseptsioon, arvutuseeskiri ja kasutatud IT lahendused on detailselt lahti kirjutatud avaldatud teaduspublikatsioonis: Kotta, J.; Fetissov, M.; Szava-Kovats, R.; Aps, R.; Martin, G. 2020. Online tool to integrate evidence-based knowledge into cumulative effects assessments: Linking human pressures to multiple nature assets. *Environmental Advances*, 2, 100026.

4.3.1 Majanduslikult oluliste kalaliikide koelmualade ökoloogilise seisundi modelleerimine muutuvate survetegurite foonil (Modelling the ecological status of spawning grounds of commercially important fish under changing human pressures)

Autorid: Mehis Rohtla, Jonne Kotta, Roland Svirgsden, Markus Vetemaa

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada seosed erinevate keskkonnaparameetrite, inimõju ja kalade taastootmisalade toimimise vahel. Töös kasutati MereRITA tegevuste 2.5.1, 2.6.1, 2.7.1 ja 3.4.1 käigus kogutud andmeid. Mudelliigiks valiti haug (*Esox lucius*). Modelleerimisel kasutati intellektitehnikat ja statistilist analüüsi ühendavat uuenduslikku meetodit (võimendatud regressioonipuu meetod, *Boosted Regression Trees*).

Mudelid erinevate keskkonnanäitajate ja koelmualade kvaliteedi vahel olid väga head so. mudelid kirjeldasid ära suure osa varieeruvusest. Mudelitega kirjeldatud seosed olid üldjuhul keerulised ning mudelites kirjeldas koelmualade kvaliteedi varieeruvust samaaegselt suur hulk erinevaid keskkonnanäitajaid. Selleks, et veelgi täpsemaid tulemusi saada, tuleks mõõtmisi teha suurema arvu veekogude puhul ja/või rohkematel aastatel.

Koostatud mudelite lõikes olid koelmualade kvaliteeti (samasuviste arvukus, osakaal saakides, kudekarja suurus, siirdehaugide osakaal) kirjeldavate indikaatorite hulgas kõige suurema kirjeldusvõimega:

- 1) soolsus (mageveekogud on haugi taastootmisaladena kvaliteetsemad ja panustavad rohkem täiendisse)
- 2) veekogu pindala (suuremad veekogud panustavad rohkem täiendisse)
- 3) ühendus merega (püsiva mereühendusega alad on haugi taastootmisaladena kvaliteetsemad ja panustavad rohkem täiendisse)
- 4) vooluveekogude arvukus (mida rohkem suubuvaid vooluveekogusid, seda mitmekesisemad on kudemistingimused ning seda kvaliteetsem on taastootmisala, mille panus täiendisse suureneb oluliselt)

Väiksema kirjeldusvõimega olid:

- 5) põhjasubstraadi tüüp (mudasemad alad on haugi taastootmisaladena tihti kvaliteetsemad)
- 6) vabavee sügavus (suurema vabavee sügavusega alad on haugi taastootmisaladena tihti kvaliteetsemad ja panustavad rohkem täiendisse)
- 7) muda keskmine katvus (mudasemad alad on haugi taastootmisaladena tihti kvaliteetsemad)
- 8) kalastussurve (taastootmisalad, kus kalastussurve puudub või on madal, on haugi taastootmisaladena tihti kvaliteetsemad)

9) põhjataimestiku keskmine üldkatvus (keskmise põhjataimestiku üldkatvusega alad on haugi taastootmisaladena tihti kvaliteetsemad)

10) eutrofeerumise tase (rohkem eutroofsemad alad on haugi taastootmisaladena tihti kvaliteetsemad)

Mudelitesse kaasatud inimõjud (eutrofeerumine, kalastussurve) ei olnud käesolevasse töösse kaasatud andmestiku põhjal kõige olulisemate faktorite hulgas, mis mõjutasid uuritud sõltuvaid tunnuseid.

Käesoleva töö tulemusel selgus, et rannikumeres elavate, kuid magevees sigivate kalade taastootmisalade kvaliteeti saab kvalitatiivsel tasemel hinnata suhteliselt lihtsasti kogutavate parameetrite abil. Esmase hinnangu andmiseks piisab kohapealsetest vaatlustest kevad-suvisel perioodil (sh drooniga tehtud aerofotod), mille käigus määratakse ära ala soolsus, mereühenduse kvaliteet, suubuvate vooluveekogude hulk ja kvaliteet ning veetaseme dünaamika. Nii on võimalik ära kaardistada kogu rannikumeri ja sellega otseselt seotud mageveekogud. See kõik oleks nõ raamistikuks, millest lähtuda, kui on vaja teavet selle kohta, kas ja kui suurel määral üks või teine ala oleks üldse sobilik (pool)siirdekalade taastootmisalana eelpool nimetatud fundamentaalsete parameetrite järgi. See võiks olla ka üheks võimalikuks sisendiks elupaikade parendamise ja vajadusel ka kalade asustamise juures.

