

REKOMENDĀCIJAS EZERA APSAIMNIEKOŠANAI UN STĀVOKĻA UZLABOŠANAI, PIELIETOJOT EKOSISTĒMAS PIEEJU



**LIFE GoodWater IP A4 aktivitāte "Rekomendāciju izstrāde riska ezera ūdensobjekta
apsaimniekošanai (kvalitātes uzlabošana un uzturēšana)"**

Rīga, 2023

Rekomendācijas ezera apsaimniekošanai un stāvokļa uzlabošanai, pielietojot ekosistēmas pieeju

Autori alfabētiskā secībā: Ēriks Aleksejevs², Ivars Druvietis¹, Lelde Eņģele⁴, Linda Fībiga³, Laura Grīnberga¹, Ilga Kokorīte³, Eduards Križickis³, Ruta Medne², Dāvis Ozoliņš¹, Jana Paidere¹, Ivars Putnis², Agnija Skuja¹ (red.), Jānis Šīre³.

¹ Latvijas Universitātes Bioloģijas institūts, ² Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskais institūts "BIOR", ³ Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs, ⁴ Latvijas Dabas fonds.

© Vāka foto: Agnija, Skuja

Citēšanas paraugs: Latvijas Universitāte, 2023. Rekomendācijas ezera apsaimniekošanai un stāvokļa uzlabošanai, pielietojot ekosistēmas pieeju, LIFE GoodWater IP, Rīga, 53 lpp.

Materiāls tapis integrētā projektā “Latvijas upju baseinu apsaimniekošanas plānu ieviešana laba virszemes ūdens stāvokļa sasniegšanai” (LIFE GOODWATER IP, LIFE18 IPE/LV/000014), kas ir saņēmis finansējumu no Eiropas Savienības LIFE Programmas un Valsts reģionālās attīstības aģentūras.

Informācija atspoguļo tikai LIFE GOODWATER IP īstenotāju redzējumu, un Eiropas Klimata, infrastruktūras un vides izpildaģentūra neatbild par to, kā tiek izmantota šeit paustā informācija.

© Latvijas Universitāte, 2023.

Dokumenta izstrādes lapa	
Dokumenta versijas numurs	v 1.0
Dokumenta plānotais izstrādes datums	12.2023
Dokumenta faktiskais izstrādes datums	12.2023
Dokumenta aktuālās versijas izstrādes datums	12.2023
Projekta aktivitātes/apakšaktivitātes numurs	A4.3

Satura rādītājs

Satura rādītājs.....	3
Kopsavilkums	5
Summary	6
Saīsinājumi.....	7
Ievads	8
1. Ezera ekosistēma.....	8
1.1. Latvijas ezeru tipoloģija.....	8
1.2. ES nozīmes aizsargājamie ezeru biotopi.....	9
1.3. Galveno organismu grupu loma ekosistēmā	10
1.3.1. Fitoplanktons.....	10
1.3.2. Makrofīti	11
1.3.3. Zooplanktons.....	11
1.3.4. Bentiskie bezmugurkaulnieki.....	12
1.3.5. Zivis	13
2. Ekosistēmas pieeja	14
2.1. Galvenie principi.....	14
2.2. Ekosistēmas funkcionēšana un barības tīkli	16
2.3. Ekosistēmas modelēšana.....	17
3. Antropogēnās slodzes un ietekmes	18
3.1. Biogēno elementu slodzes un eutrofikācija	18
3.2. Hidromorfoloģiskie pārveidojumi	20
3.3. Klimata izmaiņas	21
4. Ekoloģiskā kvalitāte un trofija	22
4.1. Ekoloģiskā stāvokļa novērtēšana pēc ES Ūdeņu struktūrdirektīvas kritērijiem	22
4.2. Ezeru trofijas pakāpes	23
5. Ezeru apsaimniekošana.....	25
5.1. Apsaimniekošanas plānošana.....	26
5.2. Apsaimniekošanas pieejas	27
5.3. Pasākumi biogēno elementu slodzes samazināšanai sateces baseinā	28
5.4. Nepieciešamie dati un monitorings.....	32
5.5. Praktiski piemēri ezera ekoloģiskā stāvokļa novērtēšanai un uzlabošanai	33
6. Saukas ezera pētījums	36
6.1. Fitoplanktons.....	37

6.2. Zooplanktons.....	38
6.3. Makrofīti	39
6.4. Bentiskie bezmugurkaulnieki.....	40
6.5. Fizikāli - ķīmiskie parametri.....	41
6.6. Hidromorfoloģija	41
6.7. Zivju fauna	41
6.8. Barības tīkla modelis.....	43
6.9. Kopējais Saukas ezera ekoloģiskā stāvokļa novērtējums	44
7. Rekomendācijas	45
Literatūras saraksts.....	48

Kopsavilkums

Projekts “Latvijas upju baseinu apsaimniekošanas plānu ieviešana laba virszemes ūdens stāvokļa sasniegšanai” projekta numurs LIFE18 IPE /LV/000014 (LIFE GOODWATER IP) tiek īstenots ar Eiropas Savienības vides un klimata programmas LIFE un Valsts reģionālās attīstības aģentūras finansiālu atbalstu. Kopējais projekta mērķis ir ilgtermiņā uzlabot ūdens kvalitāti aptuveni 30% riska ūdensobjektos, izstrādājot, adaptējot un ieviešot dažādus Latvijas apstākļiem piemērotus inovatīvus apsaimniekošanas un pārvaldības pasākumus.

LIFE GoodWater IP projekta A4.3. aktivitātes “Rekomendācijas ezera apsaimniekošanai un stāvokļa uzlabošanai, pielietojot ekosistēmas pieeju (pamatojoties uz ezera izpētes rezultātiem)” pētījuma **mērķis** ir aplūkot galvenos ezeru veselību un ekoloģisko stāvokli ietekmējošos faktoros, ilgtspējīgas atjaunošanas un apsaimniekošanas pieejas, fokusējoties uz kompleksu ekosistēmas pieeju, galvenajām organismu grupām un būtiskākajiem vides faktoriem. Pārskats ietver arī Latvijas ezeru tipoloģiju, aizsargājamo ezeru biotopu aprakstus, kā arī Saukas ezera kompleksā hidrobioloģiskā monitoringa un ekosistēmas modeļa izstrādes rezultātus. Aplūkoti ezeru apsaimniekošanas pamatprincipi un sniegtas rekomendācijas biotopu apsaimniekošanai, monitoringam un ezera ekosistēmas ekoloģiskā stāvokļa uzlabošanai.

Summary

The project “Implementation of Latvian River Basin Management Plans to Achieve Good Surface Water Status” no. LIFE18 IPE /LV/ 000014 (LIFE GOODWATER IP) is being carried out with the financial support of the European Union Environment and Climate Program LIFE and the State Regional Development Agency. The overarching goal of the project is to enhance the water quality of approximately 30% of water bodies at risk in the long term. This will be achieved through the development, adaption to Latvian conditions, and implementation of management and governance measures. Activity A4.3 “Development of recommendations for lake management and improvement of status, applying ecosystem approach” within the LIFE GoodWater IP project is dedicated to a comprehensive examination of the primary factors influencing the health and ecological state of lakes. The focus is on sustainable restoration and management approaches, employing a holistic ecosystem perspective that considers key organism groups and crucial environmental factors. The comprehensive report covers the typology of lakes in Latvia, providing detailed insights into protected lake habitats. Additionally, it presents findings from complex hydrobiological monitoring and the development of an ecosystem model for Lake Sauka. The document delves into fundamental principles of lake management, offering recommendations for habitat management, and strategies to enhance the ecological state of lake ecosystems. Through these efforts, the project aims to contribute significantly to improve water quality and the overall environmental health of targeted waterbodies, fostering a sustainable and resilient lake ecosystem in Latvia.

Saīsinājumi

BIOR - Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskais institūts

BKE - bioloģiskās kvalitātes elementi (fitoplanktons, kramaļģes, makrofīti jeb ūdensaugi, bentiskie bezmugurkaulnieki jeb makrozoobentoss, zivju fauna)

ES - Eiropas Savienība

EQ - Ecological quality ratio jeb ekoloģiskās kvalitātes attiecība

HELCOM - Baltijas jūras reģiona jūras vides aizsardzības konvencijas pārvaldes organizācija - Baltijas jūras vides aizsardzības jeb Helsinku komisija

HES - hidroelektrostacija

ICES - Starptautiskās jūras pētniecības padome

LBTU - Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte

LLU - bij. Latvijas Lauksaimniecības universitāte, šobrīd - Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte (LBTU)

LU - Latvijas Universitāte

LVGMC - Valsts SIA "Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs"

MK - Ministru kabinets

ŪSD - Ūdens Struktūrdirektīva

ZMNI - Valsts SIA "Zemkopības ministrijas nekustamie īpašumi"

Ievads

Projekts “Latvijas upju baseinu apsaimniekošanas plānu ieviešana laba virszemes ūdens stāvokļa sasniegšanai” projekta numurs LIFE18 IPE /LV/000014 (LIFE GOODWATER IP) tiek īstenots ar Eiropas Savienības vides un klimata programmas LIFE un Valsts reģionālās attīstības aģentūras finansiālu atbalstu. Projekta kopējais mērķis ir ilgtermiņā uzlabot ūdens kvalitāti aptuveni 30% riska ūdensobjektos, izstrādājot, adaptējot un ieviešot dažādus Latvijas apstākļiem piemērotus inovatīvus apsaimniekošanas un pārvaldības pasākumus.

LIFE GoodWater IP projekta A4.3. aktivitātes “Rekomendācijas ezera apsaimniekošanai un stāvokļa uzlabošanai, pielietojot ekosistēmas pieeju (pamatojoties uz ezera izpētes rezultātiem)” pētījuma **mērķis** ir aplūkot galvenos ezeru veselību un ekoloģisko stāvokli ietekmējošos faktoros, ilgtspējīgas atjaunošanas un apsaimniekošanas pieejas, fokusējoties uz kompleksu ekosistēmas pieeju, galvenajām organismu grupām un būtiskākajiem vides faktoriem projekta izvēlētajā *demo* teritorijā - Saukas ezerā, kas ir iekļauts riska ūdensobjektu kategorijā, jo nesasniedza labu ekoloģisko stāvokli.

Pasaulē ezeri ir pakļauti dažāda veida antropogēnajām ietekmēm, mūsdienās seši galvenie ietekmju veidi ir: (1) eitrofikācija; (2) hidromorfoloģiskie pārveidojumi; (3) paskābināšanās; (4) svešzemju sugas; (5) bīstamās vielas un (6) klimata izmaiņas (Cardoso et al., 2009). Veselīga ekosistēma ir stabila un ilgtspējīga, tā spēj saglabāt savu pastāvību un izturību pret stresu ilgā laika periodā (Norton et al., 1992). Cilvēka darbības veicinātā eitrofikācija un ūdens līmeņa svārstības rada būtiskas izmaiņas ezera ekosistēmas funkcionēšanā. Ietekmju darbības rezultātā ezers no stabilā dzidrūdus stāvokļa, ar iegrimušo ūdensaugu dominanci var pāriet turbīdajā stāvoklī, kad dominē fitoplanktona aļģu sabiedrības, ūdens caurredzamība ir zema un iegrimušo ūdensaugu audzes iznīkst (Mao et al., 2021). Efektīvai apsaimniekošanai ir izšķiroša nozīme ezeru atjaunošanā, gan arī kā resursam, kas sniedz labumu sabiedrībai, gan kā mantojumam nākošajām paaudzēm. Joprojām pastāv ievērojams zināšanu trūkums mūsu izpratnē par to, kā ezeri reaģē uz noteiktām ietekmēm un, jo īpaši, uz ietekmju mijiedarbībām (Cardoso et al., 2009). Ekosistēmas pieeja ir kļuvusi par dominējošo vēlamo paradigmu vides pārvaldībā visā pasaulē (O’Hagan, 2020). Radinger et al., (2023) pētījumā secināts, ka uz ekosistēmas principu balstītai pārvaldībai, atjaunojot galvenos ekoloģiskos procesus un biotopus, visticamāk, būs spēcīgāka ilgtermiņa ietekme uz zivju sugu un populāciju atjaunošanos, nekā šauriem, uz atsevišķu sugu aizsardzību vērstiem pasākumiem.

1. Ezera ekosistēma

1.1. Latvijas ezeru tipoloģija

Izmantojot Ūdens struktūrdirektīvas B sistēmu, Latvijas ezerus iedala 11 tipos, izmantojot trīs kritēriju grupas: vidējo ezeru dziļumu (ļoti sekli ezeri ar dziļumu < 2 m, sekli ezeri ar dziļumu 2–9 m un dziļi ezeri ar dziļumu > 9 m); ezerdobes ģeoloģisko struktūru, kuras raksturošanai

izmanto ūdens elektrovadītspēju (cietūdens ezeri ar elektrovadītspēju $> 165 \mu\text{S/cm}$ un mīkstūdens ezeri ar elektrovadītspēju $< 165 \mu\text{S/cm}$) un organisko vielu koncentrāciju (polihumozi brūnūdens ezeri ar krāsainību $> 800 \text{ Pt/Co}$ un oligohumozi dzidrūdens ezeri ar krāsainību $< 800 \text{ Pt/Co}$) (MK noteikumi nr. 858, 2004). Latvijā visbiežāk sastopami L5 un L9 tipa ezeri (1.1.1. tabula).

1.1.1. tabula. ES ŪSD ieviešanai izstrādātā Latvijas ezeru tipoloģija (MK noteikumi nr. 858, 2004).

Tipa kods	Vidējais dziļums	Ūdens cietība	Krāsainība	Tips
L1	Ļoti sekls ($< 2 \text{ m}$)	Cietūdens ($> 165 \text{ mS/cm}$)	Oligohumozi ($< 80^\circ \text{ Pt-Co}$)	Ļoti sekls dzidrūdens ezers ar augstu ūdens cietību
L2	Ļoti sekls ($< 2 \text{ m}$)	Cietūdens ($> 165 \text{ mS/cm}$)	Polihumozi ($> 80^\circ \text{ Pt-Co}$)	Ļoti sekls brūnūdens ezers ar augstu cietību
L3	Ļoti sekls ($< 2 \text{ m}$)	Mīkstūdens ($< 165 \text{ mS/cm}$)	Oligohumozi ($< 80^\circ \text{ Pt-Co}$)	Ļoti sekls dzidrūdens ezers ar zemu ūdens cietību
L4	Ļoti sekls ($< 2 \text{ m}$)	Mīkstūdens ($< 165 \text{ mS/cm}$)	Polihumozi ($> 80^\circ \text{ Pt-Co}$)	Ļoti sekls brūnūdens ezers ar zemu ūdens cietību un $\text{pH} > 5,5$
L5	Sekls ($2 - 9 \text{ m}$)	Cietūdens ($> 165 \text{ mS/cm}$)	Oligohumozi ($< 80^\circ \text{ Pt-Co}$)	Sekls dzidrūdens ezers ar augstu ūdens cietību
L6	Sekls ($2 - 9 \text{ m}$)	Cietūdens ($> 165 \text{ mS/cm}$)	Polihumozi ($> 80^\circ \text{ Pt-Co}$)	Sekls brūnūdens ezers ar augstu cietību
L7	Sekls ($2 - 9 \text{ m}$)	Mīkstūdens ($< 165 \text{ mS/cm}$)	Oligohumozi ($< 80^\circ \text{ Pt-Co}$)	Sekls dzidrūdens ezers ar zemu ūdens cietību
L8	Sekls ($2 - 9 \text{ m}$)	Mīkstūdens ($< 165 \text{ mS/cm}$)	Polihumozi ($> 80^\circ \text{ Pt-Co}$)	Sekls brūnūdens ezers ar zemu ūdens cietību un $\text{pH} > 5,5$
L9	Dziļš ($> 9 \text{ m}$)	Cietūdens ($> 165 \text{ mS/cm}$)	Oligohumozi ($< 80^\circ \text{ Pt-Co}$)	Dziļš dzidrūdens ezers ar augstu ūdens cietību
L10	Dziļš ($> 9 \text{ m}$)	Mīkstūdens ($< 165 \text{ mS/cm}$)	Oligohumozi ($< 80^\circ \text{ Pt-Co}$)	Dziļš dzidrūdens ezers ar zemu ūdens cietību
L11	Ļoti sekls ($< 2 \text{ m}$) un sekls ($2 - 9 \text{ m}$)	Mīkstūdens ($< 165 \text{ mS/cm}$)	Polihumozi ($> 80^\circ \text{ Pt-Co}$)	Ļoti sekli un sekli brūnūdens ezeri ar zemu ūdens cietību un $\text{pH} < 5,5$

1.2. ES nozīmes aizsargājamie ezeru biotopi

Latvijā gandrīz visi dabiskas izcelsmes ezeri atbilst kādam no četriem Eiropas Savienības nozīmes aizsargājamajiem biotopiem: 3130 *Ezeri ar oligotrofām līdz mezotrofām augu sabiedrībām*; 3140 *Ezeri ar mieturaļģu augāju*; 3150 *Eitrofi ezeri ar iegrimušo ūdensaugu un peldaugu augāju* vai 3160 *Distrofi ezeri* (Auniņš, 2013). Visbiežāk Latvijā sastopami 3150 tipa ezeri, bet visretāk - 3130 tipa ezeri.

3130 *Ezeri ar oligotrofām līdz mezotrofām augu sabiedrībām* ir Latvijā ļoti reti sastopams un apdraudēts ezeru tips, kas ir jūtīgs pret eutrofikāciju izraisošu faktoru iedarbību. Šajos ezeros ir zemas barības vielu koncentrācijas un zema īpatnējā elektrovadītspēja.

3140 *Ezeri ar mieturaļģu augāju* ir ar kalcija un magnija savienojumiem bagāti ūdeņi, kuru ekosistēmā dominējošā loma ir mieturaļģu Charophyta sabiedrībām. Vairākums šī biotopa ezeru ir sekli, to dziļums nepārsniedz 2–5 metrus. Arī šie ezeri Latvijā ir ļoti reti sastopami.

Biotopam 3150 *Eitrofi ezeri ar iegrimušo ūdensaugu un peldaugu augāju* atbilst lielākā daļa Latvijas ezeru. Šiem ezeriem atkarībā no to dziļuma ir raksturīga šaurāka vai platāka sugām bagātīga iegremdēto augu josla, izretināta vai vienlaidus virsūdens augu josla un bieži vien arī fragmentāra vai vienlaidus esoša peldlapu un brīvi peldošo augu josla. Saskaņā ar līdzšinējiem pētījumiem un informāciju valsts dabas datu pārvaldības sistēmā “OZOLS” Saukas ezers atbilst šim ES nozīmes biotopu veidam.

3160 *Distrofi ezeri* ir brūnūdens ezeri ar skābu ūdeni (pH 3-6) un parasti atrodas augstajos purvos. Ezeriem raksturīgā brūnā līdz sarkanbrūnā ūdens krāsa veidojas lielo humusvielu (humīns, humīnskābes, fulvoskābes, to sāļi) koncentrācijas dēļ. Specifiskā vide šajos ezeros nosaka zemu sugu daudzveidību un produktivitāti, tostarp ūdensaugu veģetācija ir sugām ļoti nabadzīga vai arī tās nav.

