



This deliverable is part of a project that has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 951963.

## D7.2

### Peipsi järve ökosüsteemi seisundi parandamise strateegia

#### Strategy Document for Lake Peipsi ecosystem status

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| <b>Grant Agreement No:</b>        | 951963  |
| <b>Project Acronym:</b>           | TREICLAKE   |
| <b>Project Title:</b>             | Towards research excellence and innovation capacity in studying lake ecosystems functional structures and climate change impact |
| <b>Contractual delivery date:</b> | 31.12.2022  |
| Actual delivery date:             | 02.05.2023  |
| <b>Contributing WP:</b>           | 7. Improving Aquatic Ecology Awareness and Exploit Research Results   |
| <b>Dissemination level:</b>       | PU  |
| <b>Compiled by:</b>               | Estonian University of Life Sciences (EMU),<br>contact: Lea.Tuvikene@emu.ee   |



## Sisukord

|  |    |
|--|----|
| EXECUTIVE SUMMARY .....  | 2  |
| KOKKUVÕTE .....  | 9  |
| Sissejuhatus.....  | 11 |
| Peipsi järve lühiiseloostus ja peamised probleemid.....  | 11 |
| STRATEEGIA EESMÄRGID .....   | 18 |
| TEGEVUSKAVA .....  | 18 |
| Tegevuskava.....   | 19 |
| I Riikliku keskkonnaseire jätkumine .....  | 19 |
| II Koostöö jätkamine Venemaa Föderatsiooniga järve ja valgala seisundi jälgimiseks .....   | 21 |
| III Koostöö sihtrühmadega ja teavitatus .....  | 22 |
| IV Vajalikud uuringud Peipsil ja tema valgla .....   | 23 |
| Lisamaterjalid.....  | 26 |
| Hiljuti lõppenud Eesti Maaülikooli teadusuuringud (pealkiri, aeg, vastutav täitja, rahastaja).....                               | 26 |
| Aastal 2023 jätkuvad Peipsi järve ökosüsteemiga seotud Eesti Maaülikooli teadus-uuringud (sh rakendusteaduslikud uuringud) ..... | 26 |
| KIRJANDUS .....  | 28 |

## EXECUTIVE SUMMARY

This strategy for improving the ecosystem status of Lake Peipsi has been prepared by the Centre for Limnology of the Estonian University of Life Sciences (EMU). The overview of the ecosystem's current status is based mainly on the monitoring and research of the Lake Peipsi ecosystem, but also on several climate reports.

The partners of the European Union's Horizon 2020 project TREICLAKE - Aarhus University (Denmark) and Jyväskylä University (Finland), as well as the Peipsi Cooperation Center (Peipsi CTC) have been helpful in developing the strategy. The strategy provides an overview of the state of Lake Peipsi and its fauna, its changes due to both natural factors and human influence. Current lake management measures have been described and analyzed, studies have been proposed that would contribute to the planning of measures aimed at improving the state of the lake's ecosystem.

Since this strategy is primarily aimed at the Estonian target groups, it is written in Estonian while the English summary presents a concentrated overview of the state of the Lake Peipsi ecosystem and a short summary of the recommended courses of action.

Lake Peipsi (also known as Lake Peipsi *sensu lato*, *s.l.*), the Europe's fourth largest lake and the largest transboundary lake in Europe is situated between the Republic of Estonia (European Union) and the Russian Federation. Its surface area is 3555 km<sup>2</sup> and it includes three basins: Lake Peipsi *sensu stricto* (*s.s.*), Lake Lämmijärv and Lake Pihkva (Fig.1). The mean depth of Lake Peipsi is 7.1 m and the lake is typically non-stratified. The two southern basins are considerably smaller and shallower than the northern basin, Lake Peipsi *s.s.* These southern basins are thus more sensitive to eutrophication and climate warming. Nutrient loading decreased considerably in the late 1980s and early 1990s, but the lake is still eutrophic, and water quality in all three basins has further deteriorated, as evidenced by cyanobacterial blooms and fish kills in summer (Kangur et al., 2013; Nõges et al., 2020; Tammeorg et al, 2022).

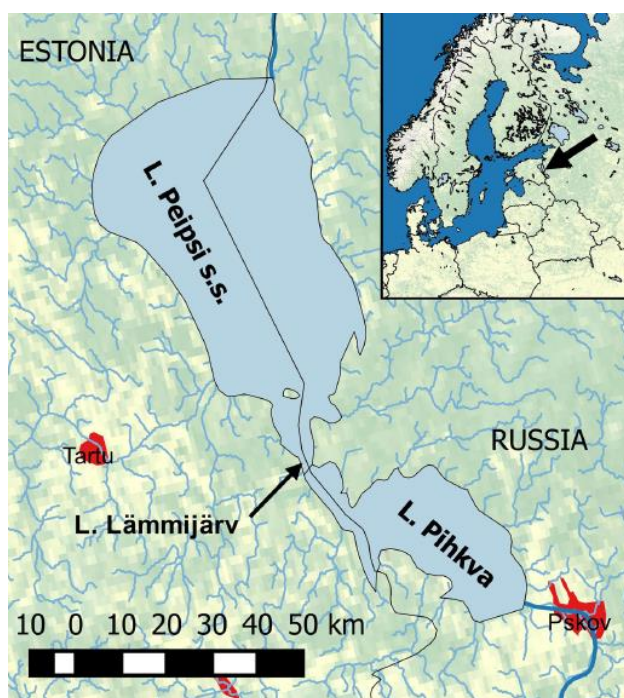


Figure 1. Lake Peipsi (*s.l.*) and its three basins. From Fink et al., 2020.

The main environmental problem of the lake is anthropogenic eutrophication, which is amplified by global climate change. Fluctuations in water levels and local weather conditions are the main natural factors that influence the ecological status of this large and shallow lake.

### **A warming climate leads to more frequent periods of low water**

The impact of water level changes on shallow lake ecosystems is strong. Water level changes in Peipsi are 1.4 m in annual amplitude, causing up to 57% change in water volume and 26% change in depth (Kliimamuutuse..., 2012). In the hot summer of 2022, water temperatures in Lake Peipsi were among the highest observed in the last 24 years, and water level was significantly lower than average. Climate alterations in shallow lakes at higher latitudes,

where the length of the growing season is driven by ice regimes and phenology, are expected to cause increases in phytoplankton abundance and sediment resuspension, decreases in submerged macrophyte biomass and zooplankton size, and enhancement of pelagic primary production at the expense of benthic production (Jeppesen *et al.* 2014).

Global warming supports the competitiveness of cyanobacteria. Lake Peipsi is well mixed due to wind and waves and does not stratify persistently during summer. At low water levels, waves in Lake Peipsi will resuspend bottom sediments (Tammeorg *et al.*, 2013; 2016), repeatedly releasing accumulated nutrients over time, resulting in proliferation of algae and large plants (Nõges *et al.*, 2008).

Nitrogen inflows from catchment areas and atmospheric deposition into lakes have decreased in some lakes, leading to nitrogen deficiencies (Weyhenmeyer *et al.*, 2007). In these cases, as in Lake Peipsi, the proliferation of atmospheric nitrogen-fixing, potentially toxic blue-green algae (cyanobacteria) has been a problem each summer. Temperature dependence is the main factor determining the proportion of atmospheric N<sub>2</sub>-fixing species in the phytoplankton community in Lake Peipsi (Nõges *et al.* 2008), and water temperatures are increasing. Non-N<sub>2</sub>-fixing cyanobacterial taxa, such as *Microcystis*, are also common in Lake Peipsi and capable of producing harmful toxins (Panksep *et al.* 2020).

Nitrates and water temperature are the main environmental variables influencing cyanobacterial community composition and the abundance of toxic genotypes (Panksep *et al.*, 2020). Historically, algal blooms in Peipsi appeared in late summer, but blue-green algal blooms have more recently been observed in June, or even May. Combined with eutrophication, climate warming shifts phytoplankton communities towards bloom-forming and potentially toxic cyanobacteria (Kosten *et al.*, 2012; Panksep, 2022). If water temperatures in Peipsi *s.s.* exceed, even for a short time, 24 °C, or if mean water temperatures for July, August, or May-September exceed 20.7 °C, 19.3 °C, or 16.5 °C, respectively, then blue-green algae blooms can be expected in Lake Peipsi *s.l.* at current total phosphorus (TP) concentrations (Nõges, 2020). A simplified model considering the effects of only water temperature and TP concentration on the proportion of cyanobacteria in the phytoplankton community (CY%) showed that TP concentration must be decreased by 3 mg/m<sup>3</sup> to maintain the current ecological state of the lake and compensate for the 0.3 °C increase in ten-year average summer water temperatures (Nõges & Nõges 2014). When cyanobacteria reach a stable state in shallow eutrophic lakes, climate warming will only enhance their competitiveness and dominance (Nõges, 2020).

### **Algae blooms may cause fish kills**

Low water levels coinciding with elevated water temperatures have repeatedly caused cyanobacterial blooms, which contribute to summer fish kills in Peipsi (Kangur *et al.*, 2005; Kangur *et al.*, 2016). A large biomass of algae may cause oxygen supersaturation during the day via photosynthesis, but oxygen depletion by early morning via respiration over night to maintain cellular function. Cyanobacterial biomass is constantly 'turning over', with dead cells being decomposed by heterotrophic bacteria, which also consume oxygen. Large fluctuations in oxygen in warm water are difficult conditions for which fish must adapt. In addition, high

photosynthesis increases pH, which can result in ammonium being transformed into toxic ammonia (Nöges & Nöges, 2011).

The situation for fish is aggravated by cyanobacterial toxins. However, the actual cyanotoxin concentrations in fish tissues and their harmful impact on fish has not yet been assessed in Peipsi. There are five known cyanobacterial genera in Peipsi that are capable of producing toxins. The most notable species are *Dolichospermum crassum*, *D. lemmermannii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Gloeotrichia echinulata*, *Microcystis viridis*, *M. wesenbergii*, and *Planktothrix agardhii* (Panksep, 2022). *Microcystis* is pervasive in eutrophic freshwater systems globally, and is dominant among potentially toxic algae in Peipsi (Laugaste et al., 2013; Panksep et al., 2020). *Microcystis* can remain viable under dark and cold winter conditions in lake sediments (Brunberg and Blomqvist, 2002), assimilate P from sediments, and then use this internal storage to support rapid growth when water temperatures increase and nitrogen (N) is available (Šejnohová and Maršálek, 2012). In late summer, cyanobacteria dominance and *Microcystis* spp. biomass in Peipsi s.s. is supported by internal nutrient loading from sediments. Despite decreased TP external loading since 1995, internal nutrient loading from sediments still exceeds external TP loads (Nöges, 2020; Tammeorg et al., 2020) and supports thereby high potentially toxic blue-green algal biomasses.

Another potentially toxic cyanobacterium, *Gloeotrichia echinulata*, inhabits the moderately eutrophic Peipsi s.s., and the presence of this species increases at water temperatures higher than 22 °C and low water levels, but independent of nutrient concentrations (Laugaste et al., 2013). Microcystins were found in all 69 monthly samples collected from Peipsi (2010-2012), but toxin concentrations in integrated water samples were generally less than 1 µg/L (Panksep et al., 2020). In a previous study (Tanner et al., 2005), microcystin concentrations up to 2183 µg/L were measured in nearshore areas, where algae can accumulate due to wind influence. Therefore, even low concentrations of microcystins in open waters may represent a risk for recreational lake users (Panksep et al., 2020; Toxins, C., 2020).