Kalade taastootmisalade reaalne toimimine sõltub aga ka paljudest teistest faktoritest (nt kudekoondise arvukus, kalastussurve, kisklussurve, veekvaliteet, zoolplanktoni arvukus), mida kvalitatiivselt hinnata ei saa. Seega tuleks täpsema ülevaate saamiseks täiendavalt kasutada ka erinevaid seire ja kvantitatiivse analüüsi meetodeid, mis võimaldaksid määratleda kalade taastootmisalade reaalse toimimise. See annaks eelpool mainitud kvalitatiivsele raamistikule reaalse sisu taastootmisalade kaupa.

5.1.1 Ettepanek Eesti merekeskkonna seire täiendamiseks (Proposal for updating Estonian marine monitoring programme)

Aruande koostaja: Georg Martin

Analüüsidest kehtiva merekeskkonna seireprogrammi (nii Riikliku Keskkonnaseire Programmi mereseire osa kui MSR D seireprogramm) sisu puudujääke ja arendamisvajadusi ning arvestades mereRITA projekti käigus tehtud uuringute ja meetodikakatsetuste tulemusi, soovime järgmisi täiendusi kehtivale keskkonnaseire programmile:

Valdkond/seiretöö	Täiendusettepanek lühidalt
Avamere seire/Rannikumere seire – pelaagilised mõõtmised	<p>Soovitame lisada avamere seire jaamade hulka täiendavad CTD jaamad CTD, klorofüll-a ja hapniku profiilide registreerimiseks, et jaamade vahe ei ületaks 25-30 km.</p> <p>Lülitada seireprogrammi uurimislaeva läbivoolusüsteemiga andmete kogumine.</p> <p>Kaaluda Saaremaast läänes asuva liuguri püsitranssekti lisamist seireprogrammi.</p> <p>Alustada veesamba parameetrite (vähemalt T, S, O₂) pidevmõõtmisi seitsmes asukohas: basseini süvikutes (Narva lahes; Liivi lahes; Läänemere avaosa põhjasseinis (jaam H2 läheduses) ja lõunaosas (jaam 32 läheduses); rannikunõlval (käesoleva projekti piirkonnas, Läänemere avaosas); väinades (Irbe väin, Väinamere keskosa seirejaam V15).</p> <p>Alustada Eesti merealadel pidevate hoovusmõõtmistega, soovituslikult samades asukohtades, mis toodud eelmises punktis ja Keri avamere jaamas.</p>
Hapestumise mõõtmine ja anorgaanilise süsiniku sisaldus	<p>Hapestumise indikaatoriks kasutada pH negatiivse trendi puudumist (merevee happelisemaks muutumise trendi puudumine)</p> <p>Alustada pCO₂ ja üldleelisuse mõõtmist kõigist pelaagilistest jaamadest</p>

Klorofüll-a ja primaarproduktsoon veesambas - kaugseire	Viia läbi pilootuuring täpsustamaks klorofüll-a ja primaarproduktiooni mõõtmise võimalikkust kaugseire abil
Merepõhja geoloogia	Rakendada akustilist kaugseiret merepõhja geofüüsikalistel uuringutel Merepõhja setete ohtlike ainete ja eutrofeerumisega seotud näitajate uuringute sagedust tuleb tõsta
Võõrliikide seire	Rakendada eDNA-põhine invasiivsete võõrliikide seire riskipiirkondades (suuremates sadamates – Muuga sadam, Sillamäe sadam).
Merepõhja elupaigad	Soovitame kriteeriumi D6C5 hindamiseks Eesti merealal kasutada olemasolevaid hinnanguid teiste mereala või selle objektide hindamise instrumentidest (VRD ja LD hindamine). Optiline kaugseire võimaldab madala rannikumere puhul parandada merepõhja elupaikade leviku kirjelduste usaldusväarsust

Projekti tegevuste tulemuste analüüs näitas järgmiste jätkuuringute läbiviimise vajadust:

Valdkond	Jätkutegevuse/-uuringu teema
Avamere seire	Avamere seire jaamade võrgu optimeerimine (Soome laht, Läänemere avaosa põhjassein)
Avamere seire	Avamere seire programmi täiendamine fikseeritud profileerijatega ja profileerivate ujukitega.
Avamere seire/Rannikumere seire	pH mõõtmiste meetodika ajakohastamine HELCOMis
Avamere seire/Rannikumere seire	pCO2 mõõtmiste strateegia täpsustamine Eesti merealal (mõõtmisplatvormid, jaamad, sagedus).
Avamere seire	Üldleelisuse ja pH põhjal aruvutatud DIC sisaldus, võimaldab hinnata mineraliseerumise arengu põhjal hapnikuvaegust just halokliinialustes kihtides erinevates mereosades. Mõõtmiste ruumilise paiknemine, tehnilised üksikasjad.