Dabas aizsardzības pārvaldes īstenotā projekta “Natura 2000 teritoriju nacionālā aizsardzības un apsaimniekošanas programma” (LIFE11 NAT/LV/000371 NAT-PROGRAMME) ietvaros tika izstrādātas un publicētas vadlīnijas ES nozīmes ezeru biotopu saglabāšanai Latvijā, kas ietver detālus biotopu un to apsaimniekošanas un atjaunošanas metožu aprakstus (Urtāns, 2017).

1.3. Galveno organismu grupu loma ekosistēmā

1.3.1. Fitoplanktons

Tā kā fitoplanktona sabiedrības ir barības tīklu pamatā, to strukturālās izmaiņas ietekmē visu sabiedrību kopumā (Enawgaw & Wagaw, 2023). Fitoplanktons ezeru ekosistēmās ir galvenais primārais producers, fotosintēzes procesā pārvēršot saules gaismu enerģijā un ražojot organiskās vielas, kas ir barības ķēžu pamatā un tālāk, nākošajos trofiskajos līmeņos, ir pieejamas zooplanktonam, zivīm un citiem ūdens organismiem. Fotosintēzes procesā kā blakus produkts tiek izdalīts skābeklis, kas ir svarīgs aerobo organismu eksistencei, tādējādi fitoplanktona ir nozīmīga loma skābekļa balansa nodrošināšanā. Fitoplanktons ir aktīvi iesaistīts barības ezera barības vielu apritē, piem., absorbē biogēnus – slāpekļa un fosfora savienojumus, pārvēršot tos biomasā. Kad fitoplanktons atmirst vai tiek patērēts kā barības avots, tas atkal pēc šī cikla barības vielu veidā nonāk atpakaļ ūdenī un cikls var sākties no jauna (piem., Wetzel, 2001).

Fitoplanktona daudzums var ietekmēt ūdens caurredzamību. Pārmērīga aļģu augšana un liela biomasas, ko dēvē par “ziedēšanu”, samazina caurredzamību un tam var būt gan pozitīva, gan arī negatīva ietekme uz ekosistēmu, jo samazinoties caurredzamībai, tiek limitēta ūdensaugu augšana un izmaiņas procesi visā ezera ekosistēmā. Fitoplanktona sugu sastāvs un biomasas apjoms ir labs ezera ekosistēmas veselības un ekoloģiskās kvalitātes bioindikators.

Izmaiņas var liecināt par biogēnu koncentrāciju, temperatūras režīma un citu vides faktoru izmaiņām, tādejādi sniedzot vērtīgu informāciju monitoringa vajadzībām un ezera apsaimniekošanai.

Fitoplanktonam ir arī liela nozīme oglekļa uzglabāšanā jeb sekvestrācijā, saistot ogļskābo gāzi fotosintēzes procesā. Daļa no saistītā oglekļa, patērējot fitoplanktonu, nonāk augstākos trofiskos līmeņos, savukārt daļa nonāk sedimentos, kur var uzglabāties ilgu laika periodu.

1.3.2. Makrofīti

Makrofīti ir vaskulārie augi, sporaugi, makroskopiskās aļģes un ūdens sūnaugi, kas pilnīgi vai daļēji piemērojušies dzīvei ūdenī un saskatāmi ar neapbruņotu aci. Ūdensaugi ir pirmproducenti, kas fotosintēzes procesā veido organiskās vielas un nodrošina barības vielas vienkāršiem, dažādiem ūdens bezmugurkaulniekiem, zivīm un ūdensputniem. Barības vielām nabadzīgos ezeros aizaugums ar makrofītiem parasti ir neliels, un ūdensaugiem ir pozitīva nozīme ekosistēmā – tie palielina vides daudzveidību, nodrošinot slēptuves ūdens bezmugurkaulniekiem, zivīm un ūdensputniem, kā arī sekmē barības vielu apriti (Engelhardt & Ritchie, 2001). Makrofīti ir nozīmīgs biofīltri, jo asimilē daudzas ūdeņos nonākušās vielas, kā arī fotosintēzes procesā palielina skābekļa daudzumu ūdenī. Tomēr pārmērīgs aizaugums rada skābekļa deficītu, jo naktīs un makrofītu sadalīšanās procesā pēc veģetācijas perioda beigām augi intensīvi patērē ūdenī izšķīdušo skābekli (Vereecken et al., 2006). Makrofītu sugu bagātību un aizauguma pakāpi saldūdeņos ietekmē daudzi fizikāli, ķīmiski un morfometriski faktori, kas nosaka vides piemērotību augu attīstībai.

1.3.3. Zooplanktons

Zooplanktonam ir nozīmīga loma ezera ekosistēmā noritošajos vielu aprites un ekoloģiskajos procesos, kā arī ekosistēmas stabilitātes nodrošināšanā. Zooplanktona organismi galvenokārt barojas ar fitoplanktonu, tāpēc zooplanktons ir nozīmīgs starpposms starp primārajiem producentiem (g.k. fitoplanktonu) un konsumentiem, jo pārnēs autotrofu sintezēto enerģiju uz augstākiem trofiskajiem līmeņiem barības ķēdēs: bezmugurkaulniekiem, zivju mazuļiem, zooplanktonēdājzivīm, visēdājām un plēsīgajām zivīm, zīdītājiem un citām organismu grupām. Līdztekus tiek samazināta fitoplanktona biomasa, novērsta aļģu masveida savairošanās jeb “ziedēšana”. Regulējot fitoplanktona populāciju lielumu un daļai barojoties selektīvi, zooplanktona sabiedrības ietekmē kopējo ezera barības tīkla struktūru un dinamiku (piem., Wetzel, 2001). Zooplanktona īpatņu blīvums un daudzveidība atspoguļo ezera kopējo ekoloģisko stāvokli un liecina par vides izmaiņām, piemēram, ūdens temperatūras, biogēnu koncentrāciju u.c.

Daudzām zooplanktona sugām ir raksturīgas vertikālās migrācijas – naktī pārvietojoties uz augšējiem ūdens slāņiem, kur lielākas fitoplanktona aļģu koncentrācijas, savukārt diennakts gaišajā laikā - uz dziļākiem slāņiem, lai izvairītos no plēsējiem. Migrācijas ietekmē barības vielu sadalījumu pelagiālē un līdz ar to arī visas ezera ekosistēmas funkcionēšanu kopumā.

1.3.4. Bentiskie bezmugurkaulnieki

Bentiskie bezmugurkaulnieki jeb makrozoobentoss ūdeņu ekosistēmās ir starpposms starp primārajiem producentiem, detrita un dūņu nogulumiem un augstākajiem trofiskajiem līmeņiem. Zoobentoss ir integrāla barības ķēžu, kā arī produktivitātes, barības vielu aprites un noārdīšanās procesu sastāvdaļa. Bentiskie bezmugurkaulnieki ir ne tikai labi eitrofikācijas bioindikatoru, bet atspoguļo arī hidromorfoloģisko degradāciju. Bentisko bezmugurkaulnieku apdzīvotos biotopus ezeros var iedalīt divās galvenajās dziļuma zonās: litorāle (eulitorāle un sublitorāle) un profundāle. Katru no dziļuma zonām apdzīvo atšķirīgas makrozoobentosa sabiedrības (Pilotto et al., 2012).

Pašā piekrastē atrodas eulitorāles zona, kas ir appludināta, kad augsts ūdens līmenis un izzūst, kad ūdens līmenis zems. Tā ir īpaši jutīga pret vilņu iedarbību, ūdens līmeņa un antropogēno ietekmju radītām ezera krasta biotopu struktūras izmaiņām vai pat zudumam. Piem., krasta aizsardzība ar šķembu joslu vai vertikālām sienām negatīva ietekmē piekrastes zonas mezobiotopus (akmens, smilts, makrofītu, koksnes u.c. substrātu sastopamību). Šīs izmaiņas atspoguļo eulitorāles makrozoobentosa sugu sastāvu un daudzveidību. Arī ezera trofiskais stāvoklis ietekmē piekrastes sugu sabiedrības, tomēr mazākā mērā kā profundāles sugu sabiedrības, tāpēc ir salīdzinoši vājš eitrofikācijas indikators (Pilotto et al., 2012). Aiz eulitorāles zonas seko sublitorāles zona, kuras tālākā robeža ir maksimālais ūdensaugu augšanas dziļums un sākas dziļudens zona – profundāle, kuru apdzīvo atšķirīgas, mazāk daudzveidīgas sugu sabiedrības, kas tolerantākas pret zemākām ūdenī izšķīdušā skābekļa koncentrācijām.

Saukas ezerā bentisko bezmugurkaulnieku lielāko biomasas daļu veido invazīvā suga - daudzveidīga sēdgliemene *Dreissena polymorpha* (1.3.4.1. attēls). Šīs sugas pamatareāls ir Ponto-Kaspijas reģions, bet Baltijas reģionā sēdgliemene konstatēta kopš 19. gadsimta sākuma, kad veidoti kanāli, savienojot Dņepras, Nemūnas un Daugavas upju baseinus (Minchin et al., 2002). Sēdgliemenes ir tipiski r-stratēģi - organismi ar īsu dzīves ilgumu, bet augstām reprodukcijas spējām. Šī suga vairojas no maija līdz jūlijam, vienas mātītes olīņu skaits var sasniegt vienu miljonu (Birnbaum, 2011; Minchin et al., 2002). No apaugļotām olīņām izšķīļas planktoniski kāpuri jeb veligeri, kuri aktīvi peld un spēj izplatīties pa visu ezeru, kā arī no iztekošām ūdenstecēm nokļūst blakus esošās ūdenstilpēs (Hallstan et al., 2010; Minchin et al., 2002). Kāpura stadija ilgst 2-4 nedēļas, pēc tam velgeri piestiprinās cietām virsmām (Minchin et al., 2002). Sēdgliemenes ir filtrētājorganismi, kas barojas ar planktoniskajām aļģēm (Wacker & von Elert, 2003).



1.3.4.1. attēls. Mainīgās sēdgliemenes *Dreissena polymorpha* īpatņu kolonija uz perlamutrenes *Unio* sp. čaulas Saukas ezerā (foto: I. Kokorīte).

1.3.5. Zivis

Zivis ir ūdenī dzīvojošie zemākie mugurkaulnieki. Zivis barības ķēdē var atrasties vairākos trofiskajos līmeņos, atkarībā no zivs izmēra un sugas. Visas zivis agrīnajās attīstības stadijās (pēc šķīšanās) barojas ar zooplanktonu. Sasniedzot noteiktu vecumu un attīstības pakāpi, zivju barošanās paradumi mainās atkarībā no zivju sugas: zālēdājas, visēdājas (karpveidīgās) vai plēsīgās zivis, piemēram, asaris, līdaka, zandarts.

Zālēdājas barībā izmanto augus. Šo zivju gremošanas sistēma ir pielāgojusies šķiedrvielu raudzēšanai, lai iegūtu izmantojamās barības vielas. Plēsīgo zivju gremošanas trakts ir īsāks un pielāgojies olbaltumvielām bagātas (dzīvnieku izcelsmes) barības sagremošanai. Visēdāju zivju gremošanas sistēma ir spējīga pārstrādāt gan dzīvnieku, gan augu izcelsmes barību. Jāatzīmē, ka gan plēsīgās zivis, gan visēdājas labprāt izmanto uzturā arī savas sugas mazākos īpatņus.

Zivis ir sastopamas visās Latvijas ūdenstilpēs un ūdenstecēs, taču sugu sastāvs atšķiras un ir atkarīgs no vides apstākļiem. Latvijas ezeros biežāk sastopamās sugas ir asaris, līdaka, rauda, plaudis, līnis, plicis, vīķe, ķīsis un karūsa. Arī Saukas ezerā satopamas iepriekšminētās sugas. Taču pēdējos 20 gados daudzgadīgajās zivju atražošanas Valsts programmās (MK protokols, 2001; MK rīkojums, 2010; MK rīkojums, 2016; MK rīkojums, 2021) tika iestrādāta iespēja papildināt zivju resursus publiskajos ezeros un ezeros, kuros zvejas tiesības pieder valstij. Pateicoties valsts atbalstam (Zivju fonda finansējumam), Saukas ezerā vairākkārtīgi tika ielaisti zandarta mazuļi, kam šobrīd jau ir izveidojusies pašatjaunojoša populācija, un līdaku mazuļi. Apsaimniekotāji par saviem līdzekļiem ir papildinājuši zivju resursus, ielaižot sama mazuļus. Ezera ihtiofauna vērtējama kā cilvēka darbības ietekmēta zivju resursu papildināšanas rezultātā, kas, iespējams, samazināja karpveidīgo zivju skaitu. Pēdējos gados

ezera ūdens kvalitāte ir uzlabojusies, iespējams, pozitīvu ietekmi uz to atstāj arī zivju resursu papildināšana, ielaižot plēsīgās zivis.

2. Ekosistēmas pieeja

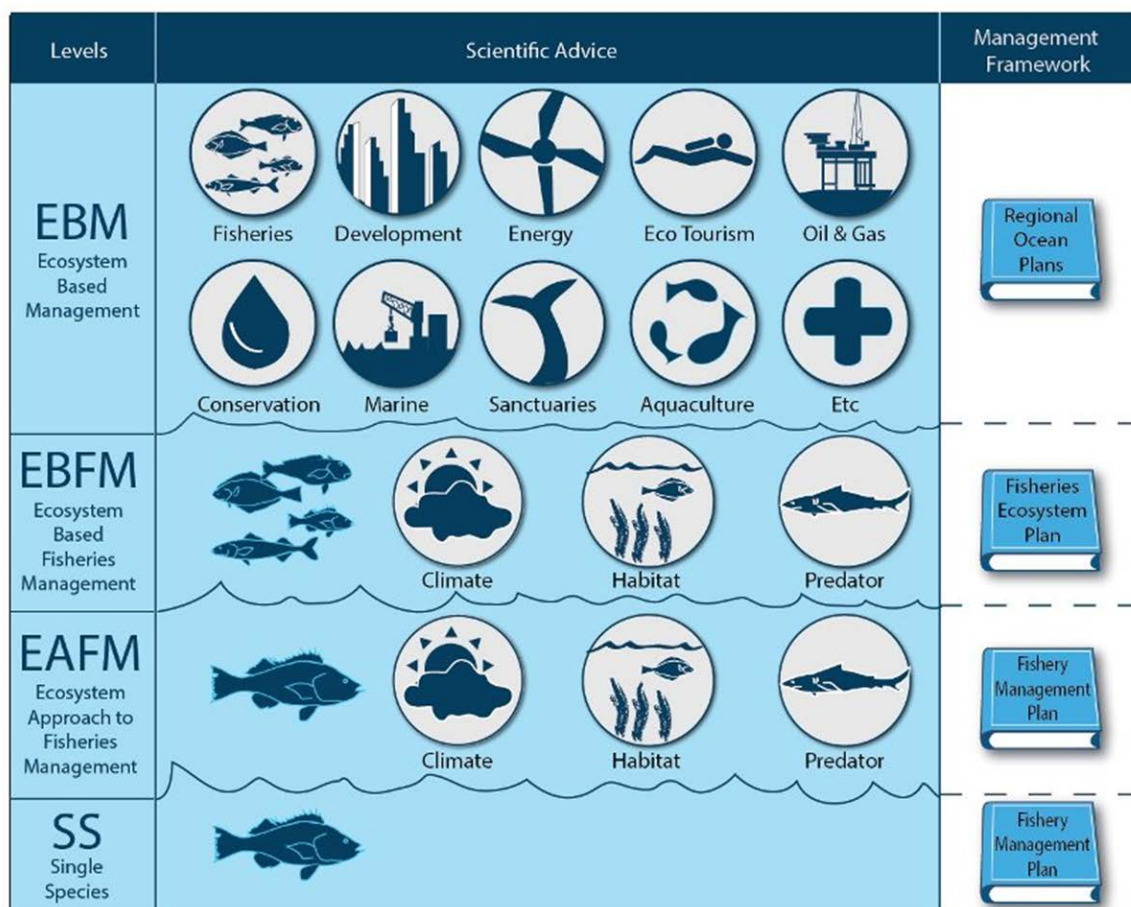
Jebkurai ekosistēmai ir svarīgi saglabāt stabilitāti ilgtermiņā, kā arī spēju pielāgoties straujām pārmaiņām, ko izraisa dabiski vai cilvēka radīti iemesli. Ekosistēmas ir atvērtas un sarežģītas sistēmas, kur savstarpēji saistītas funkcijas nodrošina kopēju stabilitāti (Costanza, 1992; Kane et al., 2009). Veselīga ekosistēma ir stabila un ilgtspējīga, kas spēj saglabāt savu pastāvību un izturību pret stresu ilgā laika periodā. Ekosistēmas veselība ir cieši saistīta ar ideju par ilgtspējību (Norton et al., 1992). Ekosistēmu definē kā biotisku funkcionālu sistēmu vai vienību, kas spēj nodrošināt dzīvības funkcionēšanu un ietver visus šo vienību raksturojošos bioloģiskos un abiotiskos mainīgos. Lai novērtētu ekosistēmas veselību, jāņem vērā, ka viena tipa ekosistēmas, piemēram, eitrofi ezeri, atšķiras savā starpā un novērtēšanai nepieciešami specifiski indikatori (Jørgensen et al., 2005).

2.1. Galvenie principi

Ekosistēmas pieeja ir kļuvusi par dominējošo vēlamo paradigmu vides pārvaldībā visā pasaulē, taču tas, ko tā ietver un kā to var īstenot, rada daudzus izaicinājumus (O'Hagan, 2020). Ekosistēmas pieejas pamatā ir ilgtspējīga ekosistēmas pakalpojumu izmantošana, gūstot labumu cilvēkiem un vienlaikus nodrošinot ekosistēmas veselību. Ekosistēmas pieejas koncepts tiek plaši attīstīts jūras ekosistēmu pārvaldībā. Saskaņā ar Helsinku Komisijas (HELCOM) definīciju, attiecībā uz jūru ekosistēmas pieeja nozīmē integrēti vadīt visas cilvēku darbības, kuras ietekmē jūras vidi, un tajā tiek ņemta vērā progresīvākās zinātniskās atziņas par ekosistēmu un tās dinamiku, ekosistēmas pieeja identificē un veicina darbības, kas uzlabo jūras ekosistēmas veselību, tādējādi nodrošinot ilgtspējīgu ekosistēmas preču un pakalpojumu izmantošanu (HELCOM, 2007). Ekosistēmas pieeja ir identificēta arī kā viena no prioritātēm Starptautiskās jūras pētniecības padomes (ICES) Zinātnes plānā (ICES, 2019).