### **Structural shifts in fish assemblages took place since 1990s**

The Peipsi ecosystem responds to climate change in a variety of ways. Decomposition of abundant organic matter in shallow, warm water leads to siltation of fish spawning grounds and promotes the rapid expansion of reedbeds. Seasonal spawning patterns of organisms also may change; for example, the spawning season of bream (*Abramis brama*) in Estonian water bodies has shifted to about 10 days earlier, but spawning temperature has not changed. In contrast, no shift in the spawning time of roach (*Rutilus rutilus*) has been observed. The resulting difference between spawning times of roach and bream decreased from 22 to 13 days, and the difference in average water temperatures at the onset of spawning changed by about 3 °C (Nöges & Järvet, 2005). Increasing temperature and frequency and intensity of heat waves due to climate change primarily affect cool-water fish in Peipsi, such as Peipsi whitefish (*Coregonus lavaretus maraenoides*), vendace (*Coregonus albula*), burbot (*Lota lota*), and (dwarf) smelt (*Osmerus eperlanus* morfa *spirinchus*) (Kangur et al., 2020; 2022). These species require relatively clean, oxygen-rich water, and their decreased abundance is due mainly to changes in spawning conditions as a result of climate warming. If water temperature

is above 20 °C for extended periods, the number of smelt decreases (Kangur et al., 2007), and smelt populations have fluctuated strongly in recent years (Tammiksaar & Kangur, 2020). Structural shifts in fish assemblages in Peipsi are marked by domination of Eurasian perch (*Perca fluviatilis*), bream, and pike-perch (*Sander lucioperca*), which all prefer warmer, turbid water. During the last three decades, impacts of climate change on fish composition are greater than the impacts of excessive nutrient load and overfishing. Despite lower proportions of cool-water fish (declined about tenfold since the 1930s), none of these fish species have disappeared from the lake (Tammiksaar & Kangur, 2020).

### **Water transparency in the lake is decreasing**

Dissolved organic matter (DOM), causing a yellowish-brown water colour, enters the lake from the catchment, changes light conditions for photosynthesis, and reduces water transparency, thereby affecting phytoplankton community structure. DOM is also an energy source for the less efficient bacterial food web. DOM concentration in Peipsi depends on large seasonal changes in riverine transport and water levels. The amount of DOM in water is characterized by chemical oxygen demand (COD<sub>Cr</sub>) and biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>) measurements. Data from Estonian environmental monitoring since 1992 (Peipsi järve..., 2022) show yearly increases in COD<sub>Cr</sub> of 0.14-0.19 mg/L and BOD<sub>5</sub> increases 0.03 mg/L. Higher DOM concentrations are also associated with higher CO<sub>2</sub> release into the atmosphere, thus exacerbating the greenhouse effect and climate warming (Nöges & Nöges, 2011). Due to algal blooms and increasing organic matter content, water transparency has decreased since 1992 on average 12 cm/decade in Lake Peipsi s.s, 21 cm/decade in Lake Pihkva, and 29 cm/decade in Lake Lämmijärv.

### **The reeds expand**

Recent expansion of the common reed (*Phragmites australis*) via colonization of new areas in Peipsi has been the most remarkable consequence of nutrient enrichment, and this expansion will likely continue as a result of climate change (Palmik, 2017). According to cross-border macrophyte monitoring data, the giant reed, *Phragmites altissimus* (Benth.) Mabilie, has appeared in abundance on the Russian side of Peipsi in recent years. Its further invasion is likely due to climate warming, increasing nutrient concentrations, and siltation of littoral areas due to organic matter decomposition.

### **Native species are threatened by alien species**

Invasive species threaten local populations and the structure and functioning of the entire ecosystem. They can restructure the food webs, altering ecosystem functions and ecosystem services.

A freshwater amphipod (*Gmelinoides fasciatus*) was introduced into the Russian side of Lake Peipsi in the early 1970s as a potentially valuable food item for fish. Today, it is considered an invasive alien species in Estonia. It successfully hides from fish in the sediment, has the same food preferences as the local species of freshwater shrimp (*Gammarus lacustris*), reproduces quickly and destroys everything in its power, crowding out many other benthic species (Timm and Tuvikene, 2019). It significantly reduces the taxon richness of the lake, thus lowering its

ecological status. On the 520 km long coastline of Peipsi (including the islands), the estimated area of the *Gmelinoides* habitat is 156 km<sup>2</sup>.

Another alien species, the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) acts rather as an effective water purifier. In addition, other benthic species find shelter and additional food between its shells, increasing biodiversity of the lake (Timm and Tuvikene, 2019).

On the Russian side of Peipsi, *Phragmites altissimus* (Benth.) Mabilite, which is considered a subspecies, variety or even a separate species of common reed (*P. australis*), has appeared in coastal monitoring sites (Peipsi järve..., 2021). With the warming of the climate, it is feared that its range will expand.

In Estonia, the marble crayfish (*Procambarus virginalis*) was first detected in the Balti Power Plant outflow channel in Narva Reservoir in 2017 (Ercoli et al., 2019). The species has also been considered a potential threat to the Peipsi ecosystem, should it reach there.

### **In summary, the general state of the ecosystem of Lake Peipsi in 2023**

The main consequence of human impact on the lake is accelerated eutrophication.

The high phosphorus content is the main factor controlling phytoplankton biomass.

Despite the reduced external nutrient load, the total phosphorus concentration in the water is still higher than in the 1980s due to high internal P load.

In order to mitigate the impact of climate change on the ecosystem, external nutrient load must be reduced.

**The deteriorating condition of Peipsi is indicated by** a reliable downward trend in water transparency in all parts of the lake, an increase in phytoplankton biomass, an increase in the proportion of blue-green algae among algae, a decrease in the species richness of phytoplankton, an increase in the proportion of rotifers among metazooplankton and the harmful effects of alien species on the local biota.

**The strategy for maintaining and improving the state of the Lake Peipsi ecosystem is aimed** at Estonian authorities, non-profit organizations, and municipalities around Peipsi, which are responsible for the good state of the Peipsi ecosystem. The main goal of the strategy is to identify activities that must be continued consistently, as well as to plan possible activities that support the functioning of the lake's ecosystem.

First of all, it is necessary to stop human-caused eutrophication. Essentially, for such a large lake, this means to reduce pollution from point sources and diffuse pollution to further limit the addition of plant nutrients to the lake. Applying classical lake restoration methods (e.g., cleaning from sediments, chemical stabilization of sediments, changing the water exchange,

biomanipulation) is too expensive for such a large lake. However, recent studies of the distribution and propagation mechanisms of the internal load of phosphorus in Lake Peipsi (Tammeorg et al., 2023) give promising results for finding methods to reduce the internal load faster than it occurs naturally.

The current strategy to improve the status of Lake Peipsi ecosystem foresees to continue and supplement existing measures and activities (annual national environmental monitoring, cross-border cooperation, scientific research, and environmental education and outreach activities) according to the availability of resources, and specifies the most important applied and scientific research.

In order to improve the condition of the ecosystem of Lake Peipsi, the most important applied studies are the proper assessment of the diffuse and point source pollution load of Peipsi on the Estonian side and its modelling throughout the entire lake, also quantification of the internal load of phosphorus and the planning of corresponding measures. In addition to regular monitoring of the macrophytes, it is necessary to carry out studies of reeds in order to create a management plan that also takes into account reeds as a habitat. The use of modern methods such as remote monitoring and high frequency measurements provides quick and important information about changes, modelling allows predicting future scenarios and planning preventive steps for the benefit of the ecosystem. Regular monitoring of cyanotoxins in the summer and autumn months provides important information about the state of the lake's ecosystem, but also contributes to the assessment of ecosystem services from a recreational, food safety (consumable fish) and for water use for drinking, farming and agricultural point of view.

The proposed applied and research studies cover various important topics in terms of the functioning of the Peipsi ecosystem, such as nutrient cycles and food chain studies, including research elucidating the effects of the use of lake resources (e.g. water, reeds, fish, alien species) on the ecosystem. Beside these, a more specific research such as distinguishing toxic blue-green algae strains from non-toxic ones (genotyping), studies of hazardous substances and micro- and nanoplastics have been proposed.

Finally, supplementary information provides an overview of recent or ongoing applied and scientific research projects at the Estonian University of Life Sciences, which are directly or indirectly related to the Peipsi ecosystem, as well as the most important scientific publications on the subject.

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 951963, and the Estonian Research Council grants PRG709 and PRG1167.

## KOKKUVÕTE

Strateegia Peipsi järve ökoloogilise seisundi parandamiseks sisaldab lühikest kokkuvõtet Euroopa suuruselt neljanda järve, Peipsi järve ökosüsteemi seisundist ja seda mõjutavatest teguritest, annab ülevaate Eesti Vabariigi ja Venemaa Föderatsiooni piirijärve majandamisest ning kavandab ökosüsteemi seisundi paranemist toetavad tegevused. Järve põhiliseks keskkonnaprobleemiks on inimtekkeline eutrofeerumine, mida võimendavad globaalsed kliimamuutused. Selle suure ja madala järve ökoloogilise seisundi peamised looduslikud mõjutajad on veetaseme kõikumine ja lokaalsed ilmastikuolud.

Kliima soojenemine toob kaasa sagedasemad madala vee perioodid ja annab sinivetikatele eelise teiste vetikate ees, põhjustades suviti nende massilist vohamist. Vetikaõitsengud põhjustavad kalade suremist ja vee läbipaistvuse vähenemist. Roostikualad laienevad hoogsalt ja võõrliigid ohustavad kohalikke liike.

Peipsi seisundi halvenemisest annavad märku vee läbipaistvuse usaldusväärne langustrend järve kõikides osades, fütoplanktoni hulga kasv, sinivetikate osakaalu suurenemine vetikate biomassis, fütoplanktoni liigirikkuse vähenemine, metazooplanktoni hulgas keriloomade osakaalu suurenemine ja võõrliikide kahjulik mõju kohalikule elustikule.

Peipsi järve ökosüsteemi seisundi säilitamise ja parandamise strateegia on suunatud kõigile järve hea seisundi eest seisvatele ametiasutustele, mittetulundusühingutele, Peipsi-äärsetele omavalitsustele. Strateegia peaesmärk on välja tuua tegevused, mida tuleb järjepidevalt jätkata, aga ka kavandada võimalikke järve ökosüsteemi toimimist toetavaid tegevusi. Esmajoones on vaja pidurdada inimtekkelist eutrofeerumist. Sisuliselt tähendab see nii suure järve puhul jätkuvat punkt- ja hajureostuse vähendamist, et veelgi piirata taimtoiteainete lisandumist järve. Klassikaliste järvede tervendamise meetodite (nt setetest puhastamine, setete keemiline stabiliseerimine, veevahetuse muutmine, biomanipulatsioon) rakendamine on nii suure järve puhul ilmselt seotud liiga suurte kulutustega. Kavandatud on seniste tegevuste (iga-aastane riiklik keskkonnaseire, piiriülene koostöö ja teadusuuringud) jätkamine ja täiendamine vastavalt ressursside kättesaadavusele, olulisemad rakendus- ja teadusuuringud, teavitustegevused.

Peipsi järve ökosüsteemi seisundi parandamise eesmärgil on keskse tähtsusega rakendusuuringud (paremal juhul kompleksne uuring), mis on suunatud fosfori ja lämmastiku bilansi väljaselgitamisele ja toiteainete koormuse vähendamise meetmete kavandamisele. See tähendab nii väliskoormuse (punkt- ja hajureostuse) kui sisekoormuse ulatuse võimalikult täpset hindamist. Põhjalik saasteainete koormuse kaardistamine Peipsi vesikonnas on tehtud aastal 2015 (Piirimäe et al., 2015), kasutades modelleerimist (PoIFlow mudel), kuid aastate jooksul on koormuse vähendamise meetmeid rakendatud nii asulate kui hajaasustuse heitveekäitluses. Samas näitavad uuringud põllumajandusest lähtuva hajureostuskoormuse mõningast suurenemist viimasel ajal (Nõges et al., 2020). Lisaks regulaarsele suurtaimestiku seirele on vaja teostada roostike uuringud, et luua nende majandamise kava, mis arvestaks ka roostike kui elupaigaga. Kaasaegsete meetodite nagu kaugseire ja pidevsagedusmõõtmiste

kasutamine annab kiiret ja olulist informatsiooni muutuste kohta, modelleerimine võimaldab prognoosida tulevikustsenaariume ja kavandada ennetavaid samme ökosüsteemi huvides. Sinvetikamürkide regulaarne seire suve- ja sügiskuudel annab olulist teavet järve ökosüsteemi seisundi kohta, aga panustab ka ökosüsteemiteenuste hindamisse puhkemajanduslikust, toiduturvalisuse ja veekasutuse seisukohast.

Välja pakutud rakendus- ja teadusuuringud katavad erinevaid Peipsi ökosüsteemi toimimise mõttes olulisi teemasid nagu toiteainete ringe ja toiduahela uuringud, järveressursside (nt vesi, pilliroog, kalad, vööliigid) kasutamise mõjude selgitamine ökosüsteemile, toksiliste sinivetikatüvede eristamine mittetoksilistest (genotüpiseerimine), ohtlike ainete ning mikro- ja nanoplastide uuringud. Lisamaterjalid annavad ülevaate Eesti Maaülikoolis hiljuti tehtud või käimasolevatest teadus- ja rakendusprojektidest, mis on otseselt või kaudsemalt seotud Peipsi ökosüsteemiga, ning olulisematest temakohastest teaduspublikatsioonidest.