Avamere seire/Rannikumere seire	Jätkuuring erinevate klorofüll-a hindamise meetodite valideerimiseks ning vajadusel sobivamate algoritmide väljatöötamiseks, oluline, et oleks olemas vahendid ka välitööde teostamiseks. Uuringus käsitletavat teemat ära toodud aruandes 2.2.2.
Avamere seire	Merepõhja pinnasette fosfori eri fraktsioonide testuuring avamere seire valitud jaamades. Sellised uuringud võimaldaksid anda hinnangut settest lähtuvatele toitainevooegadele, nn fosfori sisekoormusele.
Rannikumere seire	Rannikuveekogumite pelaagiliste ja bentiliste jaamade võrgustiku piisavuse analüüs (praegune võrgustik ei ole enamasti piisav).
Avamere seire/ Merepõhja elupaikade seire	Uue põhjaloomastiku seiretransekti asukoha määramine Läänemere avaosa põhjabasseinis.
Avamere seire/ Merepõhja elupaikade seire	Süvavee hapnikusisalduse hindamiseks 1-2 täiendava jaama määramine Ida-Gotlandi basseinis.
Merepõhja elupaikade seire	Merepõhja elupaikade kaardistuse algandmete tiheduse suurendamine Eesti merealal (proovipunktide tihedus peaks olema vähemalt 5 punkti km ² kohta).

5.2.1 Sinimajanduse arendamise asukoha valiku kriteeriumid (Set of criteria to define areas for developing the Blue economy)

Aruande koostaja: Georg Martin

Sinimajanduse sektorite jaoks sobilike merealade valikuprotsess peaks Eestis käima läbi mereala planeeringu. Hetkel on Eesti esimene mereala planeeringu eelnõu valmis ja kooskõlastatud ja ootab ametlikku kehtestamist. Samas on tulevikus oodata perioodilist planeeringu täiendamist vastavalt tekkivale vajadusele. Ka hetkel kehtestamist ootava planeeringu puhul on mitmeid protsesse ja mereala ruumilise kasutusega seotud tegevusi pooleli. Nii on näiteks pooleli mitmete merekaitsealade menetlemine, mis kattuvad osaliselt ruumiliselt näiteks tuuleenergeetika aladega. Seega säilib ka tulevikus vajadus teatud otsustusmehhanismi järgi, et langetada valikuid teatud merealadel teatud tegevuste lubamiseks või soodustamiseks.

Mereala planeering jääb üldiselt ka tulevikus vastama kõikidele strateegilistele dokumentidele ja EL direktiividele (EL Veepoliitika raamdirektiiv 2000/60/EÜ, Merestrategie raamdirektiiv 2008/56/EÜ). Mereala planeering on avalik protsess, mis arvestab nii valdkondlikke regulatsioone kui huvirühmade seisukohti ja peaks tuginema parimale võimalikule informatsioonile nii merekeskkonna seisundi kui sotsiaalmajandusliku olukorra kohta.

Järgnevalt on välja toodud rida kriteeriume, mida saab arvestada sinimajanduse arendamiseks sobilike merealade valikul:

Majanduslik ja keskkonna sobivus – Kõik sinimajanduse sektorid vajavad teatud keskkonnatingimusi ja majanduslikku loogikat. Majanduslik loogika tekitab teatud huvi või vajaduse sobivate merealade leidmiseks mille järel toimub sobivate keskkonnatingimuste järgi huvipakkuva ala lokaliseerimine. Selline protsess viidi läbi ka praegu kehtestamist ootava mereala ruumilise planeeringu käigus, kus teostati eraldi analüüs määramaks sobivad tuuleenergeetika alad ja vesiviljelusalad. Selleks kasutati parimat olemasolevat teavet ja ekspertiisi. Vastavate alade lõplikul määramisel oli oluline ka huvigruppide arvamus. Samas kogu seda protsessi iseloomustas adekvaatse keskkonnainfo defitsiit (näiteks merepõhja loodusväärtuste kaardistamine on Eestis pooleli, hetkel inventeeritud vaid kuni 1/3 merealast). Sellises olukorras on lihtsalt tekkimas juhtumid, kus juba planeeringuga teatud sektorile määratud alal leitakse hiljem arendusprojekti KMH käigus projekti arendamist välistavad või piiravad asjaolud.