Ekosistēmas pieeja var tikt īstenota vairākos līmeņos. 2.1.1. attēlā redzami dažādi iespējamie līmeņi zvejniecības pārvaldības kontekstā. Vienas sugas (SS) pieejas gadījumā netiek ņemta vērā ekosistēmas informācija. Šāda pieeja mūsdienās tiek īstenota vairumam jūras zivju sugu, kur ikgadējie krājuma novērtējumi tiek veikti, balstoties uz vienas sugas informāciju (augšana, nobriešana, vecumsastāvs, mirstība u.c.). Attīstot zivsaimniecības pārvaldību nākamajā līmenī (EAFM - ekosistēmas pieeja zvejniecības pārvaldībā), esošais vienas sugas novērtējums tiek papildināts ar vides, dzīvotnes, plēsēju u.c. sugu ietekmējošajiem faktoriem. Šādas pieeja prasa vairāk zināšanu un datu, kā arī komplicētāku modeļu izstrādi. Nākamajā līmenī (EBFM - ekosistēmas pieejā balstīta pilna zvejniecības pārvaldība) zvejniecības pārvaldība balstās uz kompleksas mijiedarbības raksturošanu starp vairākām sugām un ekosistēmas parametriem. Šī pieeja prasa vēl komplicētāku modeļu izstrādi. Augstākajā līmenī (EBM - ekosistēmā bāzēta pilna vides pārvaldība) tiek veikta pilna vides pārvaldība, ņemot vērā mijiedarbību starp visiem iespējamajiem ekosistēmas

komponentiem, tostarp antropogēnajiem un ekonomiskajiem faktoriem (Link & Marshak, 2021).



2.1.1. attēls. Dažādi ekosistēmas pārvaldības līmeņi zvejniecības pārvaldības kontekstā. SS - vienas sugas pieeja, EAFM - ekosistēmas pieeja zvejniecības pārvaldībā, EBFM - ekosistēmas pieejā balstīta pilna zvejniecības pārvaldība, EBM - ekosistēmā bāzēta pilna vides pārvaldība. Attēla avots: Link & Marshak (2021).

Attiecībā uz saldūdeņiem, ekosistēmas pieejas princips ir ietverts ES ŪSD, kuras mērķi ir censties novērst saldūdens ekosistēmu pasliktināšanos un atjaunot to labo ekoloģisko stāvokli, kā arī veicināt ūdens resursu ilgtspējīgu izmantošanu, pamatojoties uz pieejamo ūdens resursu ilglaicīgu aizsardzību (EK, 2000). Līdzīgi principi ir ietverti arī Jūras stratēģijas pamatdirektīvā (EK, 2008). Abas direktīvas tādējādi nodrošina ekoloģisko savienojamību starp saldūdens un jūras sistēmām un, īstenojot ciklisku pieeju, tām būtu jānodrošina adaptīva vides pārvaldības pieeja, kas ir viens no ekosistēmas pieejas pamatprincipiem.

O'Hagan (2020), apkopojot informāciju par ekosistēmas pieejas principu vides pārvaldībā Eiropā, uzsver, ka:

- Eiropas Savienības tiesību aktos nav atrodamas definīcijas par to, kas ir ekosistēmas pieejā balstīta vides pārvaldības vai ekosistēmas pakalpojumi;

- Īstenojot ekosistēmas pieejā balstītu vides pārvaldību, jāatsakās no tradicionālās, uz nozarēm vērstas vides pārvaldības, jo politikas veidotājiem ir jāpārvalda vairāki ekosistēmu pakalpojumi, ko nevar sasniegt, ja tiek izmantots viens nozares vai politikas mērķis;

- Eiropas Savienībā ekosistēmas pieejā balstīta vides pārvaldība ir ieviesta daļēji un tiek īstenota lejupvērstā (*top-down*) veidā, dodot dalībvalstīm ievērojamu rīcības brīvību, kas bieži vien rada būtiskas atšķirības starp valstīm;

- Daudzas esošās Eiropas Savienības politikas to pašreizējā formā ir pretrunā ar apņemšanos īstenot ekosistēmas pieejā balstītu vides pārvaldību un saglabāt ekosistēmu pakalpojumus, piemēram, pasākumus un darbības saskaņā ar kopējo lauksaimniecības politiku un kopējo zivsaimniecības politiku.

Vienlaikus, lai uzlabotu ekosistēmas pieejā balstīta vides pārvaldību, tiek uzsvērts, ka:

- Ir vajadzīga skaidra definīcija un vienošanās par to, kas ir ekosistēmas pieejā balstīta vides pārvaldība un kā to var īstenot praksē Eiropas Savienības un atsevišķu valstu līmenī;

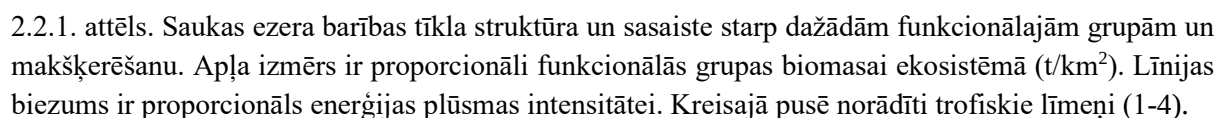
- Ekosistēmas pieejā balstītai vides pārvaldībai ir nepieciešama arī adaptīva pārvaldība, lai spētu tikt galā ar dinamiskām ekosistēmām un pilnīgu zināšanu vai izpratnes trūkumu par to darbību;

- Ir kritiski nepieciešama skaidrība par to, kas patiesībā ir vajadzīgs ekosistēmas pieejā balstītai vides pārvaldībai, kā var izmērīt ieviešanas progresu un dalīties ar veiksmīgu “labāku” ekosistēmas pieejā balstītu vides pārvaldības praksi.

2.2. Ekosistēmas funkcionēšana un barības tīkli

Lai īstenotu ekosistēmas pieejā balstītas vides pārvaldību, ir nepieciešamas zināšanas par ekosistēmas un tās barības tīklu funkcionēšanu. Nereti procesi ekosistēmās tiek raksturoti, izmantojot vienkāršus barības ķēžu piemērus, kur vienu organismu apēd otrs, ko pēc tam apēd trešais organisms utt., tomēr šāda pieeja sniedz ļoti vienkāršotu un ierobežotu informāciju par ekosistēmu un tajā notiekošajiem procesiem. Organismi ekosistēmā vienlaicīgi var patērēt dažādus barības objektus, kā arī to barošanās un ekoloģiskā niša var laika gaitā mainīties, ko ietekmē tādi faktori kā organisma augšana, sezona, pieejamie barības resursi, vides parametri u.c. Rezultātā ekosistēmā veidojas barības tīkls, kur visi organismi savā starpā ir kompleksi saistīti un veido vairākus t.s. trofiskos jeb barošanās līmeņus. Zemākajā (pirmajā) trofiskajā līmenī atrodas pirmproducenti (fitoplanktons un makrofīti), kas no neorganiskām vielām producē organiskas vielas, tādējādi nodrošinot enerģijas pārneši no biogēniem uz augstākiem trofiskajiem līmeņiem. Zemākajā līmenī ir arī detrīts, ko galvenokārt veido atmirušo augu un dzīvnieku organiskās daļas. Detrits veido nogulumu slāni, kā arī daļēji tiek atkārtoti iesaistīts barības tīklā, jo ar detrītu barojas noteiktas organismu grupas, piemēram, zoobentoss, kā arī detrīts tiek noārdīts bakterioloģiskajos procesos. Fitoplanktonu barības tīklā patērē planktonēdāji organismi, pamatā zooplanktona un atsevišķas zoobentosa grupas, kas veido otro trofisko līmeni. Arī šie organismi ir svarīga ekosistēmas daļa, jo nodrošina enerģijas pārneši

2.2.1. attēlā ir shematiski attēlota Saukas ezera barības tīkla struktūra, kur pēc barošanās attiecībām organismi veido četrus trofiskos līmeņus. Intensīvākā enerģijas (biomasas) plūsma ir novērojama no fitoplanktona un detrīta. Augstākā vidējā biomasa stāvošā barības tīklā ir divvāku gliemenu *Bivalvia* grupai, ko pamatā nosaka augstā *Dreissena polymorpha* biomasas.



Ekosistēmu modelēšana ir viens no “atslēgas” rīkiem, kas palīdz atbalstīt uz ekosistēmas pieeju vērstu vides apsaimniekošanu. Modelēšana ir ekosistēmu funkcionēšanas, dzīvotņu vai sugu izplatības vai kādu citu vides aspektu raksturošana un prognozēšana, balstoties uz

pieejamiem datiem, kā arī zināmajām cēloņsakarībām starp vides faktoriem un dzīvajiem organismiem. Modeļi var būt ļoti atšķirīgi pēc to uzbūves un darbības principa. Tie var būt ļoti vienkārši statistiski modeļi, kas apraksta vienas sugas izmaiņas (korelācijas), atkarībā no viena vai vairākiem citiem faktoriem, piemēram, saistību starp sugas izplatību un tai piemēroto dzīvotņu platību. Tāpat tie var būt sarežģītāki modeļi, kas apraksta vairāku sugu mijiedarbību, piemēram, klimata ietekmi uz zemākiem barības tīkla organismiem un tam sekojošu mijiedarbību ar augstākiem organismiem. Lai raksturotu procesus ekosistēmu kontekstā, ir nepieciešami komplicētāki modeļi, kas apraksta kompleksu ekosistēmas funkcionēšanu. Šādi modeļi var sniegt atbildes uz specifiskiem ar ekosistēmas funkcionēšanu saistītiem jautājumiem, atspoguļot netiešu mijiedarbību starp barības tīkla komponentiem, kā arī prognozēt nākotnes izmaiņas dažādu klimata mainības un apsaimniekošanas scenāriju ietekmē. Modelēšanas metožu un rīku izvēle ir atkarīga no analīzes mērķa, kā arī no pieejamās informācijas un datu kvalitātes. Jo labākas zināšanas par ekosistēmu, jo kvalitatīvāks būs izveidotais modelis un tajā aprakstītie ekoloģiskie procesi. Ekosistēmas un vides informācija ir jebkura ekosistēmas modeļa pamatā, neatkarīgi no tā veida un tehniskā izpildījuma.

3. Antropogēnās slodzes un ietekmes

3.1. Biogēno elementu slodzes un eutrofikācija

Par biogēnajiem elementiem ūdeņos apzīmē slāpekļa un fosfora organiskos un neorganiskos savienojumus, arī dzelzi, silīciju u.c. elementus, kas vitāli nepieciešami dzīvības procesu nodrošināšanā. Tomēr ūdeņu kvalitātes kontekstā par biogēnajiem elementiem parasti uzskata slāpekļa un fosfora savienojumus, jo tieši šo elementu pastiprināta pieplūde izraisa virszemes ūdeņu eutrofikāciju un hidroekosistēmu degradēšanos. Augsta bioloģisko procesu intensitāte, piemēram, aļģu un ūdensaugu biomasas veidošanās, ūdenstilpju aizaugšana, organiskās vielas un detrita strauja uzkrāšanās, bezskābekļa apstākļi ezeru piegrunts slānī, bioloģiskās daudzveidības samazināšanās, izzūdēt ekoloģiski jutīgajām sugām, ir dažas no eutrofikācijas izpausmēm, kas liecina par ezera vai upes kvalitātes degradēšanos.

Amonjaks un amonija joni veidojas ūdenskrātuvēs, sadaloties organiskajām slāpekli saturošām vielām heterotrofo baktēriju darbības rezultātā, kā arī ielūdinot organiskos atkritumus (virču, notekūdeņus, ekskrementus), sadzīves un rūpnieciskos atkritumus ūdenskrātuvēs. Atkarībā no vides pH amonjaks ūdens vidē pastāv kā amonija (NH_4^+) jons vai nedisociēts amonjaks NH_3 . Ja vides pH reakcija ir bāziskāka, tad palielinās nedisociētā amonjaka daļa šīs slāpekļa savienojuma formas bilancē (Kļaviņš & Cimdiņš, 2004). Nedisociētais amonjaks ir toksisks, īpaši, ņemot vērā to iedarbību uz zivīm.

Nitrītjoni (NO_2^-) galvenokārt veidojas kā slāpekļa savienojumu transformācijas starpprodukti – oksidējoties NH_4^+ vai reducējoties NO_3^- . Nitrītjonu koncentrācijas virszemes ūdeņos ir zemākas nekā citiem neorganiskā slāpekļa savienojumiem, vidēji tās ir ap 0,01 mg N- NO_2^- /L (Kļaviņš & Cimdiņš, 2004). Anaerobos apstākļos NO_2^- saturs ūdenī var pieaugt.

Nitrāti (NO_3^-) atrodami praktiski visās ūdenskrātuvēs. Tīros virszemes ūdeņos nitrātu koncentrācija parasti ir 0,4-8 mg/l, bet piesārņotos - pārsniedz pat 50 mg/l NO_3^- . Galvenie piesārņojuma avoti ir minerālmēslu izskalošanās no augsnēs, organisko un neorganisko vielu pārvērtības un transformācijas procesi.

Fosfors dabā ir ievērojami mazāk izplatīts, tāpēc tā pieejamība bieži limitē dzīvo organismu attīstību. Tiek uzskatīts, ka Eiropas virszemes ūdeņos fosfors ir galvenais pirmprodukcijas veidošanas un līdz ar to arī ūdenstilpju eutrofikācijas procesus limitējošais elements (Poikane et al., 2022). Ja fosfātu saturs pārsniedz 0,05 mg/l, pie pietiekoša slāpekļa savienojumu daudzuma ūdenstilpēs labvēlīgos apstākļos var sākties intensīva aļģu un citu ūdens augu vairošanās. Fosfors palielinātos daudzumos ūdeņos nokļūst galvenokārt cilvēka saimnieciskās darbības rezultātā: izskalojoties no lauksaimniecības un mežsaimniecības teritorijām, ar sadzīves un rūpnieciskajiem notekūdeņiem, notecēm no fermām u.c.

Modelēšanas rezultāti (Vassiljev & Stālnacke, 2005) liecina, Peipusa ezera sateces baseinā slāpekļa izneses no lauksaimniecības zemēm ir 6,9-15 kg N/ha, bet fosfora izneses - 0,17-0,63 kg P/ha. No mežu zemēm biogēno elementu izneses ir apmēram četras reizes zemākas. Lauksaimniecības noteču monitoringa rezultāti rāda, ka Latvijā upju sateces baseina līmenī kopējā slāpekļa izneses ir aptuveni 7,0-15,5 kg N/ha (Stālnacke et al., 2014), bet kopējā fosfora - 0,117-0,218 kg P/ha (Pengerud et al., 2015) atkarībā no lauksaimniecības intensitātes, hidroloģiskajiem u.c. faktoriem. HELCOM slodžu novērtējumā (HELCOM, 2022) ziņots, ka no Latvijas antropogēnās difūzās slāpekļa slodzes veido 92,1%, bet fosfora slodze - 89,8%. Punktveida avotu radītā slāpekļa slodze veido 2,2%, bet fosfora - 3,9%. Pārējo slodzes daļu veido fona izneses no mežu platībām un atmosfēras tiešā depozīcija. 2017. gadā Baltijas jūrā no Latvijas ieplūda 116,5 tūkst. tonnu slāpekļa un 3290 tonnas fosfora.

Ūdens ir viens no rekreācijas resursiem, līdz ar to ir svarīga ne tikai ūdensobjektu kvantitāte, bet arī kvalitāte. Ūdens kvalitātes jautājumus var skatīt no diviem aspektiem:

- kā rekreācijas un tūrisma aktivitātes ietekmē ūdeņu kvalitāti;
- vai esošā ūdeņu kvalitāte atbilst rekreācijas prasībām (piemēram, peldūdeņu kvalitātes kritērijiem).

Biogēnie elementi ezerā vai upē var nonākt arī no nepareizi izbūvētām vai slikti apsaimniekotām tualetēm, kas atrodas peldvietu tuvumā vai pie atpūtas namiem. Bieži ir gadījumi, kad atpūtas vietu tuvumā tualetes nav izbūvētas. Polijā veiktajā pētījumā novērtēts, ka 100 peldētāji potenciāli ūdenī ievada 0,1 kg slāpekļa, 5 dm³ urīna, 30 dm³ sviedru, 50 g nešķīstošu organisku vielu un 400 g nešķīstošo organisko vielu, izteiktu kā KMnO_4 oksidējamība (Predota, 2007 cit. pēc. Serafin et al., 2022). Var pieņemt, ka peldoties viens cilvēks ezerā ievada 0,00005 kg fosfora (Szyper, 1983 cit. pēc. Lopata et al., 2019).

Slāpekļa un fosfora savienojumi ezerā tiek ienesti arī ar zivju barību, ko makšķernieki lieto karpveidīgo zivju piebarošanai. Novērtēts, ka viens makšķernieks zivju piebarošanai Eiropas saldūdeņos izmanto aptuveni 1 līdz 2,3 kg zivju barības dienā (Fazekas et al., 2023). Dzīvnieku izcelsmes zivju barībā slāpekļa saturs ir ap 6,37% un fosfora saturs ap 1,10% sausa svara. Uz augu valsts produktiem bāzētā barībā slāpekļa saturs ir 4,81%, bet fosfora saturs -

1,01% sausa svara (Fazekas et al., 2023). Liela daļa zivju barībā esošo biogēno elementu nonāk ūdenī dienas laikā vai nu ar zivju vielmaiņas galaproduktiem (apēstā pārtika), vai arī barības vielām izšķīstot ūdenī (neapēstā barība; Fazekas et al., 2023).

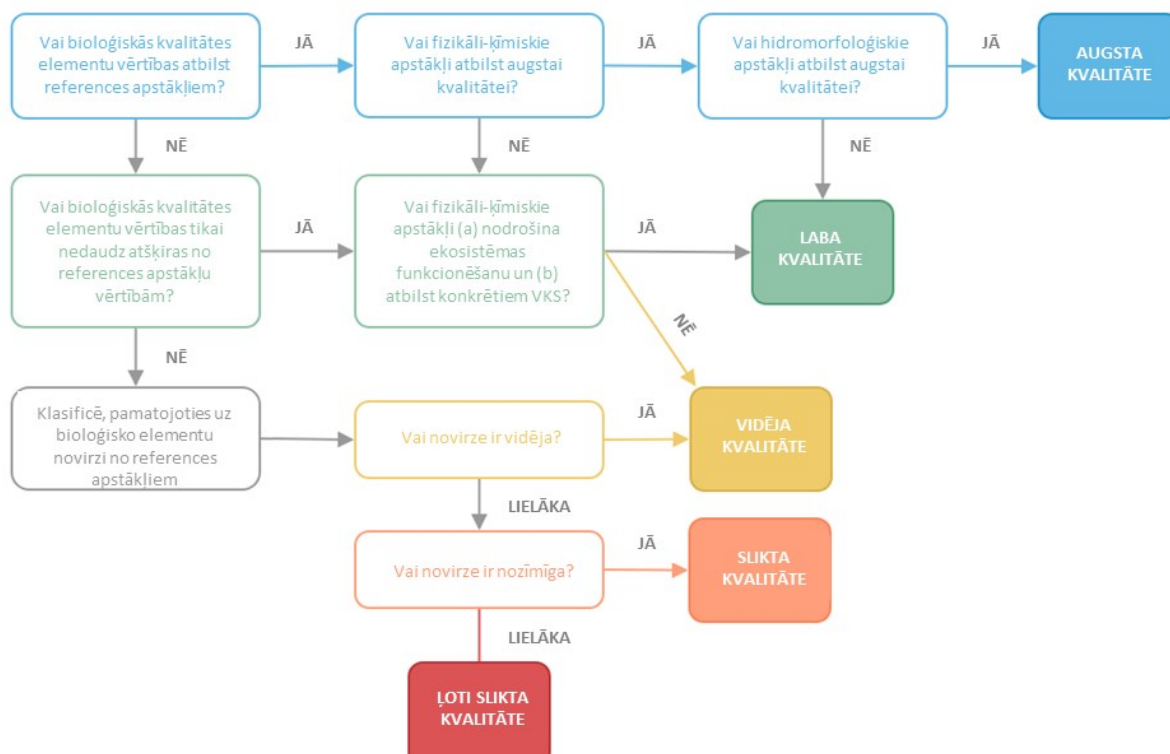
Fizikālās ietekmes, kas rodas rekreācijas aktivitāšu rezultātā ir, piemēram, ūdenstilpju krasta erozija, ko izsauc viļņu darbība, kas rodas motorlaivu pārvietošanās rezultātā. Nepiemēroti iekārtotu peldvietu tuvumā arī iespējama krasta erozija, biotopu iznīcināšana.