Strateegia valmimist rahastas Horisont 2020, Euroopa Liidu teadusuuringute ja innovatsiooni raamprogramm grandiga nr. 951963, TREICLAKE ning Eesti Teadusagentuur grantidega PRG709 ja PRG1167.

## Sissejuhatus

Käesoleva strateegia Peipsi järve ökoloogilise seisundi parandamiseks on koostanud Eesti Maaülikooli limnoloogiakeskus põllumajandus- ja keskkonnainstituudi hüdrobioloogia ja kalanduse õppetool. Strateegia põhineb peamiselt Peipsi järve ökosüsteemi seirel ja uuringutel, kuid ka mitmetel kliimaaruannetel.

Strateegia väljatöötamisel on abiks olnud Euroopa Liidu Horisont 2020 projekti TREICLAKE partnerid – Aarhuse Ülikool ja Jyväskylä Ülikool, samuti Peipsi Koostöö Keskus (Peipsi CTC). Strateegia annab ülevaate Peipsi järve ja selle elustiku seisundist, selle muutustest nii looduslike tegurite kui inimõju toimet. Kirjeldatud ja analüüsitud on seniseid järve majandamise meetmeid, välja pakutud uuringuid, mis aitaksid kaasa Peipsi ökosüsteemi seisundi parandamisele suunatud meetmete kavandamisele.

See dokument valmis Euroopa Liidu rahalise abiga, see kajastab ainult autorite (Eesti Maaülikool) seisukohti ja Euroopa Komisjon ei vastuta selles sisalduva teabe eest.

## Peipsi järve lühiiseloostus ja peamised probleemid

Peipsi järv *s.l.* (*sensu lato*) asub Eesti (Euroopa Liidu) ja Venemaa piiril ning on Euroopa suurim piiriülene järv (veepeegli pindala 3555 km<sup>2</sup>) ja see koosneb kolmest osast: Peipsi Suurjärvest (Peipsi *sensu stricto*, *s.s.*; 2611 km<sup>2</sup>), Lämmijärvest (236 km<sup>2</sup>) ja Pihkva järvest (708 km<sup>2</sup>). Eesti Vabariigi piiridesse jääb 55% Suurjärvest, 50% Lämmijärvest ja 1,4% Pihkva järvest. Oma suuruse kohta on Peipsi järv madal, tema keskmine sügavus on 7,1 m ja ta ei ole tavaliselt kihistunud. Lõunapoolsed järveosad – Lämmijärv ja Pihkva järv – on tunduvalt madalamad kui Suurjärv, mistõttu nad on ka tundlikumad eutrofeerumise ja kliima soojenemise suhtes. Toitainete koormus Peipsile vähenes 1980. aastate lõpus ja 1990. aastate alguses märgatavalt, kuid järv on endiselt eutroofne ja vee kvaliteet kõigis kolmes järveosas on veelgi halvenenud, mida tõendavad suvised sinivetikate õitsengud ja kalade hukkumine (Nõges et al., 2020; Tammeorg et al., 2022). Perioodi 1997-2018 keskmisena ületab fosfori sisekoormus väliskoormust mitmekordselt (Tammeorg et al., 2020).

Peipsi on produktiivne kalajärv, siin elab 37 kalaliiki, kellest kümnekonnal on töenduslik või puhkemajanduslik tähtsus. Peipsi on Eesti mageveekogudest suurim ja tähtsaim kutselise ja harrastuskalanduse järv. Peipsi, Lämmi- ja Pihkva järve majandatakse koostöös Venemaa Föderatsiooniga. Püügivahendite arv, keeluajad, püügikvoodid, kontrolli meetmed ja ühine teadustöö lepitakse kokku Eesti Vabariigi Valitsuse ja Venemaa Föderatsiooni Valitsuse vahelise Peipsi, Lämmi- ja Pihkva järve kalanduse säilitamise ja kasutamise alase koostöö kokkuleppe alusel moodustatud valitsustevahelise kalapüügikomisjoni istungitel (<https://envir.ee/elusloodus-looduskaitse/kalandus/sisevete-kalandus>). Peipsi, Lämmi- ja Pihkva järve kalavarude iga-aastaste uuringute aruanded on kättesaadavad Keskkonnaministeeriumi kodulehel: <https://envir.ee/elusloodus->

[looduskaitse/kalandus/uuringud-ja-aruanded](#). Kogu järve kalasaagikus (sh Vene poolel) oli 2022. aastal 15 kg/ha, tähtsaimad püügikalad olid ahven, latikas, koha, haug ja kiisk. Röövtoidulised kalad (koha, ahven, haug, luts) moodustasid üle poole, 59% järve kogusaagist (Vaino, 2023).

Suurimad punktreostuse allikad on ligi 100 000 elanikuga Tartu linn ja Pihkva linn, kus on üle 200 000 elaniku. Tartu reoveepuhastus hõlmab bioloogilist ja keemilist puhastust, 85-90% fosforist eemaldatakse. Üle 60% fosforikoormusest ja ligi pool lämmastikukoormusest tuleb Peipsisse Venemaa poolt (Tammeorg et al., 2022).

Peipsi põhiliseks keskkonnaprobleemiks on inimtekkeline eutrofeerumine.

Suur fosforisisaldus järvevees on peamine fütoplanktoni biomassi reguleeriv tegur.

Vaatamata toitainete vähenenud väliskoormusele on üldfosfori kontsentratsioon vees suure sisekoormuse tõttu kõrgem kui 1980. aastatel.

Kliimamuutuste mõju leevendamiseks ökosüsteemile tuleb vähendada inimtekkelist eutrofeerumist.

Eestis on alates 1960. aastatest õhutemperatuur tõusnud keskmiselt 0,4 °C kümnendi kohta ning seda trendi peegeldab ka Peipsi veetemperatuur (Nõges & Nõges, 2014). Talvine Peipsi pinnaveetemperatuur on alates 2000. aastatest tõusnud 0,15 °C-lt 0,63 °C-ni ja kõrgeim talvine keskmine pinnaveetemperatuur (1,2 °C) registreeriti 2007. aastal (Öglü et al., 2020). Valitsustevahelise kliimamuutuste paneeli (IPCC) halvima stsenaariumi (A2) kohaselt tõuseb Euroopa järvede veetemperatuur 2100. aastaks 2–7 °C ning jää- ja lumikatte kestus väheneb järsult (Nõges et al., 2009; Eesti tuleviku..., 2015). Eelkõige tõusevad talvised ja kevadised temperatuurid, mis lühendab jääkatet aastaks 2070–2100 1–2 kuu võrra (Nõges et al., 2009). Aastate 2071–2100 kliimaproгноosid ennustavad kevadise suurvee nihkumist isegi kuni kolm kuud varasemaks (jaanuarisse) kui aastatel 1961–1990. Jääkatte kestus on alates 1960. aastatest lühenenud 35 päeva võrra ning talv 2019/2020 oli esimene kord, kui Peipsil ei tekkinudki püsivat jääkatet. Dramaatiline Peipsi veetemperatuuri tõus toimus aastatel 1987–1989 (Nõges & Nõges, 2011), kuid aastaks 2100 võib Peipsi aasta keskmine veetemperatuur tõusta 8,5 °C pealt isegi 11,5 °C –ni ja jääpäevade arv väheneda kuni 65% võrra ning kihistumine jäävabal ajal tugevneda kuni 43% (Kliimamuutuste mõju..., 2021). Viimati viidatud aruanne annab põhjaliku ülevaate kuni aastani 2100 prognoositavatest tagajärgedest kliimamuutuste tõttu Eesti järvede, sh Peipsi järve ökosüsteemile.

Sademetes hulk ja aurumine sõltuvad ka õhu- ja veetemperatuurist ning mõjutavad suhteliselt madala Peipsi järve veetaset. Veetaseme muutuste mõju madalate järvede ökosüsteemidele on tugev. Peipsi veetaseme muutused on aastase amplituudiga 1,4 m, põhjustades kuni 57% veemahu ja 26% sügavuse muutust (Kliimamuutuse..., 2012). 2021. ja 2022. aasta suvel olid Peipsi veetemperatuurid viimase 24 aasta kõrgeimate seas ning veetase keskmisest oluliselt

madalam. Looduslikud veetaseme kõikumised Peipsi järves on tugevalt seotud Põhja-Atlandi Ostsillatsiooni (NAO) indeksi kõikumisega. Pehmed talved (kõrge NAO) toovad kaasa kõrgema veetaseme ja suurendavad fosfori sissevoolu valgalalt, mis on suur oht Peipsi järve ökosüsteemi tervisele (Nõges & Nõges, 2011).

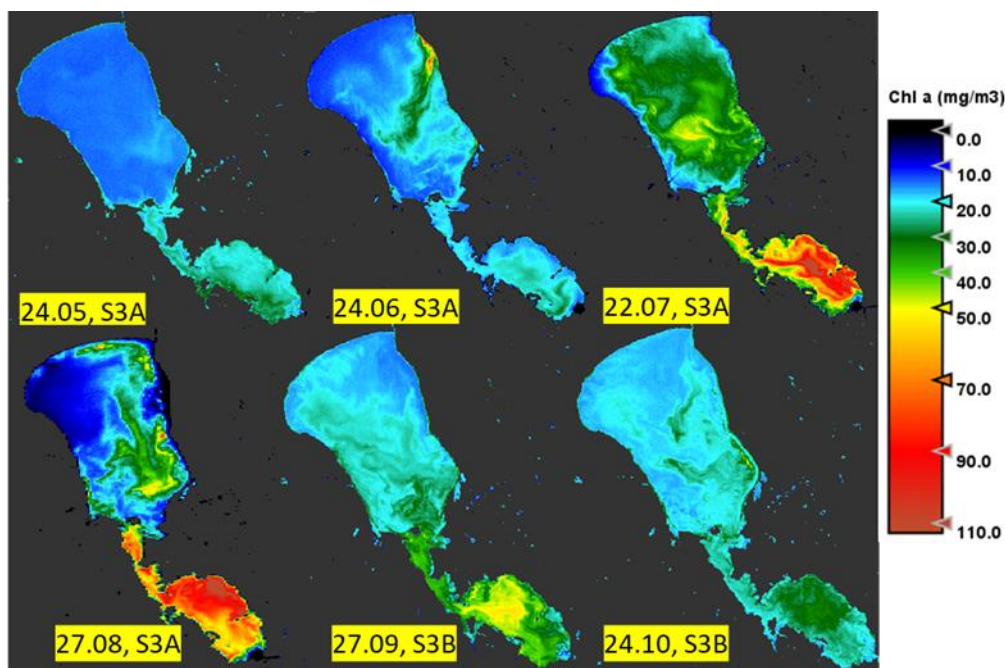
#### Ülemaailmne soojenemine annab sinivetikatele eelise teiste vetikate ees

Peipsi järv on tuule ja lainetuse tõttu hästi segunenud ega kihistu suvel, vastupidiselt sügavatele järvedele, kus setetest eralduvad toitained "lukustuvad" hüppekihi (veekiht, kus on kõige teravamad temperatuuri, tiheduse ja hapnikusisalduse gradiendid) all. Madala veetaseme korral ulatub Peipsil lainete mõju põhjaseteteni, vabastades sinna aja jooksul kogunenud toitaineid (Tammeorg et al., 2013; 2016). Selle tulemuseks on vetikate ja suurtaimede vohamine (Nõges et al., 2008).

Potentsiaalselt mürgiste, veeõitsenguid põhjustavate sinivetikate (tsüanobakterite) roll nii ökosüsteemi seisundi kui ökosüsteemi teenuste hindamise seisukohast on suur. Pikaajalise mediaanväärtusena on sinivetikate osakaal fütoplanktoni biomassist Peipsis 32%, Lämmijärves 54% ja Pihkva järves 57% (Nõges, 2020). Sinivetikate domineerimist madalates eutroofsetes järvedes peetakse üheks kahest stabiilsest seisundist (Jeppesen, 2014). Olles kord selle seisundi saavutanud, kindlustavad sinivetikad oma positsiooni. Nende konkurentsieelisteks on võime siduda õhulämmastikku, võime muuta oma ujuvust, et settepinnalt fosforit ammutada ja siis taas valgustatud pinnakihti tõusta, samuti efektiivsem fosfori muutmine biomassiks, mis omakorda tekitab varjutuseefekti teistele vetikatele. Soojadel suvedel on eriti soodustatud gaasivakuolidega sinivetikaliigid, mis pinnakihti kogunedes mürgiseid veeõitsenguid võivad tekitada ja randa uhutuna moodustada suuri vetikamasse, mis teevad ohtlikuks supelrandade kasutamise ja põhjustavad kalade suremist (Nõges, 2020).