Väiksematel aladel on võimalik ka enne teatud sektori sobivuse hindamist läbi viia ka täiendavad uuringud, mis annavad kindlust sobivuse otsuse teostamisel.

Sotsiaalsed tingimused – kuigi mereala puhul on elanikkonna otsene huvi reeglina väiksem tuleb ka mereala kasutusse võtmisel arvestada sotsiaalse sobivusega. Eriti väljendub sellise „sotsiaalse puhvri“ tekitamise vajadus suuremõõtmeliste projekti puhul (avamere tuulikud, vesiviljeluse rajatised). Tuulenergeetika arengu alade valimisel Eesti mereplaneeringu käigus kasutatid sellist „sotsiaalset puhvrit“ (tuuleenergia alade kaugus minimaalselt 6 meremiili rannajoonest).

Konfliktid teiste tegevustega – ala hõivatus muude tegevustega – mõned sinimajanduse sektorid saavad eksiteerida ka samal merealal ja võimalik on nii ruumi kui resursside kooskasutus. Samas on sektoreid, mis seda ei võimalda. Siin tuleb kaaluda, kas sektorite mereruumi või mingi resursi kooskasutus põhjustab ka suuremat survet keskkonnale või teatud juhtudel on võimalik ka läbi kooskasutuse hoopis vähendada seda survet (näiteks paigutades avamere tuuleparki teatud tüüpi vesiviljeluse rajatise võib keskkonnasurvet hoopis vähendada).

Kavandatud tegevuse keskkonnamõju – kavandatud tegevuse keskkonnamõju on äärmiselt oluline kaalutluse kriteerium. Paljude tegevuste puhul on keskkonnamõju lihtsalt ennustatav, samas on ka tegevusi ja piirkondi, kus konkreetse mõju hindamiseks on vaja lisauuringud. Reeglina on nii, et mida uuem tehnoloogia või mida kaugemal rannikust soovitatakse arendust läbi viia seda keerulisem on hinnata keskkonnamõju.

Mereala seisund – Mereala seisund on oluliseks sisendiks otsustamaks teatud arenduste sobivust merealale. Mereala seisundi hindamiseks saab kasutada kas ametlikku keskkonnaseisundi hindamise skeemi (näiteks Veepoliitika raamdirektiivi järgset hindamiskeemi, mida rakendatakse rannikuveekogumite tasemel) või kasutada võrdlevat hindamist (võrrelda teatud parameetreid tesite alade suhtes). Reeglina ei ole otstarbekas lubada tegevusi, mis muudavad mereala seisundit halvemaks. Samas on paljude sinimajanduse sektorite tegevuste skaala selline, et isegi olulise mõju puhul ei saa see tegevus mõjutada veekogumi seisundit. Sellisel puhul tuleks kaaluda kohalike kahjulike mõjude leevendamist.

Looduskaitse – looduskaitse objektide (merekaitsealade) paiknemine merealal on reeglina välistavaks teguriks paljude sinimajanduse sektorite tegevuste jaoks. Samas on ka tegevusi, mille puhul ei ole vajalik automaatselt välistada seda tegevust looduskaitse objektidel või selle vahetus läheduses. Oluline on tuvastada potentsiaalne mõju looduskaitse objektile ja hinnata selle tähtsust kaitseesmärkide saavutamisele.

Loodusväärtuste dokumenteeritud olemasolu merealal – merealal võib paikneda ka loodusväärtusi või võib olla mereala või selle osa tähtis teatud liikidele smas ei ole mereala eraldi kaitse alla võetud. Teatud sinimajanduse sektorite puhul võib planeeritud tegevus kas otseselt kahjustada või oluliselt halvendada nende loodusväärtuste kvaliteeti. Selliste loodusväärtuste alla kuuluvad näiteks merepõhja elupaigad, lindude rändeteed või muude liikide migreerimiskoridorid aga ka töenduslike kalade kudealad. Eesti puhul on probleemiks teatud merealade puhul selliste loodusväärtuste puudulik dokumenteerimine. Sinimajanduse arendamise jaoks sobilike merealade valikul tuleb võimalusel sellised loodusväärtused kaardistada ja kasutada seda informatsiooni otsuste tegemisel.