3.2. Hidromorfoloģiskie pārveidojumi

Ezeru ūdensobjektu stāvokli kopā ar bioloģiskajiem un fizikāli-ķīmiskajiem parametriem raksturo hidromorfoloģiskie rādītāji:

- hidroloģiskie parametri (piemēram, ūdens līmeņa un caurplūduma mērījumi), kā arī hidroloģiskās izmaiņas raksturojošās hidrotehniskās būves sateces baseinā vai iztekas posmā, piemēram, HES, slūžas, meliorācijas sistēmas, polderi u.c.;
- morfoloģija vai morfoloģiskie pārveidojumi, piemēram, krasta nostiprināšana, zemes lietošana gar krastu un sateces baseinā, nogulsņēšanās vai krasta erozija utt.

Hidromorfoloģiskais novērtējums tiešā veidā kopējo ekoloģiskās kvalitātes novērtējumu ietekmē vismazāk, jo, atbilstoši Ūdens struktūrdirektīvas kopējās Ieviešanas stratēģijas izstrādes vadlīnijām, pat ļoti slikta hidromorfoloģiskā novērtējuma kvalitātes klase drīkst samazināt ekoloģiskās kvalitātes novērtējumu tikai no augstas uz labu klasi, ja bioloģiskie un fizikāli-ķīmiskie rādītāji atbilst augstai kvalitātei (3.2.1. attēls). Tomēr netieši hidromorfoloģijas nozīme ir daudz lielāka un tiek pieņemts, ka, ja hidromorfoloģiskās kvalitātes klase ir zemāka par labu, tad arī bioloģiskie kvalitātes elementi nespēs sasniegt labu kvalitātes klasi (LVGMC, 2023).



3.2.1. attēls. Bioloģisko, hidromorfoloģisko un fizikāli-ķīmisko kvalitātes elementu loma ekoloģiskā stāvokļa klasifikācijā, saskaņā ar Ūdens Struktūrdirektīvas V pielikuma 1.2. punktā minētajām normatīvajām definīcijām (pēc REFCOND, 2003).

3.3. Klimata izmaiņas

Klimata maiņa ir viens no globālajiem draudiem ezeru ekosistēmām. Klimata maiņa ietekmē ezera fizikālos apstākļus, vielu apriti un ezerā noritošos biogeoķīmiskos procesus, augu un dzīvnieku sugu sabiedrības. Klimata maiņas rezultātā samazinās ledus segas ilgums un pasaulē vidēji par 0,34 °C dekādē pieaug ezera virsējā ūdens slāņa temperatūra (Woolway et al., 2020). Ledus segas izzušana un ūdens temperatūras pieaugums rada izmaiņas ezera stratifikācijā, kā arī palielina iztvaikošanu, kas nepietiekamas ūdens pieplūdes gadījumā var radīt ezeru ūdens līmeņa krišanos (Woolway et al., 2020).

Raksturīgs arī agrāks un garāks vasaras stratificētās sezonas ilgums, kas bieži vien izraisa ekoloģisko un vides procesu izmaiņu kaskādi, kā, piem., augstākas vasaras ūdens temperatūras, izmaiņas ezeru ūdens slāņu sajaušanās procesos un ūdens līmeņa izmaiņas, izšķīdušā skābekļa daudzuma samazināšanos, paaugstinātu cianobaktēriju (zilaļģu) ziedēšanas iespējamību, izmaiņas barības ķēdēs un biotopu zudumu vietējām aukstūdens zivju sugām. Klimata izmaiņu sekas ietver ietekmi uz saldūdens krājumiem, ūdens kvalitāti, bioloģisko daudzveidību un ekosistēmas pakalpojumiem, ko tās sniedz sabiedrībai (Woolway et al., 2022). Ezeri strauji mainās, reaģējot uz klimata pārmaiņām, un pēdējo desmitgažu laikā tie ir reaģējuši gan uz dabiskajiem, gan antropogēnajiem ietekmju faktoriem. Klimata pārmaiņas ir liels ezeru apdraudējumu pavairotais, kas bieži pastiprina procesu, piemēram, eutrofikācijas, pārrobežu

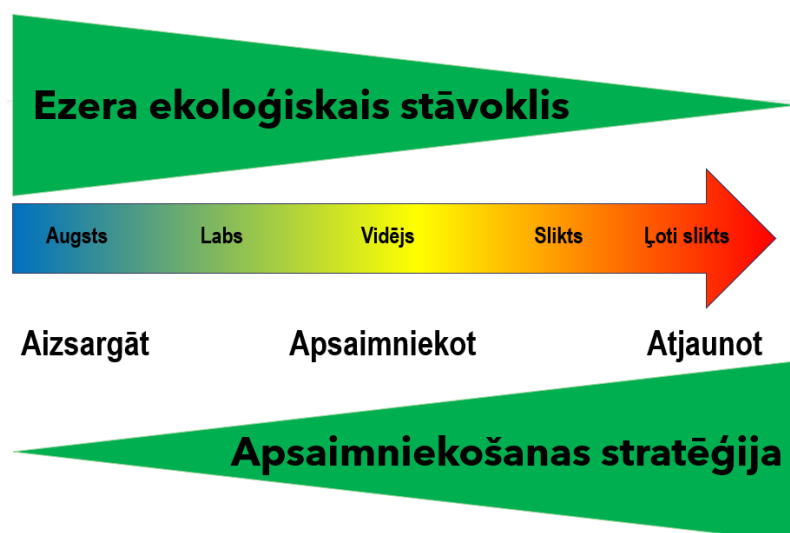
piesārņojuma vai invazīvo sugu izplatības, negatīvo ietekmi (Woolway et al., 2022). Līdz ar to pašreizējais apsaimniekošanas pasākumu apjoms to seku mazināšanai varētu būt nepietiekams. Tā kā klimata izmaiņu ierosinātās izmaiņas var notikt ļoti strauji, lai paspētu tām adaptēties, vieni no labākajiem risinājumiem būtu analizēt ilgtermiņa datu rindas, izmantot attālinātās izpētes metodes, kā arī uz ekosistēmu procesiem un sugu taksonomiskā līmeņa balstītu agrās brīdināšanas sistēmu izmantošana, kas laicīgi brīdinātu par potenciālām izmaiņām (Woolway et al., 2022).

4. Ekoloģiskā kvalitāte un trofija

4.1. Ekoloģiskā stāvokļa novērtēšana pēc ES Ūdeņu struktūrdirektīvas kritērijiem

Ezeru ekoloģiskā kvalitāte ES ŪSD ietvaros galvenokārt tiek novērtēta, izmantojot bioloģiskās kvalitātes elementu (BKE): fitoplanktona, kramaļģu, makrofītu jeb ūdensaugu, bentisko bezmugurkaulnieku jeb makrozoobentosa un zivju faunas indeksus, kas raksturo to taksonomisko un funkcionālo sastāvu, īpatņu blīvumu, sensitīvo un toleranto taksonu proporciju, kā arī daudzveidību un galveno taksonomisko grupu trūkumu ūdenstilpē ietekmju iedarbības rezultātā (Hering et al., 2006). Hidromorfoloģiskie un fizikāli - ķīmiskie parametri tiek izmantoti kā papildus indikatīvie rādītāji bioloģiskajiem kvalitātes elementiem (Poikane et al., 2020). Novērtējot ekoloģisko kvalitāti pēc BKE, tiek izmantota “viens ārā - visi ārā” princips, kas nozīmē, ka ekoloģisko kvalitāti vērtē pēc BKE, kas norāda zemāko kvalitātes klasi (Latinopoulos et al., 2021). Piemēram, ja ūdensobjekta ekoloģiskā kvalitāte pēc fitoplanktona ir vidēja, bet pēc makrofītiem, makrozoobentosa un zivīm ir laba, tad kopējā ūdensobjekta kvalitāte ir vidēja. BKE, fizikāli-ķīmisko un hidromorfoloģisko parametru loma ūdensobjektu kvalitātes vērtēšanā shematiski attēlota 3.2.1. attēlā. Latvijā ezeru ekoloģiskā kvalitāte tiek vērtēta pēc fitoplanktona (Phillips et al., 2015), makrofītiem (Portielje et al., 2014), makrozoobentosa (Skuja & Ozoliņš, 2016) un zivīm (Aleksejevs et al., 2017).

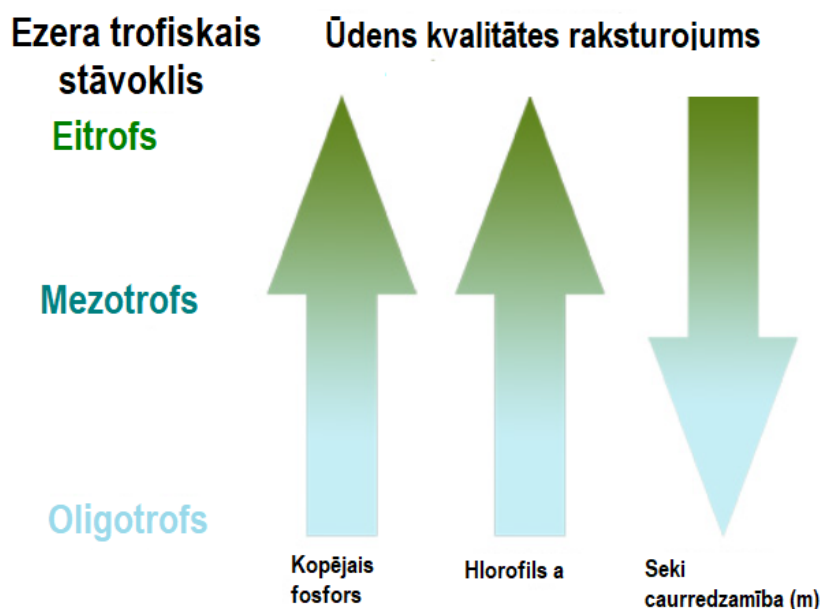
Apsaimniekošanas pasākumu apjoms ir atkarīgs no ezera ekoloģiskā stāvokļa. Ezeri, kuri nesasniedz labu un augstu ekoloģisko kvalitāti, tiek pieskaitīti riska ūdensobjektiem un jāveic pasākumi, lai to uzlabotu (4.1.1. attēls).



4.1.1. attēls. Apsaimniekošanas stratēģijas izvēle atkarībā no ezera ekoloģiskā stāvokļa (pārveidots no <https://www3.uwsp.edu/cnr-ap/UWEXLakes/Documents/programs/convention/2007/lake-planning-overview.pdf>).

4.2. Ezeru trofijas pakāpes

Ezerus iedala tipos pēc trofijas - fotoautotrofās jeb pirmprodukcijas veidošanās intensitātes: oligotrofs, mezotrofs, eutrofs un hipertrofs. Trofijas pieaugumu var veicināt gan labāka esošo barības vielu izmantošana ezerā, gan papildus pievadīšana no baseina (Cimdiņš, 2001; 4.2.1. attēls).



4.2.1. attēls. Ezeru trofiskā stāvokļa raksturojums pēc kopējā fosfora, hlorofila a un Seki caurredzamības mērījumiem (pārveidots no <https://www.rmbel.info/primer/water-quality-parameter-relationships/>).

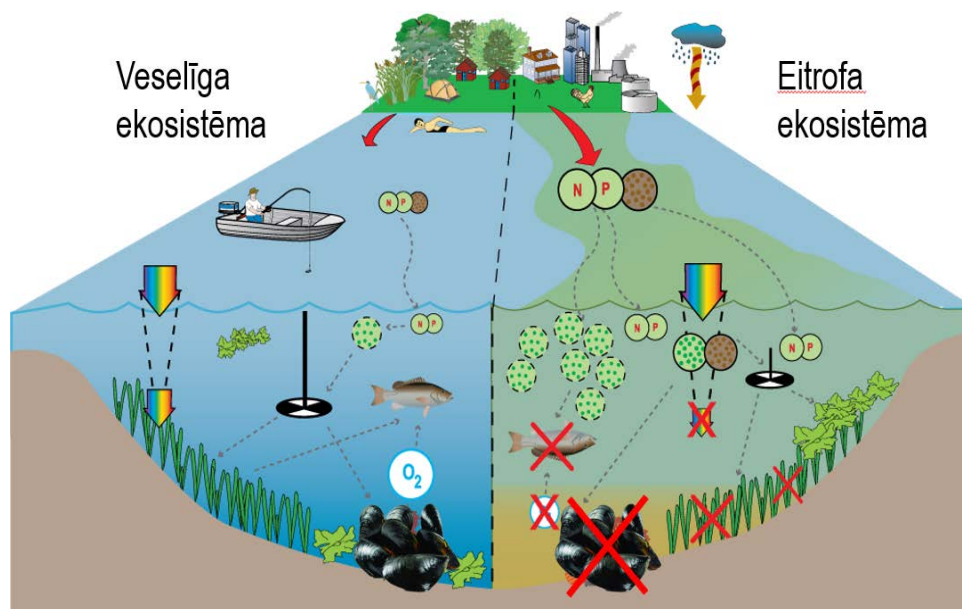
Pieaugot barības vielu, un līdz ar to fitoplanktona aļģu daudzumam, samazinās ūdens caurredzamība, iegrīmušo ūdensaugu audzes nomaina peldlapu un uz ūdens virsmas augošo ūdensaugu jeb lemnīdu audzes. Iegrīmušajiem ūdensaugiem ezera ekosistēmās ir nozīmīga loma, jo, akumulējot barības vielas, tie nodrošina ezera stabilo dzidrūdus stāvokli un bioloģisko daudzveidību (Verhofstad et al., 2017; 4.2.1., 4.2.2. attēls). 4.2.1. tabulā noformulēti kritēriji oligotrofu un eutrofu ezeru ekosistēmu funkcionēšanas salīdzināšanai.

4.2.1. tabula. Kritēriji oligotrofu un eutrofu ezeru salīdzinājumam (pārveidots no Lampert & Sommer, 2007)

Parametri	Oligotrofi ezeri	Eitrofi ezeri
Morfometrija	Dziļi	Sekli
Eplimnija : hipolimnija tilpuma proporcija	<1*	>1*
Primārā produkcija	Zema ($50 - 300 \text{ mg C}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	Augsta ($> 1000 \text{ mg C}^{-2} \text{ d}^{-1}$)
Aļģu biomasa	Maza $0,02 - 0,1 \text{ mg C l}^{-1}$ $0,3 - 3 \text{ mg Chl } a \text{ l}^{-1}$	Liela $> 0,3 \text{ mg C l}^{-1}$ $10 - 500 \text{ mg Chl } a \text{ l}^{-1}$
Biogēni	Mazas koncentrācijas	Lielas koncentrācijas
Pkop pēc pilnīga cikla	$< 10 \text{ mg l}^{-1}$	$> 10 \text{ mg l}^{-1}$
Masveidīga cianobaktēriju (zilaļģu) savairošanās	Nenotiek	Notiek
O ₂ patēriņš hipolimnijā	Mazs, $> 50\%$	Liels, var būt bezskābekļa apstākļi (anoksija)
O ₂ profils	Labi skābekļa apstākļi visā ūdens kolonnā līdz pašai gultnei	Nepietiekams skābekļa daudzums piegrunts slānī vai pat bezskābekļa vide
Profundāles bentiskie bezmugurkaulnieki (zoobentos)	Daudzveidīgs sugu sastāvs, nepieciešami labi O ₂ apstākļi	Nabadzīgs sugu sastāvs, tolerantī zemām O ₂ koncentrācijām
Trīsuļodu Chironomidae kāpuru sabiedrības	<i>Tanytarsus</i> grupa	<i>Chironomus</i> grupa
Zivju fauna	Lašveidīgo un sīgu dzimtu zivis	“Silto ūdeņu” sugu sabiedrības, karpveidīgās zivis

4.2.2. attēlā salīdzinātas veselīgas un spēcīgi eutrofas ezeru ekosistēmas. **Veselīgās ekosistēmās** barības vielu daudzums, tai skaitā slāpekļa un fosforu savienojumu daudzums, nodrošina sabalansētu augstāko ūdensaugu, makroskopisko aļģu un fitoplanktona aļģu augšanu. Ūdens kolonnā ir salīdzinoši nelielas hlorofila *a* koncentrācijas un ir liela Seki caurredzamība, gaisma ir pietiekama augstāko ūdensaugu fotosintēzes procesu nodrošināšanai. Primārie producenti spēj nodrošināt ūdenī izšķīdušā skābekļa (O₂) koncentrācijas veselīgām zivju un bentisko bezmugurkaulnieku sabiedrībām un nodrošina arī cilvēkiem rekreācijas aktivitātēm nepieciešamos apstākļus. **Eitrofās ekosistēmās** ir palielināta barības vielu (N un P savienojumu) un sedimentu ienese no piekrastes un sateces baseina, ieskaitot notekūdeņu, virszemes noteces, lauksaimniecības, industriālo teritoriju u.c. ietekmes, kas var palielināt

fitoplanktona biomasas ūdens kolonnā un aizaugumu ar pavedienveida aļģēm. Masveida aļģu savairošanās jeb “ziedēšanas” dēļ samazinās ūdens caurredzamība, izzūd ūdensaugu audzes, vidē var izdalīties potenciāli toksisko aļģu toksīni, samazinās ūdenī izšķīdušā skābekļa daudzums. Skābeklis tiek patērēts biomasas noārdīšanas procesos, kā rezultātā vides apstākļi ir nelabvēlīgi gan zivīm un bentiskajiem bezmugurkaulniekiem, gan citām organismu grupām.



4.2.2. attēls. Veselīgas un spēcīgi eitrofas ezera ekosistēmas salīdzinājums (pārveidots no Beckert K., Integration and Application Network (ian.umces.edu/media-library); Kruczynski & Fletcher 2012).

5. Ezeru apsaimniekošana

Ezeru ekosistēmas ir nozīmīgas dažādu ekosistēmas pakalpojumu nodrošināšanā, piem., cilvēki ezera resursus izmanto gan kā iztikas avotu, gan rekreācijas vajadzībām: makšķerēšana, medības, ūdens atrakcijas vai ainavas baudīšana u.c. Cilvēku darbība ezeru tuvumā un ezerā izmaina ezeru ekosistēmu; lai nodrošinātu ilgtspējīgu ezeru resursu izmantošanu, apsaimniekojot nepieciešama gan bioloģisko, gan ekonomisko un sociālo aspektu iekļaušana (5.1. attēls).