Õhulämmastikku siduvate, potentsiaalselt toksiliste sinivetikate levik Peipsi järves on saanud igasuviseks probleemiks. Kui varasemalt toimus Peipsi vetikaõitseng hilissuvel, siis viimasel ajal on seda täheldatud juba juunis või isegi mais (joon. 2). Peipsi järves on levinud ka lämmastikku mittesiduvad sinivetikaliigid, näiteks perekond *Microcystis*, mis on võimeline tootma vetikatoksiine (Panksep et al., 2020).

Peamised keskkonnategurid, mis mõjutavad sinivetikakoosluse koostist ja toksiliste genotüüpide arvukust, on nitraadid ja veetemperatuur (Panksep et al., 2020). Koostoimes eutrofeerumisega nihutab kliima soojenemine fütoplanktoni koosluste struktuuri õitsenguid tekitavate ja potentsiaalselt toksiliste tsüanobakterite suunas (Kosten et al., 2012; Panksep, 2022). Praeguste üldfosfori (TP) kontsentratsioonide puhul on Peipsi Suurjärves sinivetikaõitseng tõenäoline, kui veetemperatuur ületab kasvõi lühiajaliselt 24 °C või kui keskmine veetemperatuur juulis, augustis või mais-septembris ületab vastavalt 20,7 °C, 19,3 °C või 16,5 °C (Nõges, 2020). Lihtsustatud mudel, mis arvestab ainult veetemperatuuri ja TP kontsentratsiooni mõju sinivetikate osakaalule fütoplanktoni koosluses (CY%), näitas, et **järve praeguse ökoloogilise seisundi säilitamiseks tuleb TP kontsentratsiooni vähendada 3 mg/m<sup>3</sup> võrra, et kompenseerida kümne aasta keskmist suvise veetemperatuuri tõusu 0,3 °C võrra** (Nõges & Nõges, 2014).



Joonis 2. Klorofüll  $a$  sisalduse ruumiline varieeruvus Peipsi järvel 2022. a. Pildid on laetud alla, töödeldud ja lubatud kasutada Kersti Kangro poolt (Peipsi järve..., 2023).

### Vetikaõitsengud põhjustavad kalade suremist

Madal veetase koos kõrge veetemperatuuriga on korduvalt põhjustanud Peipsis sinivetikate õitsemist ja kalade hukkumist (Kangur et al., 2005; Kangur et al., 2013). Suur vetikate biomass toodab päeval hapnikku, kuid ka tarvitab seda öösel hingamiseks. Vetikamassi suuremisele järgneb selle lagundamine heterotroofsete bakterite poolt, kes tarbivad samuti hapnikku. Suured hapnikusisalduse kõikumised soojas vees on keerulised olud, millega kalad peavad kohanema. Lisaks tõstab vetikamassi hoogne fotosüntees vee aluselisust. Normaalne Peipsi pH on 8,4-8,5, kuid kui see ületab juba 9,3, hakkab vetikamassi lagunemissaadus ammoonium muutuma ammoniaagiks, mis on kaladele ligi 1000 korda toksilisem (Tuvikene, 2022). Ka ei saa kalad liiga kõrge pH juures enam organismis lämmastikku sisaldavate ainete lagunemisjäätajana tekkivat mürgist ammoniaaki eritada, sest vees pole piisavalt vabu vesinikioone, millega liitudes ammoniaak normaalse pH juures muutub ammooniumiks. Organismis kuhjuv ammoniaak on kaladele surmav. Seejuures avaldub ammoniaagi mürgine mõju tugevamalt vee madala hapnikusisalduse juures (Tuvikene, 2022).

Kalade olukorda raskendavad veelgi sinivetikatoksiinid, kuigi nende sisaldust kalade kudedes ja kahjulikku toimet Peipsi kaladele pole veel uuritud. Peipsil on teada viis sinivetikate perekonda, mis on võimelised tootma toksiine. Kõige tähelepanuväärsemad liigid on *Dolichospermum crassum*, *D. lemmermannii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Gloeotrichia echinulata*, *Microcystis viridis*, *M. wesenbergii* ja *Planktothrix agardhii* (Panksep, 2022). *Microcystis* on levinud eutroofsetes magevetes kogu maailmas ja on Peipsi potentsiaalselt toksiliste vetikate seas domineeriv perekond (Laugaste et al., 2013; Panksep et al., 2020). Nad elavad üle pimedad ja külmad talvetingimused järvesetetes (Brunberg & Blomqvist, 2002),

omastades setetest fosforit ja kasutades seda sisemist varu kiire kasvu toetamiseks kohe kui veetemperatuur tõuseb ja lämmastik on saadaval (Šejnohová & Maršálek, 2012). Suve teisel poolel toetab sinivetikaid ja *Microcystis*'e liike Peipsi Suurjärves fosfori juurdevool setetest.

Teine potentsiaalselt toksiline sinivetikas, *Gloeotrichia echinulata*, asustab mõõdukalt eutroofset Peipsi Suurjärve, tema arvukus suureneb veetemperatuuril üle 22 °C ja madala veetaseme juures, kuid ei sõltu toitainete kontsentratsioonist (Laugaste et al., 2013). Mikrotsüstiine leidis kõigis 69 Peipsi järvest aastail 2010-2012 kogutud proovides, toksiinide kontsentratsioonid olid üldiselt alla 1 µg/l (Panksep et al., 2020). Ühes varasemas uuringus (Tanner et al., 2005) mõõdeti mikrotsüstiini kontsentratsioone kuni 2183 µg/l, kuid need proovid olid võetud kaldalähedastelt aladelt, kuhu vetikate pinnakogumikud tuule mõjul kokku olid lükatud. Sellisel viisil võib isegi väike mikrotsüstiinide kontsentratsioon avavetes kujutada endast ohtu järvede harrastuskasutajatele ja ujujatele (Panksep et al., 2020; Toxins, C., 2020).

#### Kalakoosluste struktuurinihked on toimunud alates 1990. aastatest

Peipsi ökosüsteem reageerib kliimamuutustele mitmel viisil. Rohke orgaanilise aine lagunemine madalas soojas vees viib kalade kudemisalade mudastumiseni ja soodustab roostiku kiiret laienemist. Samuti võivad muutuda organismide hooajalised kudemismustrid; näiteks latika (*Abramis brama*) kudemisaeg Eesti veekogudes on nihkunud umbes 10 päeva varasemaks, kuid kudemistemperatuur pole muutunud. Seevastu särje (*Rutilus rutilus*) kudemisaja nihkumist pole täheldatud. Sellest tulenev erinevus särje ja latika kudemisaegade vahel vähenes 22 päevalt 13 päevale ning kudemise alguse vee keskmiste temperatuuride erinevus muutus umbes 3 °C võrra (Nöges & Järvet, 2005).

Kliimamuutuste tõttu tõusev temperatuur ning kuumalainete sagedus ja intensiivsus mõjutavad eeskätt Peipsi külmaveekalu nagu Peipsi siig (*Coregonus lavaretus maraenoides*), rääbis (*Coregonus albula*), luts (*Lota lota*) ja Peipsi tint (*Osmerus eperlanus morfa spirinchus*). Need liigid vajavad suhteliselt puhast hapnikurikast vett ning nende arvukuse vähenemise põhjuseks on peamiselt kliima soojenemisest tingitud muutused kudemistingimustes. Kui veetemperatuur on pikemat aega üle 20 °C, siis tindi arvukus väheneb (Kangur et al., 2007). Peipsi tindipopulatsioonis on toimunud perioodilisi tõuse ja langusi, kuid pikas perspektiivis on populatsioon nõrgenenud (Kangur jt 2011; Tammiksaar & Kangur, 2020). Peipsi kalakoosluste struktuurseid nihkeid iseloomustavad ka ahven (*Perca fluviatilis*), latikas ja koha (*Sander lucioperca*), kes kõik eelistavad soojemat ja hägusemat vett. Viimase kolme aastakümne jooksul on kliimamuutuste mõju Peipsi kalakooslusele olnud suurem kui liigse toitainekoormuse ja ülepüügi mõju. Vaatamata külmaveekalade väiksemale osakaalule (1930. aastatest alates umbes kümme korda vähenenud), pole ükski neist kalaliikidest järvest kadunud (Tammiksaar & Kangur, 2020). Kliima soojenedes võib Peipsis sagedana veesamba kihistumine, toimuda kalakoosseisu oluline muutus, toiduahelas suureneda mittesöödavate koloonialiste sinivetikate osakaal, väheneda zooplanktoni ja zoobentose toiduks sobiliku fütoplanktoni biomassi osakaal (Kliimamuutuste..., 2021).

### Vee läbipaistvus väheneb

Lahustunud orgaaniline aine (LOA), mis põhjustab kollakaspruuni veevärvuse, siseneb valgalt järve, muudab valgustingimusi fotosünteesiks ja vähendab vee läbipaistvust, mõjutades seeläbi fütoplanktoni koosluse struktuuri. LOA on ka vähemtõhusa, bakteriaalset lingu sisaldava toiduahela energiaallikas. LOA kontsentratsioon Peipsi piirkonnas sõltub suurtest hooajalistest muutustest jõgede sissekandes ja veetasemest. LOA kogust vees iseloomustavad keemiline hapnikutarve ( $KHT_{Cr}$ ) ja biokeemiline hapnikutarve ( $BHT_5$ ). Eesti keskkonnaseire andmed alates 1992. aastast (Peipsi järve..., 2022) näitavad  $KHT_{Cr}$  iga-aastast tõusu 0,14-0,19 mg/l ja  $BHT_5$  tõusu 0,03 mg/L. Kõrgemad LOA kontsentratsioonid on seotud ka suurema  $CO_2$  eraldumisega atmosfääri, süvendades omakorda kasvuhoooneefekti ja kliima soojenemist (Nõges & Nõges, 2011). Vetikate õitsengu ja orgaanilise aine sisalduse suurenemise tõttu on vee läbipaistvus alates 1992. aastast vähenenud Peipsi Suurjärves iga kümne aastaga keskmiselt 12 cm, Pihkva järves 21 cm ja Lämmijärves 29 cm. Vee läbipaistvuse langustrend kõigis järve osades näitab järve seisundi halvenemist.

### Roostike ala laieneb

Peipsil aastail 2005-2022 kogutud andmed võimaldavad välja selgitada looduslike võnkumistega, eriti veetasemega seotud taimestiku muutusi (fluktuatsioone) ning teha esimesi järeldusi trendide kohta. Trendiks võib pidada niitrohevetikate jätkuvat rohkust Suurjärves viimasel kümnendil ning nende lisandumist Lämmijärve (Peipsi järve..., 2023).

Hariliku pilliroo (*Phragmites australis*) laiendumine Peipsis on olnud üleliigse toitainekoormuse kõige silmapaistvam tagajärg (Palmik, 2017). Piiriülese suurtaimestiku seire andmetel on Peipsi Venemaa poolel viimastel aastatel ohtralt ilmunud hiidroog *Phragmites altissimus* (Benth.) Mabilles. Selle invasioon on tõenäoliselt tingitud kliima soojenemisest, toitainete kontsentratsiooni suurenemisest ja orgaanilise aine lagunemisest tingitud rannikualade mudastumisest (Peipsi-Pihkva..., 2021).

### Võõrliigid ohustavad kohalikke liike

Rändvähk (Keskkonnaameti võõrliikide andmebaasis ka "siberi kirpvähk") (*Gmelinoides fasciatus*) asustati 1970. aastate alguses Venemaa poolelt Peipsi järve kui potentsiaalselt väärtuslik kalade toiduobjekt. Tänapäeval peetakse teda Eestis invasiivseks võõrliigiks. Ta peitub kalade eest edukalt liivas, on samade toidueelistustega kui kohalik liik jõe-kirpvähk (*Gammarus lacustris*), paljuneb kiiresti ja hävitab kõik, kellest jõud üle käib, tõrjudes välja enamiku teistest põhjaloomaliikidest (Timm ja Tuvikene, 2019). Ta vähendab oluliselt Peipsi liigi- ja taksonirikkust, seega alandab Peipsi ökoloogilise seisundi hinnangut. Peipsi 520 km pikkusel rannajoonel (koos saartega) on rändvähi elupaiga hinnanguline pindala kokku 156 km<sup>2</sup>.