Kultuuripärand – Eesti merealal on olemas piirkondi, mis on rikkad kultuuripärandi poolest (Soome lahe kesk- ja idaosa; Lääne Eesti Saarestiku põhja- ja lääneranniku lähedased merealad). Selleks on eelkõige erinevatest ajaperioodidest pärit laevavrakkide olemasolu aga teatud kohtades ka ajalooliste ehitiste ja rajatiste jäänused. Rakendamisel olevas mereala planeeringus pannakse uute ruumiliste asukohtadena paika ka veealuse kultuuripärandi säilitusalad Tallinna lahe alale, Käsmu, Abruksa ja Ruhnu lähedele. Samuti märgiti täiendavad alad vajadusel vrakkide uputamiseks sadamate lähedusse arvestades mh looduskaitse tingimusi (Rahandusministeerium & HENDRIKSON&KO, 2021). See informatsioon on reeglina hästi kättesaadav ja on oluliseks sisendiks merealade sobilikkuse hindamiseks erinevate sinimajanduse projektide teostamisel.

5.2.2 Sinimajanduse projektide KMH miinimumnõuded (Minimum knowledge set for performing EIA of different Blue economy projects.)

Aruande koostaja: Georg Martin

Sinimajanduse projektid erinevad oma resurssi kasutuse kui keskkonnamõju poolest. Olemasolev reeglistik keskkonnamõjude hindamiseks on ebapiisav adekvaatseks mõjude hindamiseks eriti suuremastaapsete arendusprojektide puhul andme- ja teadmistepuuduse tingimustes. Läänemere omapärast tingitult ei ole paljude arendusprojektide puhul olemas rahvusvahelist kogemust ega teadusinfot võimalike negatiivsete mõjude ja eriti kumulatiivsete efektide hindamiseks.

Sinimajanduse arendusprojektide puhul tuleb rakendada diferentseeritult täiendavaid nõudeid keskkonnamõju hindamise kvaliteedile ja mõju hinnangute põhjendatusele. Arvestada tuleb järgmisi projektide iseärasusi:

- Mereruumi kasutus
- Projekti ajaline mastaap (mõju lühiajaline/pikajaline)
- Olemasolev dokumenteeritud kogemus sarnaste projektide keskkonnamõju kohta kas mujal maailmas või Läänemeres
- Mõjutatavad merekekkona komponendid
- Taustainfo olemasolu kriitiliste mõjutatavate resursside või loodusväärtuste kohta

Sektoripõhised miinimumnõuded KMH läbiviimiseks tuleks kehtestada eesmärgiga tagada mõjude hindamise ühtlane standard üle kogu mereala. Ühtse standardi kehtestamine kergendab ka keskkonnaametnike vastavate aruannete menetlustoiminguid ja lihtsustab ka vastavate projektide kavandamist ja mõjude hindamise läbiviimist.

Sektorid millele puhul on otstarbekas kehtestada eraldi KMH läbiviimise miinimumnõuded:

- *Taastuenergeetika* (Läänemere kontekstis eelkõige tuuleenergeetika aga tulevikus võimalikud ka muud lahendused).
- *Vesiviljelus* (Võib olla väga erinevaid tehnoloogilisi lahendusi ja vesiviljelusobjekte, potentsiaalne mõju kõigil erinev, praegusel ajal taustateadmised puudulikud).
- *Maavarade kaevandamine* (Tänapäeval suuremastaapset maavarade kaevandamist merest ei toimu, potentsiaalselt võimalik mitme erineva maavara kasutuselevõtt).

Projekti tegevuste tulemustena esitatud soovitused

Arvestades mereRITA projekti käigus tehtud uuringute ja meetodikatsetuste tulemusi, soovime järgmisi täiendusi kehtivale keskkonnaseire programmile (Aruanne 5.1.1):