5.1. attēls. Ilgtspējīga ūdeņu apsaimniekošana (pārveidots no Doering & Robinson, 2012).

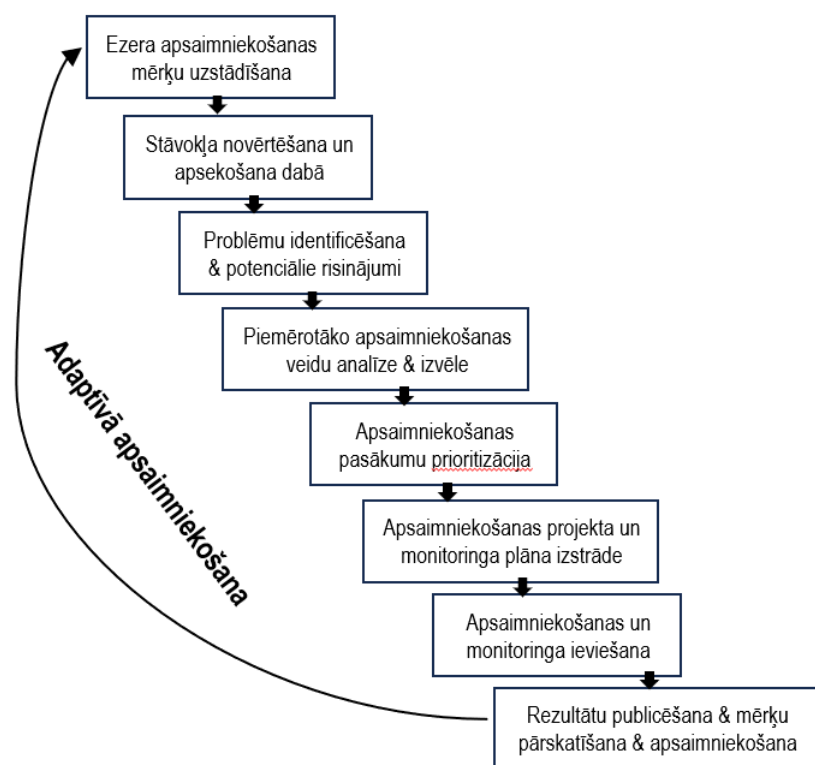
5.1. Apsaimniekošanas plānošana

Apsaimniekošanas mērķis. Galveno ezeru ekosistēmu degradējošo problēmu risināšanai un ietekmju novēršanai ir nepieciešama gan zinātniska izpratne, gan tehniska pieeja, gan prognozēšanas spējas, lai paredzētu izmaiņas sugu sastāvā, novērtētu ekosistēmu pakalpojumu zudumu un novērtētu arī ietekmes ekonomiskās sekas (Jørgensen et al., 2012).

Viena no efektīvākajām pieejām ezeru apsaimniekošanā ir adaptīvā pieeja, kas sastāv no vairāku etapu cikla. Pēc pasākumu veikšanas efektivitātes novērtēšanas, veicot monitoringu un jaunā cikla uzsākšanas, apsaimniekošanas plāns tiek pilnveidots, izmantojot gan praksē iegūto pieredzi, gan sasniegtos rezultātus. Viens pirmajiem un no vissvarīgākajiem etapiem ir noformulēt ūdenstilpes apsaimniekošanas mērķi (5.1.1. attēls).

LIFE GoodWater IP projekta ietvaros apsaimniekošanas mērķis ir uzlabot ūdens kvalitāti Saukas ezera ekoloģisko kvalitāti no vidējas uz labu kvalitāti, saskaņā ar ES Ūdens struktūrdirektīvas prasībām.

Sākotnējai informācijai par ezera stāvokli un ES nozīmes biotopu sastopamību var izmantot pieejamos datus dabas datu pārvaldības sistēmā “OZOLS” (<https://www.daba.gov.lv/lv/dabas-datu-sistema-ozols>). Lai identificētu galvenās problēmas un izvēlētos potenciālos pasākumus, jāapkopo visa pieejamā informācija un ezers jāapseko dabā. Monitorings, uzraugot svarīgākos parametrus, ir būtiska ezeru ekosistēmu apsaimniekošanas sadaļa un ir nepieciešams, lai pareizi īstenotu izvēlētas apsaimniekošanas metodes un zinātu, vai visi galvenie rādītāji nepārsniedz noteiktās ekoloģiskā stāvokļa robežvērtības (Wagner & Erickson, 2017).



5.1.1. attēls. Adaptīvās apsaimniekošanas pieejas etapi un īstenošana (pārveidots no Roni & Beechie, 2013).

5.2. Apsaimniekošanas pieejas

Lai samazinātu antropogēnās eutrofikācijas (jeb *cultural eutrophication*) ietekmi, ūdens resursu apsaimniekotāji pielieto dažādas stratēģijas, piem., lieko barības vielu “novirzīšanu” vai barības vielu proporciju ietekmēšanu; fizikālu ūdens kolonnas sajaukšanu un aerāciju; ūdenstilpju noēnošanu, (piem., pārklājot virsmu ar necaurspīdīgu pārklājumu); algicīdu vai herbicīdu izmantošanu. Uzskaitītās stratēģijas ir izrādījušās neefektīvas, dārgas vai nepraktiskas, īpaši lielām un “sarežģītām” ekosistēmām. Ūdens kvalitāti bieži var uzlabot, samazinot slāpekļa vai/un fosfora ielplūdi ūdens ekosistēmās, un praksē ir zināmi vairāki labi piemēri, kad šāda augšupvērstā barības vielu kontrole “no apakšas uz augšu” (*bottom-up* kontrole) ir būtiski uzlabojusi ūdens caurredzamību. Tomēr barības vielu samazināšanu var būt grūti un dārgi kontrolēt, jo īpaši intensīvas lauksaimniecības apgabalos, kur barības vielas nāk no difūzajiem jeb izkliedētajiem avotiem. Turklāt ezeros, kur ir samazināta barības vielu ārējā slodze, iekšējā barības vielu slodze no sedimentiem var novērst ūdens kvalitātes uzlabošanos. Algicīdu, piemēram, vara sulfāta, izmantošana ir efektīva tikai īslaicīgi, lai samazinātu potenciāli toksisko aļģu “ziedēšanu”, turklāt algicīdu lietošana ir dārga, tie nekontrolē problēmas galveno cēloni (t.i., bagātīgos resursus primārajiem producentiem) un rada risku cilvēkiem, mājlopiem un savvaļas dzīvniekiem, kā arī kaitē dažādiem nemērķa ūdens organismiem (Chislock et al., 2013).

Urtāns A. (red.) (2017) vadlīnijās ES nozīmes ezeru biotopa 3150 *Eitrofi ezeri ar iegrīmušo ūdensaugu un peldaugu augāju* saglabāšanai Latvijā analizējis un raksturojis

sekojošas atjaunošanas un apsaimniekošanas metodes, tai skaitā to priekšrocības un trūkumus, un nelabvēlīgas apsaimniekošanas un izmantošanas novēršanu: 1) ūdensaugu aizauguma samazināšanu; 2) ezera dziļuma palielināšanu kā aizauguma samazināšanas metodi; 3) ezera padziļināšanu un sapropeļa ieguvu; 4) nelielu peldvietu iekārtošanu; 5) biogēno elementu saistīšanu izmantojot ķīmiskās un fizikālās metodes; 6) zivju slāpšanas novēršanu; 7) vēja koridoru veidošanu; 8) barības ķēžu izmaiņāšanu jeb biomanipulāciju.

5.3. Pasākumi biogēno elementu slodzes samazināšanai sateces baseinā

Viena no galvenajām pieejām vides aizsardzībā ir piesārņojuma novēršana jau tā rašanās vietā. Ezera ekoloģiskās kvalitātes saglabāšanai un uzlabošanai nozīmīgākā ir slāpekļa un fosfora slodzes samazināšana no punktveida un difūzajiem avotiem sateces baseinā. Upju baseinu apsaimniekošanas plānos (LVGMC, 2023) kā galvenās slodzes, kas ietekmē Saukas ezera kvalitāti, atzīmētas lauksaimniecības un rekreācijas aktivitāšu radītās slodzes.

Mākslīgo mitrāju jeb mitrzemju ierīkošana ir viens no pasākumiem difūzo un punktveida slodžu samazināšanai. Mākslīgo mitrāju ideja ir aizgūta no dabiskām ekosistēmām, kam raksturīga mitruma pārbagātība (pastāvīgi vai periodiski pārplūstoša teritorijas, purvi, upju palienes utml.) un veģetācija, kas pielāgojusies šiem apstākļiem. Mitrāji dabā regulē teritorijas hidroloģisko režīmu, piedalās vielu apritē, tai skaitā, aizturot un samazinot piesārņojumu, ir dzīvotne īpašiem apstākļiem pielāgotām sugām. Pieplūstošajos ūdeņos esošos biogēnos elementus patērē mitrāju veģetācija, uz organiskajām un neorganiskajām daļiņām saistītie savienojumi izgulsnējas mitrājā, ūdenī un augsnē esošie neorganiskā slāpekļa savienojumi denitrifikācijas procesos tiek pārvērsti slāpekļa gāzveida savienojumos. Izšķir virszemes mitrājus, kur ir atklāta ūdens platības ar dziļumu līdz 2 m un pazemes mitrājus, kur ūdens līmenis tiek uzturēts zem zemes līmeņa un atklāts ūdens parasti nav redzams. Galvenie faktori, kas ietekmē mitrāja efektivitāti jeb spēju aizturēt piesārņojumu, ir (Grīnberga, 2022):

- temperatūra - ietekmē mikrobioloģisko aktivitāti, veģetācijas attīstību un ar to saistītos piesārņojuma noārdīšanas un aiztūrešanas procesus;
- ūdens apmaiņas laiks mitrājā - atkarīgs no klimatiskajiem, hidroloģiskajiem un augšnes apstākļiem, kā arī no notekūdeņu apjoma un pieplūdes režīma. Parasti mazāks ūdens apmaiņas laiks veicina piesārņojuma aizturi mitrājā;
- veģetācija - palielina mitrzemes efektivitāti;
- apsaimniekošana - veģetācijas kontrole, uzkrāto sedimentu aizvākšana, uzraudzība, lai sedimenti nenokļūtu pazemes mitrājos un neaizsērētu filtri utml.

Praktiski piemēri par mitrzemju uzbūvēšanu, ekspluatāciju un efektivitāti Latvijas apstākļos ir apkopoti Lindas Grīnbergas promocijas darbā (2022). Rezultāti rāda, ka pazemes plūsmas mākslīgais mitrājs efektīvāk aiztur piesārņojumu nekā virszemes mitrājs. Pazemes mitrājs aiztur aptuveni 55 % ienākošās kopējā slāpekļa slodzes, ap 90% kopējā fosfora un 46%

suspendēto vielu slodzes. Virszemes plūsmas mitrāja efektivitāte bijusi daudz mazāka, un daudzos gadījumos mitrājs ir bijis papildus piesārņojuma avots, t.i., vielu koncentrācija no mitrāja izplūstošajā ūdenī bijusi lielāka nekā ieplūdē. Virszemes mitrāju efektivitāti nosaka ne tikai to izbūves parametri, atrašanās vieta, laikapstākļi, hidrauliskā slodze, antropogēnās darbības intensitāte, bet arī veģetācija. Biezas veģetācijas audzes (virs 70%) sekmē fosfora un slāpekļa aizturi un mazina ekstrēmu hidroloģisko epizožu ietekmi uz mitrāja funkcijām (Kill et al., 2022). Latvijā izbūvētajā mitrājā Mežacīruļos veģetācijas platības bija tikai 19,2% (5.3.1. tabula).

5.3.1. tabula. Mākslīgo mitrāju izmantošanas pozitīvie un negatīvie aspekti (pēc Grīnberga, 2022; Vymazal et al., 2021).

Pozitīvais	Negatīvais
➤ Iespēja kombinēt un pielāgot dažāda veida piesārņoto ūdeņu, lietussūdeņu un notekūdeņu attīrīšanai ➤ zemas uzturēšanas izmaksas ➤ zems vai neesošs energoresursu patēriņš ➤ uzturēšanai nav nepieciešams kvalificēts darbspēks ➤ videi draudzīga un ilgtspējīga metode ➤ ainavu papildinošs elements, veicina bioloģiskās daudzveidības saglabāšanu ➤ ir potenciāls aizturēt mikropiesārņotājus un nanodaļiņas	➤ nepieciešama relatīvi liela platība ➤ nepareizi uzbūvēts, nepareizi izmantots vai apsaimniekots mitrājs var nesasniegt vēlamu efektivitāti ➤ efektivitāti ietekmē klimatiskie un hidroloģiskie apstākļi (rudē, ziemā, pavasarī, lietussgāžu gadījumā, kad notiek lielākā biogēnu izskalošanās, efektivitāte ir zemākā vai pat notiek biogēnu iznese no mitrāzemes) ➤ Latvijā salīdzinoši jauna metode ➤ siltumnīcefekta gāzu emisijas

Sedimentācijas baseini ir atzīti par vienu no videi draudzīgās meliorācijas sistēmas elementiem. Tie ir lauksaimniecības un meža zemes nosusināšanas sistēmu ūdensnoteku (ūdensteču, novadgrāvju) gultņu paplašinājumi un padziļinājumi ar ūdeni izskalojamo produktu sedimentācijai un bioloģiskai akumulācijai (MK not. Nr. 600, pieņemti 2014, ar groz. 2018). Sedimentācijas baseini paredzēti ūdens plūsmas ātruma samazināšanai ūdenstecē. Gravitācijas rezultātā baseinā izgulsnējas ar ūdens plūsmu transportētais suspendētais materiāls, piemēram, augsnes daļiņas vai detrīts un ar tiem saistītās augu barības vielas, galvenokārt fosfora savienojumi. Sedimentācijas baseinus vēlams izbūvēt pēc iespējas tuvāk ietekai dabiskā vai pārveidotā ūdenstecē, lai varētu attīrīt pēc iespējas visu grāvja sateces baseinā radušos ūdeni. Sedimentācijas baseinus ieteicams izvietot reljefa pazeminājumos, kur ir pārmitri apstākļi, tādējādi neskarot produktīvās lauksaimniecības zemes (5.3.2. tabula).

5.3.2. tabula. Sedimentācijas baseinu jeb dīķu izmantošanas pozitīvie un negatīvie aspekti (pēc Lagzdīņš u.c., 2018).

Pozitīvais	Negatīvais
➤ salīdzinoši vienkāršs un lēts pasākums ➤ aiztur organiskās un neorganiskās daļiņas un ar tām saistīto piesārņojumu ➤ nodrošina ūdens uzkrāšanas iespējas un var tikt izmantots apūdeņošanas vajadzībām sausuma apstākļos ➤ piesaista ūdensputnus	➤ nav piemērots izšķīdušo vielu slodzes samazināšanai ➤ sedimentācijas dziļa lielumam jābūt proporcionālam augštecē esošā sateces baseina laukumam ➤ palielinātas ūdens noteces apstākļos iespējama akumulētā materiāla un tur saistītā piesārņojuma izskalošanās ➤ var piesaistīt bebrus ➤ nepieciešama regulāra sedimentācijas dziļa tīrīšana (biežums atkarīgs no sedimentu uzkrāšanās ātruma) - uzturēšanas izmaksas

Gar grāvjiem, strautiem un upēm var izveidot aizsargjoslas/buferjoslas, kuru galvenā funkcija ir aizturēt virszemes noteces nestos augsnes erozijas produktus un samazināt piesārņojumu ar fosfora un slāpekļa savienojumiem. Atkarībā no to uzdevuma un izveidojuma īpatnībām aizsargjoslas / buferjoslas nosacīti var iedalīt (Jansons, 2013):

➤ Lauka veģētācijas aizsargjoslās - visbiežāk lieto aramzemēs gar grāvjiem; platums parasti 1-3 m, bet var būt paplašinātas līdz 20m; nav koku un krūmu, parasti klātas ar ilggadīgo zālāju, kuru nepieciešams vismaz reizi gadā applaut; darbojās kā „rupjais filtrs” erozijas produktu aizturēšanai un reizē norobežo lauka malu no ūdens avota pamatkrasta.

➤ Ūdeņu piekrastes aizsargjoslas - piekrastē parasti ir koki un krūmi, bet tālāk paplašinātā joslā papildus iespējama zālāji vai pamatkultūra ar apsaimniekošanas ierobežojumiem; joslās nedrīkst lietot mēslojumu un augu aizsardzības līdzekļus; pasargā ūdeņus no lauksaimnieciskās darbības tiešas ietekmes (minerālmēslojuma, organiskā mēslojuma, pesticīdu lietošanas, mājlopu ganīšanas), aiztur augsnes daļiņas un piesārņojumu; var aizturēt augu barības elementus arī no seklajiem gruntsūdeņiem.

➤ Laukus norobežojošās aizsargjoslās - klāta ar ilggadīgiem zālājiem, krūmiem vai kokiem; nodala laukus ar dažādu augu sēkšu vai atšķirīgām apstrādes tehnoloģijām; nodala teritorijas ar dažādām lauksaimniecības sistēmām (piemēram, bioloģiskās saimniecības no intensīvi saimniekojošām saimniecībām); var izveidot kā robežu gar lauka malu, lai nepieļautu lauku apvienošanu.

➤ Aizsargjoslās ūdens erozijas ierobežošanai - lieto uztvertās ūdens noteces palēninātai un drošai novadīšanai notekā vai drenāžas filtrakā; lai atdalītu kultūraugus ar dažādu veģētācijas noturību pret eroziju, tos audzējot pa joslām. Latvijas apstākļos šāda tipa joslām pagaidām varētu nebūt pielietojums.

Latvijā nav veikti pētījumi par dažādu aizsargjoslu veidu efektivitāti. Profesora V. Jansona (2013) vadībā ir veikts plašs ārvalstu pieredzes apkopojums par aizsargjoslu efektivitāti un normatīvo aktu prasībām, kā arī sniegti ieteikumi aizsargjoslu ieviešanai Latvijas apstākļos. Atbilstoši laba lauksaimniecības un vides stāvokļa standartam lauksaimnieks nelieto mēslošanas un augu aizsardzības līdzekļus aizsargjoslās (buferjoslās), kas atrodas 10 metru platā joslā gar ūdensobjektu, kurš noteikts saskaņā ar normatīvajiem aktiem par ūdens saimniecisko iecirkņu klasifikatoru un ūdenstilpju klasifikatoru un 3 metrus platā joslā gar ūdensnotekām (novadgrāvjiem), kas iekļauti meliorācijas kadastrā (MK not. nr. 198., pieņ. 18.04.2023.). Lauksaimnieki var pieteikties tiešajiem maksājumiem arī tad, ja uztur 2-20 m platā ražošanā neizmantotas laukmales, tostarp aizsargjoslas (buferjoslas) ar zālāju vai dabīgi iesaļņušos augu segumu, kur augu segums ir atšķirīgs no blakus esošās lauksaimniecības zemes augu seguma (MK not. nr. 198., pieņ. 18.04.2023.).