Samuti võõrliigina Peipsit asustav rändkarp (*Dreissena polymorpha*) filtreerib aga intensiivselt vett ja toimib efektiivse veepuhastajana. Karbikodade vahel leiavad varju ja lisatoitu teised põhjaliigid ning koos karbiga on Peipsi elustik mitmekesisem (Timm ja Tuvikene, 2019).

Peipsi Vene poolel on litoraali seirekohtadesse ilmunud hariliku pilliroo alamliigiks, varieteediks või ka omaette liigiks peetav pillirooliik *Phragmites altissimus* (Benth.) Mabilie, kelle leviala laienemine on soojema kliimaga väga tõenäoline.

Aastal 2017 Eestis (Narva veehoidlas, Balti soojuselektrijaama väljavoolukanalis) esmakordselt leitud marmorvähki (*Procambarus virginalis*) (Ercoli et al., 2019) on samuti peetud Peipsi ökosüsteemi potentsiaalseks ohuks, juhul kui ta sinna peaks jõudma.

#### Inimmõju peamine tagajärg on kiirenenud eutrofeerumine

Vaatamata väliskoormuse vähenemisele, mis toimus eriti jõudsalt 1980ndatel aastatel, on fosfori üldkontsentratsioon järvevees, tulenevalt sisekoormusest, siiski kõrgem kui 1980. aastatel, ületades väliskoormust kolm korda (Tammeorg et al., 2020; Nõges, P. 2020). Fosfor on peamine fütoplanktoni hulka kontrolliv tegur Peipsi järves. Alates 1995. a on Suurjärves täheldatav üldfosfori nõrk, kuid usaldusväärne langustrend (Nõges, 2020).

Vetikate fotosünteesi tagajärjel tõuseb pH. Kuna pH sõltub peale järvesiseste protsesside ka valgust lähtuvast HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ekspordist ja sademete koostisest, on tema seos eutrofeerumisega ja fütoplanktoni arenguga mittestatsionaarne. Praegune pH trend näitab Peipsi järve seisundi halvenemist (Nõges, 2020).

Fütoplanktoni hulk on 1990. aastatega võrreldes kõigis järveosades kasvanud. Peipsis on vetikapigment klorofüll a (Chl a) andmetes usaldusväärne tõusutrend, mis näitab järve seisundi halvenemist (Nõges, 2020).

#### **Peipsi seisundi halvenemisest annavad viimase 20 aasta uuringute põhjal märku:**

1. Vee läbipaistvuse usaldusväärne langustrend järve kõikides osades. Vee läbipaistvus on vähenenud 10 aastaga Peipsi järvel 12 cm, Lämmijärvel 29 cm ja Pihkva järvel 21 cm (Nõges, 2020).
2. Alarmeriv on mürgiste sinivetikaliikide perekondadest *Dolichospermum*, kuid eriti *Microcystis* osatähtsuse märkimisväärne kasv Peipsis (Laugaste et al., 2013; Peipsi järve..., 2023). Kui sinivetikad jõuavad madalas eutroofses järves stabiilsesse olekusse, kindlustavad nad oma positsiooni ja kliima soojenemine ainult toetab nende konkurentsivõimet (Nõges 2020).
3. Alates 2016. aastast on fütoplanktoni liikide arvukus järve kahes põhjaosas vähenenud. Kui taksonite arv on vähenenud oligotroofsetele tingimustele iseloomulike kitsa ökonišiga liikide arvelt, siis tuleks liigirikkuse vähenemises näha veekogu seisundi halvenemise märki (Peipsi järve..., 2023).
4. Metazooplanktoni hulgas kasvab keriloomade suhteline arvukus ning nende keskmine arvukus alates aastast 2014. See näitab kogu Peipsi järve jätkuvat eutrofeerumist.
5. Invasiivne rändvähk (*Gmelinoides fasciatus*) tõrjub välja enamiku kohalikest kaldalähedase ala põhjaloomaliikidest.

### Peipsi seisundi paranemise märke:

1. Suurjärves on üldfosfori kontsentratsioon ja fütoplanktoni biomass vähenemas.
2. Mesotroofsetele vetele iseloomulikku sinivetikat *Gloeotrichia echinulata* on alates 2017. a. arvukalt leitud kõrgema troofsusega järveosades ja seda võib pidada nende seisundi paranemise märgiks (Peipsi..., 2023).

## STRATEEGIA EESMÄRGID

Peipsi järve ökosüsteemi seisundi säilitamise ja parandamise strateegia on suunatud kõigile Peipsi ökosüsteemi hea seisundi eest seisvatele ametiasutustele, mittetulundusühingutele, Peipsi-äärsetele omavalitsustele. Strateegia peaesmärk on välja tuua tegevused, mida tuleb järjepidevalt jätkata, aga ka kavandada võimalikke järve ökosüsteemi toimimist toetavaid tegevusi.

## TEGEVUSKAVA

Peipsi järve ökosüsteemi seisund sõltub otseselt reoveepuhastuse efektiivsusest ja põllumajanduses kasutatavatest kaitsemeetmetest. Viimasel kümnendil on Eestis toimunud olulised muutused: majanduslangus, muudatused tööstuse korraldamises ja olmevee surve vähenemine veekeskkonnale. Sellel on olnud positiivne mõju nii jõgedele, järvedele kui ka meredele.

Vaatamata sellele ei näita 1997.-2022. a seireandmed Peipsi ökoloogilise seisundi paranemist. Chl *a* ja üldfosfori kontsentratsioonid on jätkuvalt kõrged. Vee raamdirektiivi järgi „hea“ kvaliteediklassi saavutamiseks peaks üldfosfori tase madala veetaseme juures olema 35% madalam kui kõrge veetasemega (Nõges 2020).

**Kliimamuutuste mõju leevendamiseks on vaja pidurdada inimtekkelist eutrofeerumist. Sisuliselt tähendab see nii suure järve puhul jätkuvat punkt- ja hajureostuse jätkuvat vähendamist, et veelgi piirata taimtoiteainete lisandumist järve. Klassikaliste järvede tervendamise meetodite (nt setetest puhastamine, setete keemiline stabiliseerimine, veevahetuse muutmise, biomanipulatsioon) rakendamine võib nii suure järve puhul osutada väga kalliks. Hiljutised Peipsi järve fosfori sisekoormuse levikumehhanismide uuringud (Tammeorg jt, 2023) annavad siiski lootust, et ka sisekoormuse vähendamiseks on võimalusi.**

Üldiselt on järvede ökosüsteemid elastsed, mis aitab neil vastu pidada kahjulikele mõjudele ja soodsamatel perioodidel taastuda. Kui aga keskkonnahäiringute teatud piirid on ületatud, võib süsteem minna üle alternatiivsesse tasakaaluolekusse. Peipsil põhjustasid suured

veetemperatuuri muutused nihkeid madala ja kõrge sinivetikate osakaalu (CY%) olekute vahel (Nöges, 2020). Nihke teise stabiilsesse olekusse võivad vallandada väikesed, järkjärgulised muutused, kui keerulistes ökosüsteemides ületatakse kriitiline lävi (Scheffer & Carpenter, 2003). Enamasti on uus stabiilne seisund halvem kui enne seisundi muutumist. Eelmisesse olekusse naasmine võib aga toimuda ainult oluliselt parematel tingimustel kui need, mis põhjustasid esialgse tasakaalunihke.

Seetõttu on ka Peipsi järve ökosüsteemi seisundit vaja jätkuvalt seirata, suundumusi analüüsida, toimuvaid protsesse selgitada ja välja töötada meetmeid seisundi parandamiseks.

## Tegevuskava

### I Riikliku keskkonnaseire jätkumine

Riiklik keskkonnaseire on Peipsil toimunud igal aastal alates 1994. aastast igakuiselt mais (varem alates aprillist), juunis, juulis, septembris, oktoobris. On olnud aastaid kombineeritud Eesti-Vene piiriveekogude seireprogrammiga, mille raames seiretööd tehakse igal aastal augustis. Mõlema seireprogrammi tulemusi analüüsitakse ühtse tervikuna.

**Ülevaateseire** puhul on oluline järjepidevus, et hinnata pikaajalisi muutusi veeökosüsteemis. Peipsi järv on pidevseires, st seire toimub igal aastal. Seirejaamad on Peipsil kavandatud nii, et üks seirepunkt on iga 300 km<sup>2</sup> veepeegli pindala kohta, kaldavööndis uuritavate näitajate (kaldataimestik, suurselgrootud põhjaloomad, asjakohastel järvedel bentilised ränivetikad) seire tuleb tagada iga 50 km kohta. Vastavalt ressursside kättesaadavusele tuleb Peipsi järve puhul seireprogrammi uuendada, võttes lisaks tavaseire meetoditele kasutusele kaasaegsed võimalused.

Mõned tähtsad muutused ökosüsteemis võivad jääda tabamata väikse proovivõtu sageduse tõttu. Seetõttu on väga tähtis automaatse püsiseirejaama andmete ja tavaseire andmete paralleelne analüüs. Automatiseeritud kõrgsagedusmõõtmised parandavad Peipsi seisundi hindamist ja muutuste prognoosi. Keskkonnaagentuur on paigaldanud pidevsagedusmõõtmiste poijaama ja lainemõõtja Mustveest nelja kilomeetri kaugusele Peipsi järve. Poijaam mõõdab lisaks meteoroloogilistele näitajatele (õhutemperatuur, tuule kiirus ja suund, õhurõhk) ka Peipsi järve veekvaliteeti (veetemperatuur, hapnikusisaldus, hägusus, pH, elektrijuhtivus). Lainemõõtja abil on jäävabal perioodil võimalik lisaks poijaama poolt edastatavatele andmetele saada informatsiooni ka sealse lainetuse kohta (laine kõrgus, sagedus ja perioodilisus). Väliskoormuste täpsemaks hindamiseks oleks vaja sellised poijaamad paigaldada ka suurematele sissevooludele.

Kaugseire andmete kasutamine Peipsi seisundi hindamisel annab väärtuslikku lisainformatsiooni järve ökosüsteemi seisundi kohta. Satelliitfotod demonstreerivad hästi pinnaõitsengute makro-mastaapset laigulisust ja lubavad hinnata õitsengute kestust. Näiteks hinnati 2022. a. õitsengupäevade arvuks Suurjärves 112 ja Lämmijärves 84, mil klorofüll a sisaldus ületas vastavalt järveosale 18 ja 35,7 µg/L piiri.

Kliimamuutuste modelleerimise seisukohalt on otstarbekas kasutada järgmisi kaugseire andmeid: veetase (satelliitaltimeetria), järvede veepeegli pindala (optilistelt ja SAR piltidelt), vee kvaliteet (optilistelt piltidelt), veepinna temperatuur (infrapuna piltidelt) ja valgala maakasutus (ortofotolt, optilistelt ja SAR piltidelt). Kaugseire andmed võimaldavad seostada valgala maakasutuse muutused järve ökoloogilise seisundi (vee kvaliteedi) muutusega. Vastavalt "Kliimamuutuste mõju modelleerimise ja prognoosimine..." (2021) aruandele sagenevad Peipsis veeõitsengud, muutub kalastiku koosseis ning aineringe muutub ebaefektiivsemaks.

**Uurimuslik seire.** Ida-Eesti vesikonda kuuluval Peipsi järve veekogumil ja Pihkva-Lämmijärve veekogumil on vesikondade veeseireprogrammis 2022-2027 uurimusseire vajadus (programmi lisa 3) planeeritud aastateks 2022-2025 (Tabel 1), sest nende ökoloogiline koondseisund on enamasti kesine või halb, keemiline seisund mõlemas veekogumis halb.