Valdkond/seiretöö	Täienduseettepanek lühidalt
Avamere seire/Rannikumere seire – pelaagilised mõõtmised	<p>Soovitame lisada avamere seire jaamade hulka täiendavad CTD jaamad CTD, klorofüll-a ja hapniku profiilide registreerimiseks, et jaamade vahe ei ületaks 25-30 km.</p> <p>Lülitada seireprogrammi uurimislaeva läbivoolusüsteemiga andmete kogumine.</p> <p>Kaaluda Saaremaast läänes asuva liuguri püsitranskti lisamist seireprogrammi.</p> <p>Alustada veesamba parameetrite (vähemalt T, S, O₂) pidevmõõtmisi seitsmes asukohas: basseinide süvikutes (Narva lahes; Liivi lahes; Läänemere avaosa põhjasseinis (jaam H2 läheduses) ja lõunaosas (jaam 32 läheduses); rannikunõlval (käesoleva projekti piirkonnas, Läänemere avaosas); väinades (Irbe väin, Väinamere keskosa seirejaam V15).</p> <p>Alustada Eesti merealadel pidevate hoovusmõõtmistega, soovituslikult samades asukohtades, mis toodud eelmises punktis ja Keri avamere jaamas.</p>
Hapestumise mõõtmine ja anorgaanilise süsiniku sisaldus	<p>Hapestumise indikaatoriks kasutada pH negatiivse trendi puudumist (merevee happelisemaks muutumise trendi puudumine)</p> <p>Alustada pCO₂ ja üldleelisuse mõõtmist kõigist pelaagilistest jaamadest</p>
Klorofüll-a ja primaarproduktioon veesambas - kaugseire	Viia läbi pilootuuring täpsustamaks klorofüll-a ja primaarproduktiooni mõõtmise võimalikkust kaugseire abil
Merepõhja geoloogia	<p>Rakendada akustilist kaugseiret merepõhja geofüüsikalistel uuringutel</p> <p>Merepõhja setete ohtlike ainete ja eutrofeerumisega seotud näitajate uuringute sagedust tuleb tõsta</p>
Võõrliikide seire	Rakendada eDNA-põhine invasiivsete võõrliikide seire riskipiirkondades (suuremates sadamates – Muuga sadam, Sillamäe sadam).

Merepõhja elupaigad	<p>Soovitame kriteeriumi D6C5 hindamiseks Eesti merealal kasutada olemasolevaid hinnanguid teiste mereala või selle objektide hindamise instrumentidest (VRD ja LD hindamine).</p> <p>Optiline kaugseire võimaldab madala rannikumere puhul parandada merepõhja elupaikade leviku kirjelduste usaldusväärsust</p>
---------------------	---

Projekti tegevuste tulemuste analüüs näitas ka järgmiste jätkuuringute läbiviimise vajadust:

Valdkond	Jätkutegevuse/-uuringu teema
Avamere seire	Avamere seire jaamade võrgu optimeerimine (Soome laht, Läänemere avaosa põhjassein)
Avamere seire	Avamere seire programmi täiendamine fikseeritud profileerijatega ja profileerivate ujukitega.
Avamere seire/Rannikumere seire	pH mõõtmiste meetodika ajakohastamine HELCOMis
Avamere seire/Rannikumere seire	pCO ₂ mõõtmiste strateegia täpsustamine Eesti merealal (mõõtmisplatvormid, jaamad, sagedus).
Avamere seire	Üldleeliselisuse ja pH põhjal aruvutatud DIC sisaldus, võimaldab hinnata mineraliseerumise arengu põhjal hapnikuvaegust just halokliinialustes kihtides erinevates mereosades. Mõõtmiste ruumilise paiknemine, tehnilised üksikasjad.
Avamere seire/Rannikumere seire	Jätkuuring erinevate klorofüll-a hindamise meetodite valideerimiseks ning vajadusel sobivamate algoritmide väljatöötamiseks, oluline, et oleks olemas vahendid ka välitööde teostamiseks. Uuringus käsitletavat teemat ära toodud aruandes 2.2.2.
Avamere seire	Merepõhja pinnasette fosfori eri fraktsioonide testuuring avamere seire valitud jaamades. Sellised uuringud võimaldaksid anda hinnangut settest lähtuvatele toitainevooegadele, nn fosfori sisekoormusele.
Rannikumere seire	Rannikuveekogumite pelaagiliste ja bentiliste jaamade võrgustiku piisavuse analüüs (praegune võrgustik ei ole enamasti piisav).
Avamere seire/Merepõhja elupaikade seire	Uue põhjaloomastiku seiretransekti asukoha määramine Läänemere avaosa põhjasseinis.
Avamere seire/Merepõhja elupaikade seire	Süvavee hapnikusisalduse hindamiseks 1-2 täiendava jaama määramine Ida-Gotlandi basseinis.
Merepõhja elupaikade seire	Merepõhja elupaikade kaardistuse algandmete tiheduse suurendamine Eesti merealal (proovipunktide tihedus peaks olema vähemalt 5 punkti km ² kohta).

Merepõhja geoloogia	Merepõhja setetele saasteainete (ohtlike ainete) normide väljatöötamine ja merepõhja ümberkujundamisel settest ohtlike ainete liikuma pääsemise piiramise võimaluste uuring.
---------------------	--

Kokkuvõte

mereRITA projekt oli äärmiselt kompleksne ja sisaldas erinevaid uuringusuundi, mis kõik olid suunatud uuringu lähteülesandes püstitatud eesmärkide täitmisele. Alljärgnevas tabelis on kokku võetud uuringu lähteülesandes püstitatud uurimisülesanded ja nende ülesannete täitmine projekti erinevate töörühmade poolt (ära toodud sisuaruannete koodid kus vastavaid teemasid on käsitletud).