Upju baseinu apsaimniekošanas plānos (LVGMC, 2023) minētie papildus pasākumi - ilggadīgo stādījumu ierīkošana aramzemju teritorijās, konservējošā jeb minimālā augsnes apstrāde, slāpekļa mēslojuma lietošanas samazinājums par 20% no normas, kontrolētās drenāžas izbūve, kā arī pāreja uz bioloģisko lauksaimniecību - arī vērsti uz erozijas un augu barības vielu noplūžu mazināšanu.

Projektā LIFE GoodWater IP ietvaros 2022. gadā tika uzsākti centieni piemeklēt efektīvus risinājumus Saukas ezera ekoloģiskās kvalitātes uzlabošanai. Fosfora filtri, kas sākotnēji bija plānotais risinājums, Latvijas apstākļos tika testēti Interreg projekta "Ūdensobjekti bez robežām" (WBWB) ietvaros un demonstrēja ierobežotu efektivitāti, tādēļ pieņemts lēmums šādu risinājumu Saukas ezeram nepiemērot.

Barības vielu noteces monitoringa datu analīze ezera sateces baseinā kā piemērotāko vietu tehniskā risinājuma īstenošanai identificēja vienu no Klauces upē ieplūstošajiem meliorācijas grāvjiem (GWSKG4), kura ūdeņos konstatētas paaugstinātas barības vielu koncentrācijas noteces ūdeņos, un kurš saistīts ar plašām pazemes drenāžas sistēmām sateces baseinā, turklāt grāvja leņastecē ir infrastruktūras izbūvei piemērots reljefs. Projektā LIFE GoodWater IP iegūtie rezultāti liecina, ka 2021.-2022. gadā vidējā Pkop koncentrācija bijusi 0,055 mg/L, bet maksimālā - 0,11 mg/L. Savukārt vidējā N_{kop} koncentrācija bijusi 6,63 mg/l, bet maksimālā - 16,0 mg/L. Maksimālā nitrātu koncentrācija 08.11.2021. sasniegusi 12,4 mg/L. Šāda vērtība pārsniedz Nitrātu direktīvā noteikto limitu - 11,3 mg NNO₃/L. Grāvja sateces laukums ir 287 ha. Dati par ūdens un piesārņojošo vielu izneses apjomiem sniegti 5.3.3. tabulā. Šādas slāpekļa un fosfora izneses ir salīdzināmas ar lauksaimniecības notecū monitoringā iegūtajiem rezultātiem (Siksnane & Lagzdins, 2020; 2021).

5.3.3. tabula. Ūdens un piesārņojošo vielu izneses apjomi meliorācijas grāvī GWSKG4.

Periods	06.-12.2021.*	01.-12.2022.
W, m ³ /g	944646	936662
W, m ³ /ha/g	3288	3260

Periods	06.-12.2021.*	01.-12.2022.
P _{kop} , kg/g	73	40
P _{kop} , kg/ha/g	0,25	0,14
PPO ₄ ³⁻ , kg/g	37	17
PPO ₄ ³⁻ , kg/ha/g	0,13	0,06
N _{kop} , kg/g	13290	8576
N _{kop} , kg/ha/g	46	30
NNO ₃ ⁻ , kg/g	10023	6209
NNO ₃ ⁻ , kg/ha/g	35	22
NNO ₂ ⁻ , kg/g	36	19
NNO ₂ ⁻ , kg/ha/g	0,13	0,07
NNH ₄ ⁺ , kg/g	100	55
NNH ₄ ⁺ , kg/ha/g	0,35	0,19
SS, kg/g	20304	3939
SS, kg/ha/g	71	14
DOC, kg/g	8869	7344
DOC, kg/ha/g	31	26

*2021.gadā mērījumi uzsākti tikai jūnijā, līdz ar to izneses aprēķinātas 7 mēnešu periodam.

Ar projekta partneriem (LU, LLU, ZMNĪ), tika veiktas konsultācijas lai izvēlētos optimālākos tehniskos risinājumus barības vielu samazināšanai, kuriem tika izvēlēta mitrāja vai sedimentācijas dīķa izbūve. 2023. gadā tika uzsākta padziļināta perspektīvās ieviešanas vietas apsekošana, piesaistot LLU un ZMNĪ ekspertus, lai noteiktu optimālāko izvietojumu plānotajai infrastruktūrai. Pēc vispārīgas vietas noteikšanas 2023. gada augustā tika uzsāktas sarunas ar zemes īpašnieku, kā rezultātā panākta vispārēja vienošanās par plānotajām aktivitātēm.

5.4. Nepieciešamie dati un monitorings

Ekosistēmas pieejā balstītai ilgtspējīgai ezeru apsaimniekošanai ir nepieciešama informācija par ekosistēmas faktisko stāvokli un tā izmaiņām. Šādai informācijai būtu jābūt t.s. “datos balstītai” un jāatspoguļo dažādi ekoloģiskie procesi. Lai to nodrošinātu, ir

nepieciešamas monitoringa programmas, kuru ietvaros tiek regulāri vākta informācija gan par dažādiem barības tīkla komponentiem, gan par ekosistēmas fizikālajiem un ķīmiskajiem procesiem. Kompleksi ekosistēmas pētījumi, par ko liecina arī Saukas ezera pētījuma piemērs, ir dārgi un laikietilpīgi, taču sniedz vērtīgu informāciju par ekosistēmas faktisko stāvokli. Atšķirībā no jūru pētījumiem, Eiropas Savienībā nav vienotas monitoringa stratēģijas ezeru pētījumiem, līdz ar to šādi pētījumi tiek veikti, balstoties uz nacionāli izstrādātām monitoringa programmām. Latvijā šobrīd nav izstrādāta vienota ezeru monitoringa stratēģija, kas vienlaikus ļautu raksturot visu ezera ekosistēmu, ietverot informāciju par galvenajām organismu grupām un ekosistēmas funkcionalitāti raksturojošajiem vides fizikālajiem un ķīmiskajiem parametriem. Ekosistēmas un vides informācija ir jebkuras tālākās ekosistēmas analīzes pamatā, neatkarīgi no tās tehniskā izpildījuma. Ņemot vērā citu valstu pieredzi, Latvijā būtu nepieciešams izstrādāt vienotu ezeru ekoloģiskā monitoringa programmu, kas darbotos cikliski un ļautu novērtēt ekoloģiskos procesus gan lokālā, gan reģionālā līmenī. Vienlaikus, veicot ezeru apsaimniekošanas pasākumus, būtu nepieciešams nodrošināt nepārtrauktu viegli nosakāmas informācijas ievākšanu, kas operatīvi liecina par ezera ekoloģisko stāvokli un tā izmaiņām, piem., ūdens caurredzamības mērījumus ar Seki disku, ūdenī izšķīdušā skābekļa daudzuma noteikšanu, aļģu masveida savairošanās (“ziedēšanas”) novērojumus, u.c. iesaistot ieinteresētās sabiedrības grupas

5.5. Praktiski piemēri ezera ekoloģiskā stāvokļa novērtēšanai un uzlabošanai

Pēdējo desmit gadu laikā arvien lielāku popularitāti gūst citizen science jeb sabiedriskās zinātnes pieejā balstīti pētījumi, iesaistoties neprofesionāliem pētniekiem jeb brīvprātīgajiem zinātniskajā darbā (Daugavietis, 2020). Ikvienam, arī apsaimniekotājiem, ir iespēja piedalīties šādos projektos, vai arī patstāvīgi ievākt vērtīgus datus, lai raksturotu ezera veselību un ekoloģisko stāvokli.

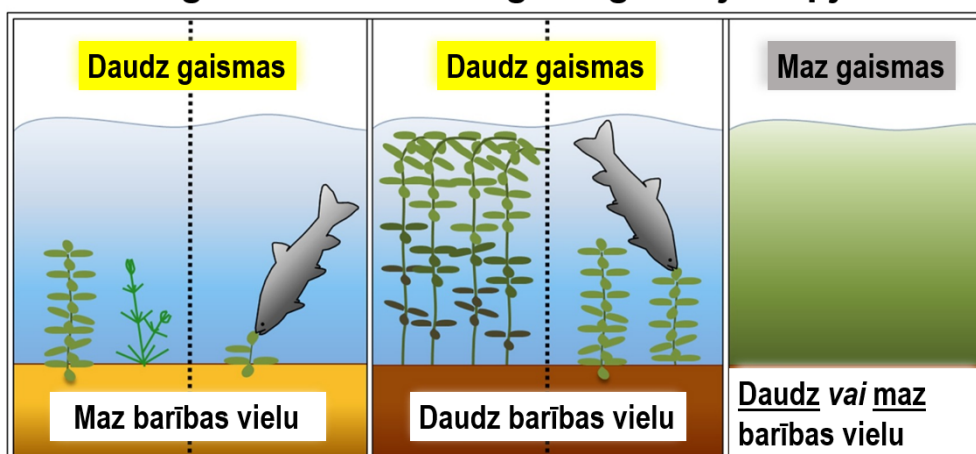
1) Ūdens caurredzamības noteikšanu ar Seki disku

Ūdens caurredzamību mēra ar Seki disku, laivas ēnas pusē, to vertikāli ielaižot ūdenī, līdz vairs tas nav redzams (baltie un melnie sektori “saplūst”), izvelkot disku ārā izmēra ielaisto auklas garumu (m). Ūdens caurredzamības (m) mērījums ar Seki disku atspoguļo dziļumu, kurā iespīd saules gaisma un var notikt fotosintēzes process, šo ūdens slāni sauc par eifotisko zonu.

2) Ūdensaugu sastopamības maksimālā kolonizācijas dziļuma noteikšanu

Maksimālais iegrimušo ūdensaugu audžu dziļums atspoguļo ezera vides stāvokli, jo dzidrūdēns ezeros dziļāk aug ūdensaugi - jo labāks ezera ekoloģiskais stāvoklis (5.5.1. attēls).

legrimušo ūdensaugu veģetācijas apjoms



5.5.1. attēls. Ūdensaugu augšanas atkarība no pieejamā gaismas un barības vielu daudzuma (pārveidots no Verhofstad et al., 2017).

3) Ezera ūdens līmeņa mērījumi

Ūdens līmenis ir viens no galvenajiem parametriem, kas raksturo upju, ezeru un citu ūdenstilpju hidroloģisko režīmu.

Viena no iespējamām ezera ūdens līmeņa mērījumu pieejām ir automātisku ūdens līmeņa mērītāju jeb *daiveru* ievietošana noteiktā līmenī vai dziļumā (vidēji 0,8-1,1 m attālumā) no ierīkotās caurules augstākā punkta, kur ar spiediena sensora palīdzību liela izmēra atmiņā tiks saglabāti dati par gada laikā notiekošajām ūdens līmeņa svārstībām, ieskaitot arī ik stundas datus.

4) Invazīvo sugu monitorings/kontrole

Invazīvās sugas var ietekmēt ekosistēmu struktūru un funkcionēšanu, kā arī ir viens no galvenajiem bioloģiskās daudzveidības samazināšanās iemesliem visā pasaulē. Informācija un katrs ziņojums par svešzemju sugām ir vērtīgs, jo ļauj zinātniekiem un dabas ekspertiem agrīni atklāt, apzināt to izplatību un plānot ierobežošanas pasākumus (Balalaikins & Bojāre, 2023). Ziņas par invazīvajām sugām ikvienam iespējams iesniegt *Invazīvo sugu pārvaldniekā*: <https://latvianature.daba.gov.lv/invazivo-sugu-parvaldnieks/>

Ezeros biežāk sastopamo svešzemju sugu piemēri: Kanādas elodeja *Elodea canadensis*, mainīgā sēdgliemene *Dreissena polymorpha*, dzeloņvaigu vēzis *Faxonius limosus*, Amerikas signālvēzis *Pacifastacus leniusculus*. Liela vērtība jāpievērš arī svešzemju sugu izplatībai arī ezera piekrastē un pieteku krastos. 5.5.2. attēlā aplūkojamas plašās invazīvo sugu - Kanādas zeltgalvītes un Sosnovska latvāņa audzes Saukas ezera ziemeļu piekrastē.



5.5.2. attēls. Kanādas zeltgalvītes *Solidago canadensis* un Sosnovska latvāņa *Heracleum sosnovskyi* audzes Saukas ezera piekrastē 2021. gada 6. augustā (foto: A. Skuja).

5) Zivju resursu monitorings

Veiksmīga zivju monitoringa rezultātu sasniegšanai nepieciešams iegūt kvalitatīvus datus par zivju resursu izmantošanu: zvejas lomi (ja notiek rūpnieciskā zveja), makšķernieku lomi: gan paturētās, gan atlaistās zivis.

Šobrīd makšķernieku lomu uzskaites kārtība tiek regulēta tikai licencētās makšķerēšanas vietās: visiem licenču īpašniekiem, neatkarīgi no licences veida, obligāti jāreģistrē savus lomus, norādot makšķerēšanas datumu, zivju sugu, loma lielumu (zivju skaitu) un svaru, bet ne vēlāk kā piecu dienu laikā pēc licences derīguma termiņa beigām. Nav iespējams pārbaudīt iesniegto datu patiesumu, tie atkarīgi no katra makšķernieka godaprāta un atbildīgas attieksmes.

Zivju populācijas izmaiņas ezeros notiek lēnām un tādēļ nav nepieciešams ikgadējā zinātniskā zveja, lai novērtētu zivju resursu stāvokli vai ezera ekoloģisko stāvokli pēc zivīm. Tomēr būtu nepieciešams nodrošināt ikgadēju informāciju par zvejā un makšķerēšanā noķerto zivju daudzumu un izmēru. Šāda informācija var netieši norādīt uz zivju sabiedrības izmaiņām ezerā. Piemēram, liela izmēra un vecuma īpatņu samazināšanās var liecināt par palielinātu mirstību zvejas un makšķerēšanas spiediena dēļ, izmaiņas nozvejā uz piepūles vienību var liecināt par populāciju pieaugumu vai samazināšanos u.c. Papildus lomu uzskaitē ir lietderīgi veikt zinātnisko zveju un izstrādāt ezera zivsaimnieciskās ekspluatācijas noteikumus vienu reizi 5-10 gados, atkarībā no resursu izmantošanas intensitātes.

6) Virsūdens augu pļaušana

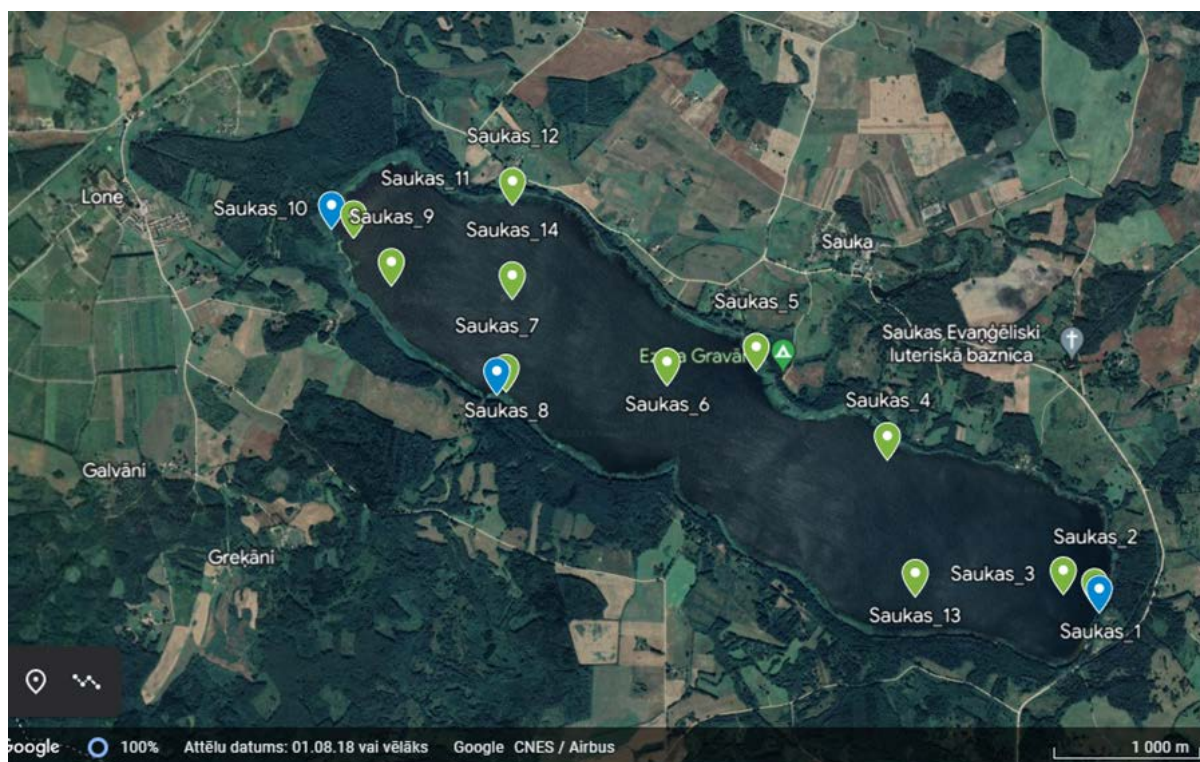
Saukas ezerā biežāk sastopamā virsūdens augu suga ir parastā niedre *Phragmites australis*, kas sastopama skrajās līdz vidēji blīvās audzēs gar visu ezera piekrasti. Ezera DA galā izveidojušās ezera meldra *Scirpus lacustris*, savukārt ZR galā pie Dūņupes iztekas - šaurlapu vilkvālītes *Typha angustifolia* aug pamīšus ar niedrēm. Blīvākās virsūdens augu audzes ir uz A no Klauces ietekas, kā arī pie Dūņupes iztekas, kas ir arī ezera daļa ar visplašāko seklūdenu joslu, Turklāt aizaugšanu ar virsūdens augu audzēm veicinājusi Dūņupes padziļināšana.

Plānojot Saukas ezera piekrastes apsaimniekošanu, pieļaujama niedru pļaušana un izņemšana nelielās platībās (nepārsniedzot 1 ha), gadījumos, kad nepieciešama peldvietu vai laivu ielaišanas vietu uzturēšana. Ņemot vērā, ka jau līdz šim katru vasaru Saukas ezerā katru vasaru savairojas zilaļģes, virsūdens augu izņemšana plašās teritorijās var izraisīt pastiprinātu ūdens ziedēšanu vasarā, jo ezera ūdenī esošās barības vielas var aktīvāk sākt patērēt ziļāļģes. Vispiemērotākais laiks pirmajai niedru pļaušanai ir periods, kad barības vielu akumulācija to stublājos ir visaugstākā – jūlijā sākumā, kad darbības veikšanai nav normatīvu ierobežojumu. Nopļautie virsūdens augi obligāti jāizvāc no ezera, novietojot tos virs palu līmeņa vai arī pārvietojot uz kompostēšanas vietu.