**Tabel 1.** Uurimusseire vajadus Peipsi järvel vastavalt vesikondade veeseireprogrammile 2022-2027

| Veekogum          | Koondseisund | Mittehead elemendid  | Seisundit halvendavad tegurid  | Uurimuslik seire 2022-2025   |
|-------------------|--------------|--|--|--|
| Peipsi            | kesine       | Eutroofne järv<br>Toitained<br>Võõrliigid<br>Sisekoormus<br>Ohtlikud ained | Tsink<br>TBT settes<br>PBDE kalas  | Uuring saasteainete allika tuvastamiseks ja edasiste meetmete määratlemiseks   |
| Pihkva-Lämmijärve | halb         | Madal veetase<br>Sisekoormus<br>Ohtlikud ained                             | Alla 2000 ie reoveepuhasti ja muu heitveelask, põllumajandustegevuse tõttu pinnaveele avalduv koormus mitmesuguste ainete vette leostumise tõttu haritavalt maalt, metsamajandusega seotud koormus, ühiskanalisatsiooniga ühendamata inimesed, sadamad, supluskohad. | Uuring, milliseid veekogu tervendamise meetmeid on konkreetsel veekogumil asjakohane rakendada (sh Velikaja jõe P koormus) |

Peipsi järve ökosüsteemi seisundi paranemise huvides on Eesti Maaülikool ülevaateseire aruannetes (leitavad <https://kese.envir.ee/kese/>) loetlenud mitmeid uurimusseire vajadusi, mis sisalduvad ka käesoleva peatüki alajaotuses III (Vajalikud uuringud Peipsil ja tema valgla).

## II Koostöö jätkamine Venemaa Föderatsiooniga järve ja valgala seisundi jälgimiseks

56% Peipsi järve pindalast ja 58% järve valglast on Venemaa territooriumil. Piiriveekogude ökoloogiline seisund ja ressursikasutus on oluline mõlemale riigile ja seda saab paremaks muuta või vähemalt halvenemist vältida ainult mõlema riigi koostöös. Sellepärast on jätkuv seire- ja teaduskoostöö pikemas perspektiivis vajalik. Väga palju on seni ära tehtud Peipsi järve seisundi parandamiseks, aga pikem paus võib viia järve kalavarude vähenemiseni ja ökoloogilise seisundi halvenemiseni.

Eesti Vabariigi Valitsuse ja Venemaa Föderatsiooni valitsuse vaheline koostööleping Peipsi-, Lämmi- ja Pihkva järve kalavarude kaitse ja kasutamise alal võeti vastu 1994. aastal. Piiriveekogude kaitse ja säästliku kasutamise Eesti-Vene ühiskomisjon moodustati 1997. aastal. Ühiskomisjon arendab piiriülest koostööd kahe riigi valitsuste vahel, organiseerib pooltevahelist keskkonnaseire andmete vahetamist ja mõõtmismeetodite ühtlustamist, avardab mõlema poole teadus- ja avalike organisatsioonide koostöövõimalusi ning toetab piiriveekogude probleemide avalikku arutelu. Sisuliste küsimuste lahendamiseks on moodustatud kaks töörühma – veeressursside kompleksse haldamise töörühm ning seire, hinnangu ja rakendusuringute töörühm. Viimase ülesanne on riiklike seireprogrammide kooskõlastamine ja ühiste seiretööde korraldamine; kooskõlastatud seisukohtade väljatöötamine piiriveekogude koormuse ja veekogude seisundi hindamiseks; veekogude seisundi analüüs ja hinnang; vett kasutavate ettevõtete seireprogrammide ja meetodite harmoniseerimine; rakendusteaduslike uuringute korraldamine; ühiste ja kooskõlastatud andmebaaside loomise ja haldamise küsimused ning elanikkonna ja omavalitsuste informeerimine piiriveekogude seisundist.

Aastatel 2001-2014 korraldati ühisekspeditsioone Eesti Maaülikooli uurimislavaga, Eesti ja Venemaa teadlased kogusid koos proove kogu Peipsi järvel. Hiljem on võimalusel püütud piiriveekogu mõlemat poolt samaaegselt jälgida. Teise poole ekspeditsioonidel said osaleda nii eesti kui ka vene teadlased. Pärast Krimmi annekteerimist Venemaa poolt 2014. aastal ühisekspeditsioonid katkesid.

Andmevahetus ja analüüs ning piiriveekoguveekogude seisundi ühine hindamine on jätkunud ka koroonajal ja pärast Venemaa kallaletungi Ukrainale 2022. aastal. Eriti intensiivselt on andmevahetuse teemadega tegeletud koroonajal. Kummalgi poolel on oma meetodika veekogude seisundi hindamiseks, seetõttu saame ühiselt hinnata peamiselt muutuste suunda, kuid viimastel aastatel on tegeldud ühiste hindamiskriteeriumitega. Eesti ja Venemaa seire andmete kombineerimise võimalusi analüüsiti värskes teadustöös (Tammeog et al., 2022). Eesti andmete analüüs näitas, et veekvaliteedi hindamise tulemused sõltuvad suuresti proovivõtusedusest. Näiteks näitas Peipsi Suurjärve üldfosfor kolme kuu andmete põhjal pikaajalist langustrendi, mis aga kadus, kui lisati teiste kuude andmed. Seetõttu on veekvaliteedi adekvaatseks hindamiseks soovitatav teha seiret jäävabal perioodil (mai-oktoober) igakuiselt.

Kuna mõlemad pooled kasutavad seireks oma riigis tunnustatud meetodikat, ei ole kõik andmed, eriti bioloogilised näitajad, päris võrreldavad. Klorofüllilise meetodikad on aastatel

2014-2019 toimunud kahepoolse interkalibreerimise põhjal hinnatud piisavalt sarnaseks, tulemused osutusid rahuldavalt võrreldavateks. Põhjaselgrootute proovide võtmise ja analüüsi metoodikat ning zoobentose andmevahetuse protsessi on põhjalikumalt käsitletud paaril viimasel aastal (2020-2022). Arutluse all on ka vee läbipaistvuse, mis on korrelatsioonis nii keemiliste kui ka bioloogiliste näitajatega, potentsiaalne kasutamine ühise hindamiskriteeriumina.

2022. aasta jooksul töötati välja piiriveekogude Narva jõe ja Peipsi järve vesikonna seireprogramm aastateks 2023-2025. Eesti pool seirab Peipsi järve ja Lämmijärve Eesti poolel igakuiselt maist (varem aprillist) oktoobrini, Vene pool seirab Peipsi järve Vene poolel jäävabal perioodil (mai, august ja oktoober) kolm korda. Talvine seire Peipsi järve mõlemal poolel toimub veebruaris või märtsis.

COVID-19 pandeemia ajal katkes võimalus osaleda teise poole ekspeditsioonidel, samuti katkes võimalus interkalibreerimiseks – proovide võrdlevaks analüüsiks – sest ka proovide toimetamine üle piiri enam ei toiminud. Jätkuvalt toimusid veebikoosolekute vormis töörühmade ja ühiskomisjoni istungid.

Seoses Venemaa kallaletungiga Ukrainale muutus koostöö Vene poolega veelgi hapramaks. Eesti ülikoolid võtsid vastu otsuse katkestada koostöö agressorriigi teadusasutustega, kuid Piiriveekogude kaitse ja säästliku kasutamise Eesti-Vene ühiskomisjoni ja selle töörühmade töö on kaugvormis siiski jätkunud, sest piiriveekogude seisund oleneb mõlema poole pingutustest ja koostööst. Loodetavasti mõlemad pooled jätkavad võetud kohustuste täitmist võimaluste piires, st kumbki riik jätkab seiret vastavalt kokkulepitud tegevuskavale omal poolel. Teabe- ja andmevahetus arvatavasti jätkub, korraldatud infovahetus kahe poole vahel on ühtlasi distsiplineeriva mõjuga. Väga oluline on see kalapüügikvootide kokkuleppimisel ja nendest kinnipidamisel (sellega tegeleb Peipsi, Lämmi- ja Pihkva järve Eesti-Vene kalapüügikomisjon alates aastast 1994; vt <https://envir.ee/elusloodus-looduskaitse/kalandus/peipsi-lammi-ja-pihkva-jarve-estivi-vene-kalapuugikomisjon>).

Mitmesugused kohalike omavalitsuste, loodushariduskeskuste ja MTÜ-de piiriülesed keskkonnahariduslikud ja muud koostööprojektid on samuti katkenud.

### III Koostöö sihtrühmadega ja teavitus

Kuigi kohalike omavalitsuste, koolide, looduskeskuste ja MTÜde piiriülest koostööd enam praktiliselt ei toimu, on siiski vajalik jätkata keskkonnahariduse ja teavitusprojektidega Peipsimaal, et aidata kaasa inimtekkelise eutrofeerumise pidurdamisele ja kliimamuutuste mõju leevendamisele. Keskkonnainfo kättesaadavust, keskkonnahoidlike hoiakute ja käitumisviiside kujundamist ühiskonnas tähtsustab ka „Keskkonnahariduse ja -teadlikkuse tegevuskava 2023–2025“ (<https://envir.ee/kaasamine-keskkonnateadlikkus/keskkonnateadlikkus/keskkonnahariduse-ja-teadlikkuse-tegevuskava-2023>).

Varem toetas Peipsi piirkonna koostööd Eesti-Vene piiriülese koostöö programm, aga alates 2022. a jätkab selle programmi tegevuste elluviimist Eesti Euroopa Liidu välispiiri programm (seoses Venemaa sõjalise agressiooniga Ukrainas on koostöö Venemaaga peatatud alates veebruarist 2022). Üheks programmi prioriteediks ongi keskkonnakaitse ja kliimamuutuse leevendamine ning nendega kohanemine (<https://estoniarussia.eu/>). 2023. a. kevadel saavad alguse mitmed uued projektid, mis on suunatud Peipsi elurikkuse, keskkonnahariduse, veemajanduse, kalavarude jm. edendamisele. Väga oluline on kohalike elanike, turistide (sh harrastuskalurid) ja ettevõtete teavitustegevus ning teadusuuringute levitamine. Lisaks toetab KIK oma keskkonnateadlikkuse programmi kaudu looduslaagreid, teavituskampaaniaid ja muid sarnaseid tegevusi.

Oluline on osaleda igal võimalikul tasemel ka rahvusvahelises koostöös. Näiteks on Peipsi järv ja Võrtsjärv, mida esindavad Peipsi Koostöö Keskus, Eestimaa Looduse Fond ja Võrtsjärve SA, üleilmse Living Lakes võrgustiku liikmed alates 2003. aastast (<https://ctc.ee/activities-and-projects/running/living-lakes-network>).

IV Vajalikud uuringud Peipsil ja tema valglal

## **Vajalikud uuringud**

### **I Rakendusuurinud**

1. Peipsi hajureostuskoormuse hindamine Eesti poolel ja modelleerimine terve järve ulatuses – toiteainete koormuse piiramise eesmärgil esmatähtis rakendusteaduslik uuring, mis peaks olema planeeritud keskkonnaseire programmi uurimusliku seire projektina. Eesmärk: põhjalik hajureostuse kaardistamine ja modelleerimine, hajureostuse vähendamise meetmekava, sh teavitus- ja keskkonnaharidusliku kava väljatöötamine. Üks võimalik viis jõevee toitainete sisaldust valglal modelleerida on kasutada otsustusmetsa (ingl random forest) masinõppe meetodit (Virro et al., 2022). Virro jt poolt välja töötatud mudelis kasutati sisendina valglalt kogutud üldlammastiku ja üldfosfori kontsentratsioonide andmestikke ning prognoosimiseks lisati mudelisse erinevaid keskkonnategureid, mis jõevee toitainete sisaldust antud valglal kõige rohkem mõjutavad, sh maakasutus, kliima, topograafia ja mulla omadused. Põllumajanduslikku hajureostust aitavad vähendada ka targalt rajatud puhverribad veekogude kaldavööndis. Reostustundlike piirkondade tuvastamiseks, kus mulla ja reljeefi tõttu võivad toitained jõuda pindmise äravooluga veekogudesse, on Tartu Ülikooli maastikugeoinformaatika tööühma poolt välja töötanud kaardikihid (<https://sisu.ut.ee/landscape-geoinformatics/puhverribad?lang=et>), mis võimaldavad kuluefektiivsemalt planeerida ja vähendada põllumajanduslikust hajureostusest tulenevat koormust veekogudes. Loodavate kaardikihtide abil on võimalik kiiresti tuvastada probleemseid ja väga reostustundlikud kaldavööndid, kuhu oleks soovituslik luua laiem puhverriba. Uues mudelis saaks kasutada ka hiljutise, kogu Eestit katva modelleerimise tulemusi (Kull et al., 2023).