Uurimisküsimused lähteülesandest	Uurimisküsimuse täitmise kommentaar
1.1. Millised meetodid võimaldavad asjakohaste riiklike seireprogrammide vajadustele vastavat seiretegevust läbi viia vähemate paikvaatlustega kui seni?	Teemat on käsitletud aruannetes 2.1.1; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1; 5.1.1.
1.2. Millised meetodid puuduvad praegustes asjakohastes riiklikes seireprogrammides, kuid aitaksid põhjakoosluste ja koelmualade kaitseks ning säästlikuks kasutamiseks meetmeid planeerida?	Teemat on käsitletud aruannetes 2.3.1; 2.4.1; 2.6.1.
1.3. Millised on eelised ja puudujäägid DNA põhistel meetoditel põhjakoosluste kirjeldamisel ja koelmualade seisundi või ohustatuse hindamisel?	Teemat on käsitletud aruannetes 2.4.1; 2.7.1.
1.4. Millised meetodid on kõige kuluefektiivsemad võõrliikide varaseks avastamiseks?	Teemat on käsitletud aruandes 2.4.1
1.5. Millised meetodid on kõige kuluefektiivsemad rannikumere seisundi muutuste jälgimiseks (nii looduslikud kui inimtekkelised muutused ja nende eristamisvõimalused)?	Teemat on käsitletud aruanetes 2.1.1; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1; 5.1.1.
1.6. Millised kalastikuga seotud analüütilised meetodid suudavad hetkel seireprogrammides olevaid saagipõhiseid meetodeid asendada?	Teemat on käsitletud aruannetes 2.5.1; 2.6.1; 2.7.1; 3.4.1; 4.3.1

1.7. Millised meetodid on kõige kuluefektiivsemad koelmualapõhiste kalaasurkondade seisundi hindamiseks (sh kas ja kui palju esineb kaitsealuseid ja võõrliike)?	Teemat on käsitletud aruannetes 2.5.1; 2.6.1; 2.7.1; 3.4.1; 2.4.1; 2.7.1; 4.3.1
1.8. Millised meetodid on kõige kuluefektiivsemad võõrliikide mõju tuvastamiseks looduslikele liikidele?	Teemat on käsitletud aruannetes 2.4.1; 2.7.1.
1.9. Millised tulud ja kulud kaasnevad välja pakutavate meetodite kaasamisega asjakohastesse riiklikesse seireprogrammidesse (kuluanalüüs, paikvaatluse arvu vähenemine, operatiivsus)?	Teemat on käsitletud aruannetes 2.1.1; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1; 5.1.1.
2.1. Milline on meetodite võrreldavus ja usaldusväärsus praeguste riiklikes seireprogrammides kasutatavate meetoditega?	Teemat on käsitletud aruannetes 2.1.1; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1; 2.3.2; 3.1.1; 3.2.1; 5.1.1.
2.2. Millised on praktilisel kasutusel ilmnevad eelised ja puudused uutel meetoditel?	Teemat on käsitletud aruannetes 2.1.1; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1; 2.3.2; 3.1.1; 3.2.1; 5.1.1.
2.3. Kuidas metoodiliselt eristada looduslike muutusi inimtegevusest põhjustatud muutustest ning üksiksurveteguri ja survetegurite kumulatiivset mõju?	Teemat on käsitletud aruannetes 4.1.1; 4.2.1
2.4. Kui palju on võimalik tuletada vajalikku informatsiooni kaugseire andmetest?	Teemat on käsitletud aruannetes 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1; 2.6.1
2.5. Milline on välja pakutud kaugseire meetodite (kui neid on) ajalis-ruumiline katvus?	Teemat on käsitletud aruannetes 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1; 2.6.1
2.6. Millised on tõenduslikult oluliste indikaatorliikide (rannikul haug, säinas, luts, ahven, särg, avameres lest) koelmualade hetkeseisundid pilootalal?	Teemat on käsitletud aruannetes 2.5.1; 2.7.1; 4.3.1