Piekrastes posmos, kur izveidojušās blīvas virsūdens augu audzes, pieļaujama virsūdens augu pļaušana ziemā virs ledus, kas samazinātu audžu blīvumu un atmirušā organiskā materiāla daudzumu ezerā. Ziemā noļautās niedres (arī citus virsūdens augus) var sadedzināt ezera krastā vai arī uz ledus, ja nav iespējama augu izvākšana krastā (Björk, 2010).

6. Saukas ezera pētījums

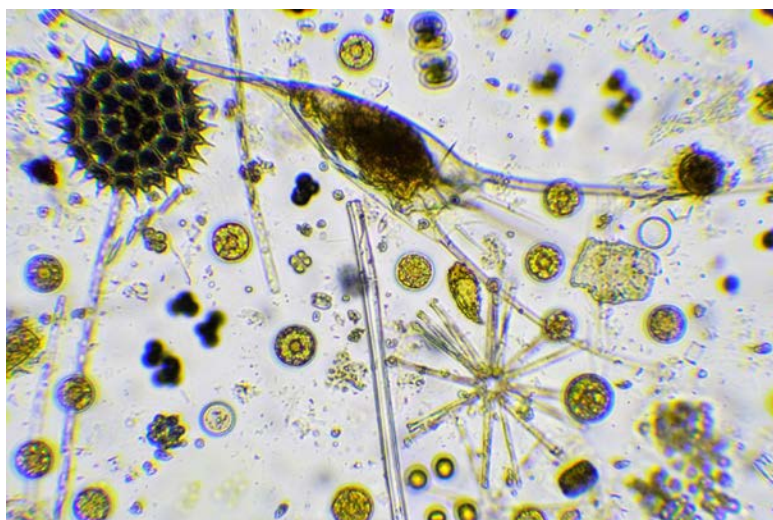
Projekta ietvaros tika izpētītas mūsdienu un vēsturisko antropogēno slodžu ietekmes, kas neļāva ezeram sasniegt labu ekoloģisko stāvokli. LVĢMC veiktā monitoringa (2006-2014) dati liecināja, ka Saukas ezera ekoloģiskais stāvoklis bija vērtējams kā vidējs. Visbiežāk uz vidēju kvalitāti norāda nepietiekama ūdens caurredzamība, nedaudz paaugstināta Nkop koncentrācija, kā arī bentisko bezmugurkaulnieku sabiedrību un makrofītu indikatori. Tika veikta Saukas ezera ekosistēmas modeļa izstrādei nepieciešamā materiāla ievākšana kompleksa hidrobioloģiskā, hidroķīmiskā un hidromorfoloģiskā monitoringa ietvaros (6.1. attēls). Pētījumā tika analizēti 2020.–2022. gadā veikto fitoplanktona, zooplanktona, makrofītu, bentisko bezmugurkaulnieku, zivju faunas, fizikālo un ķīmisko parametru, hidromorfoloģijas, batimetrijas, zivju barošanās pētījumu rezultāti.



6.1. attēls. Hidrobioloģisko paraugu ievākšanas vietas Saukas ezerā 2020. - 2022. gadā (kartes pamatne: Google Maps).

6.1. Fitoplanktons

2020. gada pētījumā konstatēts daudzveidīgs fitoplanktona sastāvs (> 84 fitoplanktona sugas) (6.1.1. attēls); dominējošie aļģu nodalījumi bija: kramaļģes, kam sekoja zilaļģu un zaļaļģu nodalījumi. Ezerā netika konstatētas atsevišķas izteikti dominējošas sugas, biomasas bija zemas. Pateicoties kramaļģēm, zilaļģēm un dinofītaļģēm - jūlijā konstatētas augstākās fitoplanktona biomasas. Arī potenciāli toksisko zilaļģu *Microcystis* un *Anabaena* biomasa bija maza. 2021. gada fitoplanktona paraugos Saukas ezerā kopumā tika konstatētas 63 fitoplanktona sugas no astoņiem nodalījumiem un biomasas bija zemas, kramaļģes un zilaļģes veidoja vismaz 89 % no kopējās biomasas. 2022. gada pētījuma rezultāti atspoguļoja līdzīgu ezera trofijas stāvokli un ūdens vides ekoloģisko kvalitāti. Gala ekoloģiskās kvalitātes indekss (EQR) visaugstākais bija ceturtajā paraugošanas stacijā (0,85) un viszemākais - vienpadsmitajā paraugošanas stacijā (0,70). Vidējais gala ekoloģiskās kvalitāte (EQR) bija 0,78, kas nozīmē, ka Saukas ezera ekoloģiskā kvalitāte ir laba.



6.1.1. attēls. Saukas ezera fitoplanktona aļģu parauga piemērs mikroskopa palielinājumā (foto: I. Druvietis).

6.2. Zooplanktons

Saukas ezerā tika konstatēti > 70 zooplanktona taksoni, cenožu struktūra mainījās gan sezonāli, gan telpiski (6.2.1., 6.2.2. attēls). Seklūdenī vidēji kopējais organismu skaits bija nedaudz lielāks kā atklātajā ezera daļā dziļākajās vietās, ko veidoja virpotāji Rotifera un airkājvēži Copepoda, bet biomasas dziļākajās vietās un seklūdenī starp gadiem bija mainīga, ko veidoja kladoceras Cladocera un Copepoda īpatņi. Skaita un biomasas maksimumi bija novērojami pavasarī (maijā, jūnijā); vasarā (jūlijā) organismu skaits un biomasas samazinājās, augustā atkal pieauga, bet nerasniedzot vasaras sākuma lielumus, veidojot izteiktu pavasara un mazāku vasaras biomasas uzplaukuma pīķi (izņēmums bija Rotifera). Biomasas pamatmasu galvenokārt veidoja vēžveidīgie filtratori; lielāko daļu biomasas veidoja Copepoda. Saukas ezera zooplanktona taksonu nomaiņa pēc biomasas atbilst mērenās joslas ezeriem. Kā liecina literatūras dati, planktona biomasas ar divu pīķu uzplaukumu varētu liecināt par izteiktu *top down* kontroli seklos mezotrofos ezeros. Saukas ezera zooplanktonu pārstāvēja visu līmeņu ekoloģiskās grupas un barošanās ķēžu daudzveidība un sarežģītība bija raksturīga mezotrofiem un vāji eitrofiem ezeriem. Par Saukas ezera eitrofīcēšanos var liecināt tādas strukturālas izmaiņas, kā *Daphnia cucullata* dominēšana pār *D. cristata* un *Bosmina crassicornis* dominēšana pār *Bosmina longispina*.



6.2.1. attēls. *Bosmina* ģints kladoceras Saukas ezera zooplanktona paraugā mikroskopa palielinājumā (foto: J.Paidere).

6.2.2. Zooplanktona paraugu ievākšana ar Apšteina tīkliņu (foto: I. Kokorīte).

6.3. Makrofīti

Kopumā 2020. un 2021. gadā konstatēts 41 makrofītu taksons (vaskulārie augi, mieturaļģes, sūnas un pavedienveida zaļāļģes). Ūdensaugu audzes izveidojušās aptuveni 21% no ezera platības. Makrofītu sugu sastāvs un to sastopamība Saukas ezerā liecina par labu ekoloģisko kvalitāti. Dziļums, līdz kuram sastopami iegrimušie ūdensaugi, atsevišķās transektēs sasniedz 3,2 m, kas atbilst augstai ekoloģiskai kvalitātei. Savukārt mieturaļģu un brīvi peldošo ūdensaugu sugu sastopamība liecina par labu/vidēju ekoloģisko kvalitāti. Uz paaugstinātu barības vielu daudzumu ezerā norāda gandrīz visā ezera piekrastē nereti sastopamā iegrimusī raglape *Ceratophyllum demersum* (6.3.1. attēls). Konstatētas trīs Latvijā retas un aizsargājamas sugas – lielā najāda *Najas major* (6.3.2. attēls), purva diedzene *Zannichellia palustris* un iesārtā glīvene *Potamogeton rutilus*. Turpmākajos pētījumos jāmonitorē iegrimušo un brīvi peldošo makrofītu sugu izplatība ezerā apsekotajās transektēs, kā arī plašāk ezera ZR daļā, kur konstatētas retās un aizsargājamās augu sugas.



6.3.1. attēls. Zemūdens audzes veidojošā iegrimusī raglape *Ceratophyllum demersum* Saukas ezerā (foto: L. Grīnberga).



6.3.2. attēls. Lielā najāda *Najas major* Saukas ezerā (foto: L. Grīnberga).

6.4. Bentiskie bezmugurkaulnieki

Kopumā konstatēti > 50 bentisko bezmugurkaulnieku taksonu (6.4.1., 6.4.2. attēls). Lielākā bentisko bezmugurkaulnieku sugu daudzveidība raksturīga piekrastē - litorāles zonā, kur heterogēnāki un daudzveidīgāki grunts substrāti. Pēc īpatņu skaita dominējošā grupa bija trīsuļodu Chironomidae kāpuri, savukārt lielāko biomasas daļu veidoja mainīgā sēdgliemene *Dreissena polymorpha*. Visreprezentatīvāk ezera ekoloģisko stāvokli raksturoja 1. punktā (ezera DA galā) (6.1. attēls) ievāktais paraugs un ezera ekoloģiskā kvalitāte pēc 2020. gada datiem tika novērtēta kā vidēja.



6.4.1. attēls. Kvantitatīvs (ar Ekmaņa gruntssmēlēju ievākts) bentisko bezmugurkaulnieku paraugs Saukas. ezerā 2020. gada maijā (foto: A. Skuja).



6.4.2. attēls. Kvalitatīvs bentisko bezmugurkaulnieku paraugs (maksteņu un spāru kāpuri, gliemeži) Saukas ezerā 2020. gada maijā (foto: A. Skuja).

6.5. Fizikāli - ķīmiskie parametri

Saukas ezera ekoloģiskā kvalitāte pēc fizikāli ķīmiskajiem parametriem 2021. - 2022. gadā vērtējama kā vidēja paaugstinātas $N_{kop.}$ koncentrācijas dēļ. Saukas ezerā, pateicoties tā lielajai platībai, novietojumam un morfometriskajiem rādītājiem, vasaras sezonās nav izteikta ūdeņu termālā stratifikācija, termoklīns un skābekļa deficīts vasarā konstatējams dziļumā ap 5 m. Vielu pieplūde ezeram tika novērtēta piecās Saukas ezera pietekās. Ūdens noteces modulis Saukas ezera pietekās bija no 6 līdz 18 L/sek/km². Augstākā vielu iznese konstatēta no grāvja 1 (kods GWSG1) sateces baseina 2021. gadā. $N_{kop.}$ iznese bija 45,5 kg/ha, $P_{kop.}$ - 0,65, DOC iznese - 87 kg/ha un suspendēto vielu - 50 kg/ha.

6.6. Hidromorfoloģija

Saukas ezera hidroloģisko režīmu vēsturiski ietekmēja iztekošās Dūņupes gultnes padziļināšana 20. gs. 30. gados, kā arī 1960. - 1961. gados. Ūdens līmeņa pazemināšanās rezultātā ezera platība samazinājās par aptuveni 6-7% no sākotnējās platības. To arī apliecina hidrometriskā posteņa "Dūņupe – Lone" ūdens līmeņa novērojumu datu analīze par laika periodu no 1931. līdz 1969. gadam. Lauksaimniecības vajadzībām 28,9% no Saukas ezera sateces baseina platības (neņemot vērā paša ezera platību) tika meliorēti (nosusināti). Aizsprosti, kas ierīkoti uz ietekošās Kļauces upes, nerada būtisku ietekmi uz ezera ūdens režīmu. Saukas ezera krasta pārveidojumi galvenokārt saistīti ar pludmaļu un laipu ierīkošanu, laivu piestātnēm, taču to skaits nav liels, ņemot vērā gandrīz 15 km garu krasta līniju. Apdzīvotas vietas, autoceļi un lauksaimniecībā izmantojamās zemes gar krastu sastāda 15-20% no kopējā garuma, taču būtisku ietekmi rada Saukas ezera izmantošana rekreācijas vajadzībām. Kopumā Saukas ezers raksturojas ar nenoīmīgām morfoloģiskām slodzēm, tomēr ņemot vērā vēsturiskās ezera ūdens līmeņa izmaiņas un platības samazināšanos, hidromorfoloģiskais stāvoklis atbilst vidējai kvalitātes klasei.

6.7. Zivju fauna

Zivju uzskaiti veica Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskais institūta BIOR pētnieki (6.7.1., 6.7.2. attēls) sadarbībā ar Čehijas Zinātņu akadēmijas Hidrobioloģijas institūta Bioloģijas centra pētniekiem (6.7.3., 6.7.4. attēls). Zivju uzskaitē Saukas ezerā tika veikta, izmantojot hidroakustiku, traļus, velkamo vadu un elektrozveju. Zinātniskā zveja tika veikta gan diennakts gaišajā, gan tumšajā laikā.

Piekrastes biotopu neviendabīgā rakstura un vispārējā sekluma dēļ sugu skaits šeit bija aptuveni divas reizes lielāks nekā pelaģiskajā biotopā. Strukturētajā, nēdrēm aizaugušajā piekrastē elektrozvejas lomā dominējošās sugas bija raudas un vīķes, savukārt nestrukturētajā, atklātajā piekrastē, kurā ir pludmales, gan dienā, gan naktī dominēja raudas, asari un vīķes.

Atklātajā ūdens biotopā, kas tika apsekots ar trali, dienā dominēja asari un raudas, bet naktī dominēja raudas un plauži.

Dienas uzskaites laikā iegūtais atklātās daļas zivju masas aprēķins aptuveni 60 kg/ha ir reālistisks un labi atbilst nakts laikā veikto velkamo vadu biomasas aprēķiniem aptuveni 40 kg/ha. Daļa pelaģisko zivju kopas nakts laikā acīmredzot migrē uz piekrasti vai ļoti tuvu gruntij, kas ir iemesls ļoti zemajām traļa nozvejām naktī.

Kopējais zivju daudzums un biomasa visam ezeram var tikt lēsts attiecīgi aptuveni 5000 ind./ha un 50 kg/ha, kur pārsvarā dominē raudas, asari un vīķes, arī plauži un līdakas veido ievērojamu daļu no biomasas, īpaši piekrastes biotopā.

Visu metožu vienlaicīga izmantošana zivju krājuma novērtēšanai Saukas ezerā bija pamatota. Tā kā zivis galvenokārt izmanto dziļākus atklātos biotopus, vertikālā hidroakustika sniedza precīzu zivju lieluma novērtējumu, kas labi atbilst garuma sadalījumam traļu nozvejā (galvenokārt zivis, kas mazākas par 14 cm). Tralēšanas pievienotā vērtība galvenokārt bija zivju sugas sastāva noteikšanai ar hidroakustiku. Velkamā vadu metode ļāva novērtēt zivju sugu sastāvu, daudzumu un biomasu no apauguma brīvajā nestrukturētajā piekrastē, savukārt piekrastes elektrozeveja sniedza informāciju par sugu sastāvu strukturētajos, ar makrofītiem apaugušajos piekrastes biotopos, kur zveja ar velkamo vadu nebija iespējama.

Zivju paraugu ņemšana tieši pie ezera gultnes nebija iespējama, bet tieši šos dziļos bentiskos biotopus zivis izmantoja galvenokārt. Lai gan, spriežot pēc hidroakustikas ierakstiem, grunts virsma šķiet samērā gluda, tika sastapti daži šķēršļi, tāpēc tralēšana tieši pa ezera gultni nebija iespējama.



6.7.1. attēls. BIOR pētnieku veiktā zivju uzskaitē Saukas ezerā 2020. gada maijā (foto: A. Skuja).



6.7.2. attēls. Zvejas loms 2020. gada maijā (foto: A. Skuja).



6.7.3. attēls. BIOR un Čehijas Zinātņu akadēmijas pētnieku veiktā zivju uzskaitē ar velkamo vadu Saukas ezerā 2022. gada oktobrī (foto: J. Gruduls).



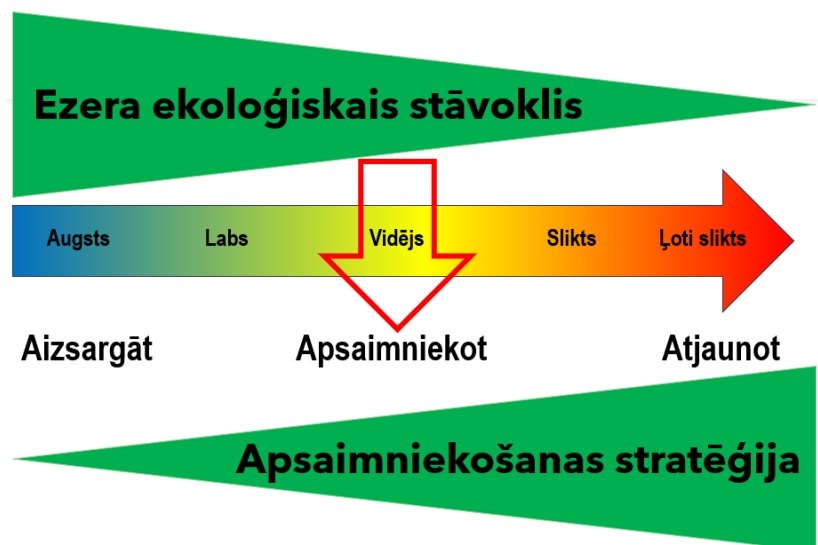
6.7.4. attēls. Velkamā vada zvejas loms Saukas ezera DA piekrastē 2022. gada oktobrī (foto: J. Gruduls).

6.8. Barības tīkla modelis

Saukas ezeram izveidots ekosistēmas barības tīkla modelis, izmantojot *Ecopath with Ecosim* modelēšanas pieeju. Modelis sastāv no 23 funkcionālajām grupām, kas raksturoja dažādus barības tīkla komponentus – detrītu, makrofītus, fitoplanktonu, zooplanktonu, zoobentosu un zivis. Ar modeļa palīdzību raksturota ezera ekosistēmas struktūra, funkcionālo grupu produkcija, ekotrofiskā efektivitāte un savstarpējā ietekme starp dažādiem barības tīkla komponentiem. Ezerā dominē pelagiskās un bentiskās barības ķēdes – 83 % no organisko vielu produkcijas veido fitoplanktons un 45 % no tās patērē bentoss. Fitoplanktons labi iekļaujas augstākajos barības tīkla līmeņos. Salīdzinoši nelielā atmirusī fitoplanktona daļa pāriet uz detrītu, tādā veidā veicinot organisko vielu akumulāciju sedimentos. Gliemeņu augstā biomasa un zemā ekotrofiskā efektivitāte liecina par biomasas akumulēšanos – vairāk nekā 90 % no gliemeņu produkcijas barības ķēdē netiek izmantota un uzkrājas, rezultējoties kopējās biomasas pieaugumā. Vairumam funkcionālo grupu ir augstas ekotrofiskās efektivitātes vērtības ($> 0,8$), kas norāda uz efektīvu produkcijas masas pārnesei uz augstākiem barības tīkla līmeņiem. Saukas ezera ekosistēma nav vērtējama kā ļoti produktīva – esošā zemāko trofisko līmeņu organismu grupu produkcija (izņemot Bivalvia) nespēj uzturēt augstu zivju biomasu. Izveidotais ekoloģiskais modelis norāda uz labu ezera ekosistēmas stāvokli un ezers ir vērtējams kā mezotrofs vai vāji eitrofs. Izveidotais modelis ir izmantojams ekoloģisko procesu raksturošanai Saukas ezera ekosistēmā. Nākotnē, nodrošinot ilgtermiņa informāciju par hidroloģiskajām un barības tīkla izmaiņām, uz izveidotā modeļa bāzes ir iespējams izveidot dinamisku modeli, kas var prognozēt izmaiņas dažādu vides un apsaimniekošanas scenāriju ietekmē un var kalpot par komponentu ekosistēmas pieejā balstītas vides pārvaldības sistēmas izveidē.