2. Fosfori sisekoormuse mehhanismid ja mõju järve seisundile.  
Fosfori sisekoormus on Peipsi fosfori bilansis üks võtmefaktoreid, kuid hetkel puudub selge pilt selle mehhanismidest ja mõjudest Peipsi veeökosüsteemidele. See takistab veekaitsemeetmete planeerimist. Edasised sette fosfori dünaamika uuringud kogu järve ulatuses peaksid selgitama, kas ja milliseid meetmeid peaks Peipsis lisaks väliskoormuse vähendamise meetmetele rakendama sisekoormuse vähendamiseks.
3. Seoses sinivetikaõitsengute ulatuse ja sageduse kasvuga oleks väga vajalik sinivetikamürkide regulaarne seire suve- ja sügiskuudel. Genotüpiseerimine võimaldaks näiteks eristada toksilisi sinivetikatüvesid mittetoksilistest, mis ainult fenotüübi põhjal on võimatu. Tähelepanu tuleks pöörata ka tsüanotoksiinide kontsentratsioonidele töönduskalades.
4. Peipsi järve roostike uuringud, kaasates botaanikute kõrval nii ornitolooge kui ka ihtüolooge. Selle tulemusena saaks värske ülevaate liigikaitseks vajalikest säilitatavaist roostikest ja kasutamiseks sobivaist rooressurssidest. Loode-Peipsi hoiuala jaoks tehti selline ülevaade viimati 2008. aastal (<https://eelis.ee/GetFile.aspx?fail=39640130>). Uuringu raames tuleks välja töötada ka suunised roo majandamiseks. Selleks oleks vaja välja selgitada randu haldavate/majandavate omanike vajadused ja suhtumine roolõikuse, samuti roo ladustamise ja töötlemise võimalikud kohad.
5. Uuring saasteainete (tsink, PBT settes, PBDE kalas) allika tuvastamiseks ja edasiste meetmete määratlemiseks Peipsi veekogumil. Vastavalt vesikondade veeseireprogrammile 2022-2027.
6. Uuring, milliseid veekogu tervendamise meetmeid on Pihkva-Lämmijärve veekogumil asjakohane rakendada (sh Velikaja jõe fosforikoormus). Seisundit halvendavate teguritena on vesikondade veeseireprogrammis 2022-2027 loetletud: alla 2000 ie reoveepuhasti ja muu heitveelask, põllumajandustegevuse tõttu pinnaveele avalduv koormus mitmesuguste ainete vette leostumise tõttu haritavalt maalt, metsamajandusega seotud koormus, ühiskanalisatsiooniga ühendamata inimesed, sadamad ja supluskohad.
7. Narva jõe vesikonna, sealhulgas Peipsi järve ja Narva veehoidla hüdrograafiliste ja morfomeetriliste karakteristikute täpsustamine.
8. Veekogude taustakontsentratsioonide ja -koormuse määramine (sh suhteliselt homogeense iseloomuga väikeste valglate uurimine, et selgitada veekogu loodusliku koormuse kujunemist).
9. Kliimamuutuste mõju Peipsi järve kalakoosluste seisundile ja dünaamikale.

## II Teadusuuringud

Järve ökosüsteemi teadusuuringud aitavad mõista järves toimuvaid protsesse, tuvastada elustikurühmade omavahelisi seoseid ja täpsustada toiduahelate toimimise mehhanisme ning seda, kuidas on need mõjutatud keskkonnatingimustest – nii globaalsetest kui lokaalsetest. Teadusuuringud annavad sisendit praktiliste, ökosüsteemi paremat toimimist toetavate tegevuskavade koostamisse, kuid nende teokssaamine oleneb rahastuse leidmisest, mis teaduse valdavalt projektipõhise finantseerimiskorra juures on prognoosimatu.

1. Kliimamuutuste mõju Peipsi ja tema valgla toitainebilansile (lämmastiku-, fosfori- ja süsinikuringe, sh atmosfäärikoormus, seosed elustikuga) ja järve ökosüsteemile.
2. Toiduahelate uuringud
  - a. Toiduahela roll sinivetikate toksiinide jõudmisel kaladeni
  - b. Biogeenne metaan kui kalavastsete süsinikuallikas
  - c. Kalapüügi „ülevalt-alla“ (top-down) mõju järve seisundile (sinivetikate hulgale ja kooslusele, arvestades kliimamuutuste ja eutrofeerumise mõjusid)
3. Mürgised ained (sh ravimijäägid) ja nende mõju Peipsi järve elustikule
4. Peipsi järve maapinnalähedaste põhjaveekihtide mikro- ja nanoosakestega reostumise uuringud.
5. Mikro- ja nanoplastid Peipsi järves, nende mõju elustikule
6. Järveressursside kasutamine ja selle mõjud ökosüsteemile: kalad, pilliroog, setted.

## Lisamaterjalid

Hiljuti lõppenud Eesti Maaülikooli teadusuuringud (pealkiri, aeg, vastutav täitja, rahastaja)

1. Järvede toiduahelad ja süsiniku metabolismm valgala karbonaatsuse ja kliima gradiendis. 01.01.2014–31.12.2019. Tiina Nõges. Rahastaja: Sihtasutus Eesti Teadusagentuur
2. Veekogude ökosüsteemide ja veeressursside majandamine mitme samaaegselt mõjuva stressori tingimustes. Tiina Nõges. 01.02.2014–31.01.2018. Rahastaja: Euroopa Komisjon
3. Uuring Peipsi järve füüsikalise-keemiliste ja fütoplanktoni kvaliteedinäitajate klassipiiride täpsustamiseks. 02.09.2020–15.12.2020. Peeter Nõges. Rahastaja: Keskkonnaministeerium
4. Management of Climatic Extreme Events in Lakes & Reservoirs for the Protection of Ecosystem Services. 01.01.2017–30.06.2021. Alo Laas. Rahastaja: Euroopa Komisjon
5. Kliimamuutuste mõju modelleerimine ja prognoosimine järvede välis- ja sisekoormusele ja kihistumisrežiimile. 27.06.2019–06.12.2021. Ingmar Ott. Rahastaja: Keskkonnaministeerium
6. Ammooniumlämmastiku dünaamika avavees ja vastastikmõju orgaanilise aine lagundatavusega eutroofsetes järvedes. 01.01.2020–31.12.2021. Margot Sepp. Rahastaja: Sihtasutus Eesti Teadusagentuur
7. Restocking of European eel as a measure of recovery of endangered species and preservation of natural diversity. 01.03.2019–28.02.2022. Priit Bernotas. Rahastaja: Riigi Tugiteenuste Keskus
8. Euroopa angerja (*Anguilla anguilla*) katadroomse rände edukuse uuring Peipsi vesikonnas. 05.04.2019–05.05.2021. Priit Bernotas. Rahastaja: Tartu Ülikool
9. Hõbeangerja ränne Narva jõel ning Narva Hüdrolektrijaama turbiinide läbitavus. 02.07.2018–15.12.2019. Priit Bernotas. Rahastaja: Tartu Ülikool
10. Peipsi järve fosfori sisekoormuse varieeruvuse seire ja uuringud aastal 2021. 07.06.2021–31.01.2022. Olga Tammeorg. Rahastaja: Keskkonnaministeerium
11. Fosfori sisekoormuse ruumilise varieeruvuse uuringud Peipsi järvel aastal 2018. 16.10.2018–01.12.2018. Olga Tammeorg. Rahastaja: Keskkonnaministeerium
12. Peipsi järve fosfori sisekoormuse uuringud kui teaduslik alus veemajandamis- ja kaitsemeetmete väljatöötamiseks. 01.08.2014–30.09.2015. Olga Tammeorg. Rahastaja: SA Keskkonnainvesteeringute Keskus
13. Uued perspektiivid toksiliste sinivetikaõitsengute seiramiseks järvedes ja rannikumeres. 01.01.2018–31.12.2019. Ilmar Tõnno. Rahastaja: Haridus- ja Teadusministeerium

Aastal 2023 jätkuvad Peipsi järve ökosüsteemiga seotud Eesti Maaülikooli teadusuuringud (sh rakendusteaduslikud uuringud)

1. Järvede lämmastikuringe uus tulemine - väljakutsed talvelimnoloogias. Tiina Nõges. 01.01.2020–31.12.2024. Rahastaja: Sihtasutus Eesti Teadusagentuur.

2. Towards Research Excellence and Innovation Capacity in Studing Lake Ecosystems Functional Structures and Climate Change Impact. Lea Tuvikene. 01.01.2021–31.12.2023. Rahastaja: Euroopa Komisjon
3. Orgaaniline fosfor - 'must kast' valgala-järve süsteemis. Peeter Nõges. 01.01.2021–31.12.2025. Rahastaja: Sihtasutus Eesti Teadusagentuur
4. Baasfinantseerimise toetus projekti "Järvede tulevik muutub kliimas" (Climalake) taotlusega seotud teadus- ja arendustegevuse toetamiseks. 01.01.2022–31.12.2023. Fabien Cremona. Rahastaja: Eesti Maaülikool
5. Kui oluline on lämmastiku sisekoormus Eesti järvede eutrofeerumise ja sinivetikate õitsengute põhjustamisel? 01.01.2023–31.12.2027. Mark McCarthy. Rahastaja: Sihtasutus Eesti Teadusagentuur
6. Funktsionaalne samaväärsus ja tunnuste-keskkonna sidusus ökosüsteemide üleses võrdluses. 01.01.2021–31.12.2025. Kalle Olli. Rahastaja: Sihtasutus Eesti Teadusagentuur
7. Baasfinantseerimise toetus projekti „Toiduahela roll sinivetikate toksiinide jõudmisel kaladeni“ taotlusega seotud teadus- ja arendustegevuse toetamiseks. 1.01.2023 - 31.12.2024. Helen Agasild. Rahastaja: Eesti Maaülikool
8. Baasfinantseerimise toetus projekti „Biogeenne metaan kui kalavastsete süsinikuallikas“. 1.01.2023 - 31.12.2024. Priit Zingel. Rahastaja: Eesti Maaülikool
9. Rändvähi püügimeetodite väljaarendamine ja väärindamise võimalused. 1.01.2023-31.12.2026. Arvo Tuvikene. Rahastaja: Eesti Maaülikool
10. Keskkonna DNA põhise metoodika väljatöötamine oluliste töönduskalade varude hindamisel. 01.03.2022–01.09.2023. Priit Bernotas. Rahastaja: SA Keskkonnainvesteeringute Keskus
11. Angerjavarude seisundi hindamine Narva jõe vesikonnas 2022–2025. 01.01.2022–31.12.2025. Priit Bernotas. Rahastaja: Keskkonnaministeerium
12. Hüdrokeemiline ja -bioloogiline seire Mustvee sadamas enne ja pärast süvendustöid. 2023. Olga Tammeorg. Pakkumus esitatud Mustvee vallavalitsusele.
13. Baasfinantseerimise toetus projektide „Toksilised veeõitsengud Euroopa järvedes: DNA-põhine tsüanobakterite tuvastamine ja arvukuse hindamine“ ja „Toksilised sinivetikad Euroopa järvedes: DNA ja RNA põhine tuvastamine ja arvukuse hindamine“ taotlustega seotud teadus- ja arendustegevuse toetamiseks. 01.01.2020–31.12.2023. Helen Tammert. Rahastaja: Eesti Maaülikool.

## KIRJANDUS

Brunberg, A.-K., Blomqvist, P., 2002. Benthic overwintering of *Microcystis* colonies under different environmental conditions. *J. Plankton Res.* 24, 1247–1252. <https://doi.org/10.1093/plankt/24.11.1247>

Eesti tuleviku kliimastsenaariumid aastani 2100. 2015. Koostajad: A. Luhamaa, A. Kallis, K. Mändla, A. Männik, T. Pedusaar, K. Rosin. Keskkonnaagentuur. [https://www.klab.ee/wp-content/uploads/sites/4/2016/04/2016-04-07-KAUR\\_Lopparuanne.pdf](https://www.klab.ee/wp-content/uploads/sites/4/2016/04/2016-04-07-KAUR_Lopparuanne.pdf)

Ercoli F, Kaldre K, Paaver T, Gross R. 2019. First record of an established marbled crayfish *Procambarus virginalis* (Lyko, 2017) population in Estonia. *BioInvasions Records* 8(3): 675–683, <https://doi.org/10.3391/bir.2019.8.3.25>

Fink, G., Burke, S., Simis, S. G. H., Kangur, K. Kutser, T. & M. Mulligan. 2020. Management Options to Improve Water Quality in Lake Peipsi: Insights from Large Scale Models and Remote Sensing. *Water Resources Management* 34: 2241–2254. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2156-5>

Jeppesen, E., M. Meerhoff, T. A. Davidson, M. Søndergaard, T. L. Lauridsen, M. Beklioglu, S. Brucet, P. Volta, I. González-Bergonzoni, A. Nielsen & D. Trolle, 2014. Climate change impacts on lakes: an integrated ecological perspective based on a multi-faceted approach, with special focus on shallow lakes. *Journal of Limnology* 73: 84–107.