<p>2.7. Milline on pilootala põhjaelupaikade struktuur, funktsioon ja seisund, elupaigatüüpide (aluseks Helcom HUB klassifikatsioon, arvestades ka loodusdirektiivi ja merestrateegia direktiivi laiu elupaigatüpe (EUNIS klassifikatsioon)) ruumiline jaotus, ulatus, omavaheline sidusus, tundlikkus ning nende seisund ja mõjutatus kliimamuutustest või ohustatus inimtegevusest?</p>	<p>Teemat on käsitletud aruannetes 3.1.1; 3.2.1</p>
<p>2.8. Milline on pilootala merepõhja geoloogiline ehitus ja hüdro-morfoloogia – põhjasetted, nende koostis, liikumine jm?</p>	<p>Teemat on käsitletud aruandes 2.3.2</p>
<p>3.1. Millised arendatud metoodikakomplektid on mõistlik tulevikus asjakohastesse riiklikesse seireprogrammidesse lisada? Võimalusel lisada ligilähedane kuluarvestus.</p>	<p>Teemat on käsitletud aruandes 5.1.1</p>
<p>3.2. Millised on mereuuringute kohustuslikud seirekomplektid, et saada integreeritud ülevaade nii keskkonnaseisundist kui loodusväärtustest?</p>	<p>Teemat on käsitletud aruandes 5.1.1; 5.2.2</p>
<p>3.3. Millised on uute meetodite kasutusele võtmisega saadav kokkuvõtte või lisakulutused?</p>	<p>Teemat on käsitletud aruandes 5.1.1</p>

Kasutatud allikad

Depellegrin, D.; Hansen, H.S.; Schröder, L.; Bergström, L.; Romagnoni, G.; Steenbeek, J.; Gonçalves, M.; Carneiro, G.; Hammar, L.; Pålsson, J.; Schmidbauer Crona, J.; Hume, D.; Kotta, J.; Fetissof, M.; Miloš, A.; Kaitairanta, J.; Menegon, S. 2021. Current status, advancements and development needs of geospatial decision support tools for marine spatial planning in European Seas. *Ocean and Coastal Management*, 209, 105644.

Galparsoro, I.; Pınarbaşı, K.; Gissi, E.; Culhane, F.; Gacutan, J.; Kotta, J.; Cabana, D.; Wanke, S.; Aps, R.; Bazzucchi, D.; Cozzolino, G.; Custodio, M.; Fetissof, M.; Inácio, M.; Jernberg, S.; Piazzi, A.; Paudel, K.P.; Ziemba, A.; Depellegrin, D. 2021. Operationalisation of ecosystem services in support of ecosystem-based marine spatial planning: insights into needs and recommendations. *Marine Policy*, 131, 104609.

LISAD

2.1.1. Methodology for spatial characterization of habitats using autonomous high-frequency in-situ observations in combination with conventional monitoring, remote sensing and model outcomes [aruanne](#)

2.1.2. Carbon system monitoring guidelines and acidification indicator description [aruanne](#)

2.2.1. Improved chlorophyll-a algorithm [aruanne](#)

2.2.2. Estimating primary production from remote sensing [aruanne](#)

2.3.1. Optical remote sensing for mapping seabed habitats [aruanne](#)

2.3.2. Seabed geological inventories: acoustic profiling and sediment survey [aruanne](#)

2.4.1. Applicability of eDNA based methodology for early detection of alien (cryptic) species [aruanne](#)

2.5.1. Methodological approach to analyse the contribution of different spawning grounds to the stock recruitment of different coastal fish [aruanne](#)

2.6.1. Mapping the functioning of fish spawning areas with remote sensing [aruanne](#)

2.7.1. DNA-põhise metoodika välja töötamine ja tõhususe hindamine haugi efektiivse kudekarja suuruse seiramiseks Saaremaa rannikumeres [aruanne](#)

3.1.1. Mereliste elupaigatüüpide seisundi hindamise metoodika [aruanne.pdf](#)

3.2.1. Mereliste elupaigatüüpide seisundi hindamise metoodika testimine pilootalal [aruanne](#)

3.3.1. Võõrliikide kaardistamine rahvateaduse abil [aruanne](#)

3.4.1. Koelmualade kvaliteedi hinnangud tüüpelupaikades [aruanne](#)

4.1.1. Survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise raamistik [aruanne.pdf](#)

4.2.1. Veebipõhine tööriist hindamaks survetegurite kumulatiivset mõju loodusväärtustele [aruanne](#)

4.3.1 Modelling the ecological status of spawning grounds of commercially important fish under changing human pressures. [aruanne](#)

5.1.1. Proposal for updating Estonian marine monitoring programme. [aruanne](#)

5.2.1. Set of criteria to define areas for developing the Blue economy. [aruanne](#)

5.2.2. Sinimajanduse projektide KMH miinimumnõuded aruanne. [aruanne](#)