Kangur, A., Kangur, P., Kangur, K. & T. Möls. 2007. The role of temperature in the population dynamics of smelt *Osmerus eperlanus eperlanus* m. *spirinchus* Pallas in Lake Peipsi (Estonia/Russia). *Hydrobiologia*, 584, 433–441. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-0614-9>

Kangur, K., Ginter, K., Kangur, A., Kangur, P., Möls, T. 2020. How did the late 1980s climate regime shift affect temperature sensitive fish population dynamics: case study of vendace (*Coregonus albula*) in a large north-temperate lake. *Water* 12, 2694. <https://doi.org/10.3390/w12102694/w12102694>

Kangur K., Ginter K., Kangur A., Kangur P., Orru K., Möls, T. 2011. Ekstreemsete ilmastikunähtuste ja kohaliku inimtegevuse koosmõju Peipsi kaladele. Soomere, Tarmo; Nõges, Tiina; Help, Helle-Liis; Jakobson, Siiri; Rebo, Ülle; Varlamova, Galina (Toim.). Teadusmõte Eestis (VII). Meri. Järved. Rannik (37–48). Tallinn: Eesti Teaduste Akadeemia.

Kangur, K., Kangur, A., Kangur, P. & Laugaste, R., 2005. Fish kill in Lake Peipsi in summer 2002 as a synergistic effect of a cyanobacterial bloom, high temperature, and low water level. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Biology, Ecology*, 54(1): 67–80.

Kangur, K., Kangur, P., Ginter, K., Orru, K., Haldna, M., Möls, T., Kangur, A. 2013. Long-term effects of extreme weather events and eutrophication on the fish community of shallow Lake Peipsi (Estonia/Russia). *J Limnol* 72(2):376–387. <https://doi.org/10.4081/ijlimnol.2013.e30>

Kangur, K., Tammiksaar, E. & D. Pauly. 2022. Using the “mean temperature of the catch” to assess fish community responses to warming in a temperate lake. *Environmental Biology of Fishes*, 105: 1405-1413. doi.org/10.1007/s10641-021-01114-7.

Kliimamuutuse mõju veeökosüsteemidele ning põhjaveele Eestis ja sellest tulenevad veeseireprogrammi võimalikud arengusuunad. 2012. Nõges, P., Jaagus, J., Järvet, A., Nõges, T., Laas, A. Keskkonnaministeeriumiga sõlmitud lepingulise uurimuse aruanne. Tartu. <https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/6381>

Kliimamuutuste mõju modelleerimine ja prognoosimine järvede välis- ja sisekoormusele ja kihistumisrežiimile. Aruanne 2021. Eesti Maaülikool, Tallinna Tehnikaülikool.

Kosten, S.; Huszar, V.; Bécares, E.; Costa, S. L.; Van Donk, E.; Hansson, L-A; Jeppesen, E.; Kruk, C.; Lacerot, G.; Mazzeo, N.; De Meester, L.; Moss, B.; Lürling, M.; Nõges, T.; Romo, S.; Scheffer, M., 2012. Warmer climates boost cyanobacterial dominance in shallow lakes. *Global Change Biology*, 18 (1), 118–126. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02488.x.

Kull, A., Kikas, T., Penu, P., Kull, A. 2023. Modeling Topsoil Phosphorus—From Observation-Based Statistical Approach to Land-Use and Soil-Based High-Resolution Mapping. *Agronomy* 2023, 13, 1183. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051183>

Laugaste, R., Panksep, K., & Haldna, M., 2013. Dominant cyanobacterial genera in Lake Peipsi (Estonia/Russia): effect of weather and nutrients in summer months. *Estonian Journal of Ecology*, 62(4).

Nõges, P., 2020. Uuring Peipsi järve füüsikalis-keemiliste ja fütoplanktoni kvaliteedinäitajate klassipiiride täpsustamiseks (Study of physicochemical and phytoplankton in Lake Peipsi to specify the class boundaries of the quality indicators; in Estonian).

Nõges, P., Järvet, A., 2005. Climate driven changes in the spawning of roach (*Rutilus rutilus* (L.)) and bream (*Abramis brama* (L.)) in the Estonian part of the Narva River basin. *Boreal Env. Res.*, 10, 45–55.

Nõges, P., Nõges, T., Adrian, R., Weyhenmeyer, G.A., 2008. Silicon load and the development of diatoms in three river-lake systems in countries surrounding the Baltic Sea. *Hydrobiologia* 599, 67–76.

Nõges, T., Janatian, N., Laugaste, R., Nõges, P., 2020. Post-soviet changes in nitrogen and phosphorus stoichiometry in two large non-stratified lakes and the impact on phytoplankton. *Global Ecol. Conserv.* <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01369>.

Nõges, T., Laugaste, R., Nõges, P., Tönno, I., 2008. Critical N:P ratio for cyanobacteria and N<sub>2</sub>-fixing species in the large shallow temperate lakes Peipsi and Võrtsjärv, North-East Europe. *Hydrobiologia* 599, 77–86.

Nõges, P., Nõges, T. 2014. Weak trends in ice phenology of Estonian large lakes despite significant warming trends. *Hydrobiologia*, 731(1), 5-18.

Nõges, T., Nõges, P. 2011. Kuidas kliimamuutus mõjutab järvede elustikku ja aineringeid? Soomere, Tarmo; Nõges, Tiina; Help, Helle-Liis; Jakobson, Siiri; Rebo, Ülle; Varlamova, Galina (Toim.). Teadusmõte Eestis (VII). Meri. Järved. Rannik (25–36). Tallinn: Eesti Teaduste Akadeemia.

Nõges, T., Nõges, P., Jolma, A., Kaitaranta, J., 2009. Impacts of climate change on physical characteristics of lakes in Europe. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, doi: 10.2788/41235, EUR 2464 EN. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC54650/dss%20report%20templatel.pdf>

Nõges, T., Tuvikene, L., and Nõges, P. 2010. Contemporary trends of temperature, nutrient loading and water quality in large lakes Peipsi and Võrtsjärv, Estonia. *Aquat. Ecosyst. Health Manage.*, 13, 143–153.

Palmik, K., 2017. Effects of natural and anthropogenic pressures and disturbances on the macrophytes of Lake Peipsi. A Thesis for applying for the degree of Doctor of Philosophy in Hydrobiology, Estonian University of Life Sciences, Tartu. <https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/3734>

Panksep, K., 2022. From Microscopy to genes – tracing cyanobacteria in a shallow eutrophic lake. A Thesis for applying for the degree of Doctor of Philosophy in Applied Biology, Estonian University of Life Sciences. <http://hdl.handle.net/10492/7320>.

Panksep, K., Tamm, M., Mantzouki, E., Rantala-Ylinen, A., Laugaste, R., Sivonen, K., Tammeorg, O. & V. Kisand. 2020. Using Microcystin Gene Copies to Determine Potentially-Toxic Blooms, Example from a Shallow Eutrophic Lake Peipsi. *Toxins*, 12 (4), ARTN 211. DOI: 10.3390/toxins12040211.

Peipsi järve hüdrobioloogiline seire ja uuringud 2021, lõpparuanne. 2022. <https://kese.envir.ee/kese/downloadReportFile.action?fileUid=26128683&monitoringWorkUid=23608842>

Peipsi järve hüdrobioloogiline seire ja uuringud 2022, lõpparuanne. 2023. <https://kese.envir.ee>

Peipsi järve suurtaimestiku seire ja uuringud aastal 2021. Lõpparuanne 2021. <https://kese.envir.ee/kese/viewReportFiles.action?monitoringWorkUid=25173215>

Piirimäe, K., Loigu, E., Pachel, K., & Iital, A. 2015. Virtual mapping of reference conditions of pollutant load in waterbodies: phosphorus in the Lake Peipsi basin. *Boreal Environmental Research* 20:391-402. <http://hdl.handle.net/10138/228218>

Scheffer, M. & Carpenter, S. R., 2003. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(12): 648–656.

Šejnohová, L., Maršálek, B., 2012. Microcystis, in: Whitton, B.A. (Ed.), *Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 195–228. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-3855-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-007-3855-3_7).

Tammeorg, O., Chorus, I., Spears, B., Nöges, P., Nürnberg, G. K., Tammeorg, P., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Paerl, H., Huser, B., Horppila, J., Jilbert, T., Budzynska, A., Dondajewska-Pielka, R., Goddyn, R., Haasler, S., Hellsten, S., Härkönen, L. H., Kiani, M., ... Lürding, M. (2023). Sustainable lake restoration: From challenges to solutions. *WIREs Water*, e1689. <https://doi.org/10.1002/wat2.1689>

Tammeorg, O., Horppila, J., Tammeorg, P., Haldna, M., & Niemistö, J. (2016). Internal phosphorus loading across a cascade of three eutrophic basins: a synthesis of short-and long-term studies. *Science of the Total Environment*, 572, 943-954.

Tammeorg, O., Niemistö, J., Möls, T., Laugaste, R., Panksep, K., & Kangur, K. 2013. Wind-induced sediment resuspension as a potential factor sustaining eutrophication in large and shallow Lake Peipsi. *Aquatic Sciences*, 75, 559-570.

Tammeorg, O., Nürnberg, G., Horppila, J., Haldna, M., Niemistö, J., 2020. Redox-related release of phosphorus from sediments in large and shallow Lake Peipsi: Evidence from sediment studies and long-term monitoring data. *J. Great Lakes Res.* 46, 1595–1603. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.08.023>.

Tammeorg, O., Tuvikene, L., Kondratyev, S., Golosov, S., Zverev, I., Zadonskaya, O. and P. Nöges, 2022. Opportunities for combining data of Estonian and Russian monitoring to reflect on water quality in large transboundary Lake Peipsi, *Journal of Great Lakes Research*, <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2022.05.009>.

Tammiksaar, E. & K. Kangur, 2020. Fish and fishing in Lake Peipsi (Estonia/Russia) since 1851: Similarities and differences between historical and modern times. *Journal of Great Lakes Research* 46 (4), 862-869. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.04.005>.

Tanner, R.; Kangur, K.; Spoof, L.; Meriluoto, J., 2005. Hepatotoxic cyanobacterial peptides in Estonian freshwater bodies and inshore marine water. *Proc. Eston. Acad. Sci. Biol. Ecol.*, 54, 40–52.

Timm, H., A. Tuvikene. 2019. Rändvähist Eestis: küla ammu läinud, saun veel alles... *Eesti Loodus*, 8, 62–64.

Toxins, C. (2020). *Microcystins. Background Document for Development of WHO uidelines for Drinking-Water Quality and Guidelines for Safe Recreational Water Environments. World Health Organization: Geneva, Switzerland.*

Tuvikene, A. 2022. Kalade saladused. *Karrup*, lk 87.

Öglü, B., Möls, T., Kaart, T., Cremona, F.; Kangur, K. 2020. Parameterization of surface water temperature and long-term trends in Europe’s fourth largest lake shows recent and rapid warming in winter. *Limnologica* .10.1016/j.limno.2020.125777.

Vaino, V. 2023. Kalavarude uuringud Peipsi, Lämmi- ja Pihkva järves. Raamlepingu nr 4-1/21/171 2022. aasta uuringu lõpparuanne. <https://envir.ee/elusloodus-looduskaitse/kalandus/uuringud-ja-aruanded>

Virro, H., Kmoch, A., Vainu, M. & E. Uuema. 2022. ML-based water quality modeling at national level in a data-scarce region. *AGILE: GIScience Series*, 3, 66, 2022. <https://doi.org/10.5194/agile-giss-3-66-2022>

Weyhenmeyer, G. A., Jeppesen, E., Adrian, R., Arvola, L., Blenckner, T., Jankowski, T., Jennings, E., Nöges, P., Nöges, T., Straile, D., 2007. Nitrate-depleted conditions on the increase in shallow northern European lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 52, 1346–1353.