6.9. Kopējais Saukas ezera ekoloģiskā stāvokļa novērtējums

Projektā LIFE Goodwater IP iegūtie dati (2020-2022) liecina, ka, vērtējot pēc ŪSD prasībām, Saukas ezera ekoloģiskā kvalitāte ir vidēja, uz to norādīja bentisko bezmugurkaulnieku sabiedrības, kā arī paaugstināts $N_{kop.}$ saturs ezera ūdenī. Savukārt fitoplanktona un makrofitu sugu sastāvs un to sastopamība liecina par labu ekoloģisko kvalitāti (6.9.1. attēls).



6.9.1. attēls. Saukas ezera ekoloģiskā stāvokļa novērtējums un nepieciešamā apsaimniekošanas stratēģija.

Ezera ekosistēma vidējā ekoloģiskajā kvalitātē ir nestabilā stāvoklī un tās turpmākā attīstība ir atkarīga no antropogēnās slodzes un ienākošā barības vielu apjoma (6.9.1. attēls) (Scheffer, 2001).

7. Rekomendācijas

LVĢMC veiktā monitoringa (2006-2014) dati liecina, ka Saukas ezera ekoloģiskais stāvoklis vērtējams kā vidējs. Visbiežāk uz vidēju kvalitāti norāda nepietiekama ūdens caurredzamība, neredzama paaugstināta N_{kop} koncentrācija, kā arī bentisko bezmugurkaulnieku sabiedrību un makrofītu indikatori. Projektā LIFE Goodwater IP iegūtie dati (2020-2022) liecina, ka, vērtējot pēc ŪSD prasībām, Saukas ezera ekoloģiskā kvalitāte ir vidēja. Uz to norāda bentisko bezmugurkaulnieku sabiedrības, kā arī paaugstināts N_{kop} saturs ezera ūdenī.

Pēc barības tīkla modeļa rezultātiem (BIOR, 2023), Saukas ezera kvalitāte vērtējama kā laba un tas funkcionē kā mezotrofs līdz vāji eitrofs ezers.

Domājot par ezera apsaimniekošanu, pirmkārt, ir jāsaprot ezera īpašnieku, apsaimniekotāju, ezera resursu lietotāju un apkārtnes iedzīvotāju vēlmes. Ir jānodedinē īstermiņa (piem., zivis, rekreācija, vai cits) un ilgtermiņa (piem., neskarta, dabiska ainava, uzlabota ūdens kvalitāte) prioritātes, taču kopumā jānodrošina ilgtspējīga ezera resursu izmantošana un apsaimniekošana.

Lai ezeru saglabātu un uzlabotu Saukas ezera ekoloģisko stāvokli, kā arī atveseļotu no vēsturiskā piesārņojuma, nepieciešams izstrādāt apsaimniekošanas stratēģiju un īstenot apsaimniekošanas pasākumus.

Saukas ezera ekoloģiskā stāvokļa saglabāšanai un uzlabošanai rekomendējams:

1. Lai nepieļautu ūdens kvalitātes pasliktināšanos un samazinātu biogēno elementu, īpaši, slāpekļa pieplūdi ezeram, Saukas ezera sateces baseinā nepieciešams ieviest upju baseinu apsaimniekošanas plānos (LVĢMC, 2023) minētos papildus pasākumus **lauksaimniecības radīto slodžu mazināšanai**.
2. Testēt **tehniskos risinājumus barības vielu samazināšanai ezera sateces baseinā**. Klaucē upē ieplūstošais meliorācijas grāvis (GWSKG4), kura ūdeņos konstatēts augsts barības vielu saturs, varētu kalpot kā demonstrāciju vieta mākslīgā mitrāja izveidei un efektivitātes testēšanai. Salīdzinot ar sedimentācijas dīķi, sagaidāms, ka mitrājs būtu efektīvāks, jo piesārņojumu aizturētu veģetācija, kā arī slāpekļa savienojumi tiktu izņemti no ūdens vides denitrifikācijas rezultātā.
3. Turpināt **ezera ekoloģiskā stāvokļa monitoringu** Saukas ezerā. Regulārs ezera ekoloģiskā stāvokļa monitorings ļauj laicīgi novērtēt kvalitātes izmaiņas un plānot nepieciešamos apsaimniekošanas pasākumus. LIFE GoodWater IP ietvaros plānots veikt bioloģisko, hidromorfoloģisko un fizikāli-ķīmisko parametru monitoringu 2026. gadā.

Vispārīgas rekomendācijas ezeru apsaimniekošanai un ekoloģiskā stāvokļa uzlabošanai:

1. Nodrošināt **kompleksu hidrobioloģisko izpēti**, paplašinot ES ŪSD kritēriju noteikto monitoringa pamatprogrammu (reizi sešos gados) ar visām galvenajām organismu grupām (tai skaitā zooplanktonu) un ekosistēmas funkcionalitāti raksturojošajiem vides fizikālajiem un ķīmiskajiem parametriem, lai novērtētu ekosistēmas stāvokli. Īpašu vērību pievērst **bioloģiskās daudzveidības un invazīvo sugu monitoringam** ezerā un piekrastē; uzdevuma veikšanā nodrošināt iespēju iesaistīt sabiedrību: makšķerniekus, apsaimniekotājus, vietējos iedzīvotājus, skolēnus, u.c. ieinteresētās grupas.
2. **Pilnveidot un harmonizēt virszemes ūdeņu monitoringa sistēmu** tā, lai iegūtos datus varētu izmantot ES Ūdeņu Struktūrdirektīvas, Biotopu direktīvas, Bioloģiskās daudzveidības stratēģijas 2030, kā arī ekosistēmu modelēšanas u.c. vajadzībām.
3. Veicot ezeru apsaimniekošanas pasākumus, būtu nepieciešams **nodrošināt nepārtrauktu viegli nosakāmas informācijas ievākšanu, kas operatīvi liecina par ezera ekoloģisko stāvokli un tā izmaiņām**, piem., ūdens caurredzamības mērījumus ar Seki disku, ūdenī izšķīdušā skābekļa daudzuma noteikšanu, aļģu masveida savairošanās (“ziedēšanas”) novērojumus, u.c., iesaistot ieinteresētās sabiedrības grupas.
4. **Izglītēt sabiedrību par ilgtspējīgu ezera resursu izmantošanu**, piem., neizmantojot mazgāšanas līdzekļus ezerā; samazināt zivju piebarošanai izmantojamās barības apjomu u.c.
5. Nepieciešams **izglītēt sabiedrību** par jebkādas ezera vai ezerā ieplūstošo upju tuvumā veiktās **saimnieciskās darbības ietekmi uz ūdens kvalitāti** un ezera ekoloģiskā stāvokļa izmaiņām.
6. Veikt **regulāru atpūtas vietu un piekrastes sakopšanu**: ierīkojot tualetes ar hermētiski izolētu tvertni, nodrošinot atkritumu savākšanu un regulāru izvešanu, ierīkojot labiekārtotas ugunskura vietas, lai novērstu papildus barības vielu ieplūdi ezerā; ja nepieciešams - veikt ezerā iekritušo koku un krūmu izvākšanu.
7. **Lai samazinātu antropogēno ietekmi**, kvalitatīvai un ilgtspējīgai zivju resursu izmantošanai nepieciešams **izglītēt makšķerniekus par lomu uzskaites nozīmīgumu**.
8. Ieteicams veikt **makšķernieku aptauju** par zivju piebarošanai izmantojamās barības apjomu, kas ļautu noskaidrot zivju piebarošanas rezultātā ūdenī nonākušo biogēnu apjomu. Izmantotās barības daudzuma atskaites varētu apvienot ar zivju lomu uzskaiti.
9. Jāveic **zivju resursu papildināšana, ielaižot tās zivju sugas, kuras tiek intensīvi izmantotas**: pēdējos gados tās ir līdakas un zandarti. Gadu gaitā ezeru ekosistēma ir nostabilizējusies un mainās ļoti lēnām, tāpēc nebūs iespējams ezerā mainīt zivju sugu sastāvu un sugu attiecību izmaiņas.
10. Lai novērtētu zivju resursu izmantošanas intensitāti, **būtiski jāuzlabo zivju uzskaites makšķernieku lomos**. Šobrīd ir ļoti zems atgriezto licenču skaits un netiek uzskaitīti makšķernieku lomi ūdenstilpēs, kur nav ieviesta licencētā maksķerēšana. Šobrīd par



zivju resursu stāvokli var spriest tikai tajos ezeros, kur notiek rūpnieciskā zveja un periodiski tiek veikta zinātniskā zveja.

11. Veikt **zivju resursu novērtējumu**: precīzi un atbildīgi uzskaitīt makšķernieku un zvejnieku (ja tiek veikta pašpatēriņa vai komerciālā zveja) lomus un ziņot institūtam BIOR saskaņā ar MK 2015. gada 22. decembrī Nr. 799 “Licencētās makšķerēšanas, vēžošanas un zemūdens medību kārtība” 8. punktu un MK 2023. gada 9. maija noteikumi Nr. 227. “Noteikumi par rūpniecisko zveju iekšējos ūdeņos” 28. punktu. ZM ir deleģējusi pienākumu institūtam BIOR apkopot un analizēt zvejas un licencētās makšķerēšanas lomu datus.
12. Atkarībā no zivju resursu izmantošanas intensitātes, var lemt par **ezeru zivsaimniecisko novērtējumu** (5-10 gados reizi) un, balstoties uz zinātnisko izvērtējumu, lemt par zivju resursu papildināšanas nepieciešamību. Latvijā spēkā esošie MK 2005. gada 27. decembra noteikumi Nr. 1014 “Ūdens objektu ekspluatācijas (apsaimniekošanas) noteikumu izstrādāšanas kārtība” (turpmāk – ekspluatācijas noteikumi) nosaka to izstrādāšanas kārtību un saturu. Pielikuma 3. punkts paredz, ka, izstrādājot ekspluatācijas plānu, noteikumos var precīzi definēt nepieciešamās vai ieteicamās darbības, un institūcijas, kas kontrolēs ekspluatācijas noteikumu ievērošanu. Taču izvērtējot publiski pieejamos ekspluatācijas noteikumus, redzams, ka 3. punkts bieži vien tiek sagatavots formāli: minētas atsauces uz normatīvo regulējumu, bet dokumentos nav iestrādātas konkrētas rīcības, kas būtu jāveic, lai uzlabotu vai saglabātu esošo ezera ekoloģisko stāvokli.
13. Izstrādājot **nākošā perioda ezera ekspluatācijas (apsaimniekošanas) noteikumus**, ieteicams izvērtēt iepriekšējā periodā veikto pasākumu efektivitāti un ietekmi, veikt padziļinātu ezera ekoloģiskā stāvokļa izpēti un izstrādāt reālas un paveicamas rekomendācijas ezera saimnieciskai izmantošanai un ekoloģiskā stāvokļa saglabāšanai un/vai uzlabošanai, kā arī atbildīgajām institūcijām, sekot šo rekomendāciju ieviešanā.
14. Jāveic **izmaksu un ieguvumu analīze**, lai izvērtētu, kura metode ir ekonomiski vispamatotākā un sniedz lielāko piesārņojuma samazinājumu un ekoloģiskā stāvokļa uzlabošanu.
15. Katra ezera izpētei un apsaimniekošanai ir nepieciešama **individuāla pieeja**, lai saprastu ekosistēmas degradēšanās cēloņus un mazinātu to sekas.

Literatūras saraksts

- Aleksejevs Ē., Opermanis B., Jēkabsons J. 2017. Report on fitting Latvian Lake Fish index, selected for the evaluation of the ecological quality of Latvian lake waterbodies to the results of the Central – Baltic Geographical Intercalibration Group. Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre, Riga, 24 p.
- Auniņš A. (red.) 2013. Eiropas Savienības aizsargājamie biotopi Latvijā. Noteikšanas rokasgrāmata. 2. precizēts izdevums. Latvijas Dabas fonds, Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija, Rīga, 359 lpp.
- Balalaikins M., Bojāre A. (red.). 2023. Invazīvo sugu rokasgrāmata. Daugavpils, Daugavpils Universitātes Dabas izpētes un vides izglītības centrs, 292 lpp.
- Birnbaum C. 2011. NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – *Dreissena polymorpha*. From: Online Database of the European Network on Invasive Alien Species – NOBANIS www.nobanis.org. (skatīts: 14.12.2023.)
- Björk S. 2010. Treatment of Overgrown Shallow Lakes Throughout Macrophyte Control: Study of Lake Hornborga, Sweden. In: Eiseltová M. (ed.). Restoration of Lakes, Streams, Floodplains, and Bogs in Europe: Principles and Case Studies. Wetlands: Ecology, Conservation and Management 3, 123 – 144 pp.
- Cardoso A.C., Free G., Nöges P., Kaste Ø., Poikane S., Solheim A.L. 2009. Lake Management, Criteria, Editor(s): Gene E. Likens. Encyclopedia of Inland Waters. Academic Press: 310-331. ISBN 9780123706263. doi: 10.1016/B978-012370626-3.00244-1
- Cimdiņš P. 2001. Limnoekoloģija. Latvijas Universitāte, Rīga: 159 lpp.
- Chislock M.F., Doster E., Zitomer R.A. & Wilson A.E. 2013. Eutrophication: Causes, Consequences, and Controls in Aquatic Ecosystems. *Nature Education Knowledge* 4(4): 10.
- Costanza R. 1992. Toward an operational definition of ecosystem health. *Ecosystem health: New goals for environmental management*, 239–269 pp.
- Dabas aizsardzības pārvaldes dabas datu pārvaldības sistēma “OZOLS”, <https://www.daba.gov.lv/lv/dabas-datu-sistema-ozols>
- Daugavietis J. 2020. Citizen science – amatierzinātne, pilsoņzinātne vai ... ? (Version 2; 2020, February 16). Zenodo. Pieejams: doi: 10.5281/zenodo.3669134
- Doering M., Robinson C.T. 2012. Water resource management: balancing protection and use. *Eawag News*. A magazine published by Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. No. 72, June: 18-21.
- EK. 2000. EIROPAS PARLAMENTA UN PADOMES DIREKTĪVA 2000/60/EK (2000. gada 23. oktobris), ar ko izveido sistēmu Kopienas rīcībai ūdens resursu politikas jomā: 1–72. Brisele: EK.
- EK. 2008. EIROPAS PARLAMENTA UN PADOMES DIREKTĪVA 2008/56/EK (2008. gada 17. jūnijs), ar ko izveido sistēmu Kopienas rīcībai jūras vides politikas jomā (Jūras stratēģijas pamatdirektīva): 1-22. Brisele: EK.

- Enawgaw Y. & Wagaw S. 2023. Phytoplankton communities and environmental variables as indicators of ecosystem productivity in a shallow tropical lake, *Journal of Freshwater Ecology*, 38: 1, doi: 10.1080/02705060.2023.2216244
- Engelhardt K.A. M. & Ritchie M.E. 2001. Effects of macrophyte species richness on wetland ecosystems and services. *Nature*, 411: 687–689.
- Fazekas D.L., Antal L., Halasi-Kovács B., Kwiatkowski M., Tóth F., Specziár A., Mozsár A. 2023. Acute effects of angler's groundbaits: nutrient flux to water column. *Scientific Reports*, 13(1): 17691.
- Grīnberga L. 2022. Ūdeņu kvalitātes uzlabošanas efektivitātes risinājumi mākslīgajos mitrājos Latvijā: promocijas darbs zinātniskā doktora (Ph. D) grāda iegūšanai. Jelgava: LBTU, 120 lpp.
- Hallstan S., Grandin U., Goedkoop W. 2010. Current and modeled potential distribution of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in Sweden. *Biol. Invasions* 12: 285–296. doi:10.1007/s10530-009-9449-9
- HELCOM 2007. HELCOM Baltijas Jūras Rīcības Plāns, pieņemts HELCOM ministru ārkārtas sanāsmē 2007. gada 15. novembrī Krakovā, Polijā.
- HELCOM 2022. Assessment of sources of nutrient inputs to the Baltic Sea in 2017.
- Hering D., Feld C.K., Moog O. and Ofenböck T. 2006. Cook book for the development of a Multimetric Index for biological condition of aquatic ecosystems: experiences from the European AQEM and STAR projects and related initiatives. *Hydrobiologia*, 566: 311–324.
- ICES. 2019. Science Plan, doi: 10.17895/ices.pub.5469
- Invazīvo sugu pārvaldnieks, <https://latvianature.daba.gov.lv/invazivo-sugu-parvaldnieks/>
- Jansons V. 2013. Aizsargjoslu pielietošanas lauksaimniecībā pieredzes izpēte. Tēma Nr. KL-6. Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava. Pieejams: <https://www.zm.gov.lv/lv/media/4860/download?attachment> (skatīts 22.12.2023.)
- Jørgensen S., Tundisi J.G., Tundisi T.M. 2012. Handbook of Inland Aquatic Ecosystem Management, Taylor & Francis Group: 409 p.
- Jørgensen S.E., Costanza R., Xu F.L. 2005. Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health. ISBN 1-56670-665-3, 464 pp.
- Kane D.D., Gordon S.I., Munawar M., Charlton M.N., Culver D.A. 2009. The planktonic index of biotic integrity (P-IBI): an approach for assessing lake ecosystem health. *Ecol. Indic.*, 9: 1234–1247.
- Kill K., Grinberga L., Koskiaho J., Mander Ü., Wahlroos O., Lauva D., Parn K., Kasak, K. 2022. Phosphorus removal efficiency by in-stream constructed wetlands treating agricultural runoff: Influence of vegetation and design. *Ecological Engineering*, 180: 106664.
- Kļaviņš M., Cimdiņš P. 2004. Ūdeņu kvalitāte un tās aizsardzība. Rīga: LU akadēmiskais apgāds, 204.
- Kruczynski W.L. & Fletcher P.J. (eds.). 2012. Tropical Connections: South Florida's marine environment. IAN Press, University of Maryland Center for Environmental Science, Cambridge,

Maryland, 492 pp. (attēla autors: Beckert K., Integration and Application Network;
<https://ian.umces.edu/media-library/healthy-vs-eutrophic-ecosystem/>)

Lagzdīņš A., Grīnberga L., Veinbergs A., Trifane A. 2018. Rokasgrāmata par videi draudzīgu elementu ierīkošanu meliorācijas sistēmās. Jelgava, 96.lpp.

Lampert W. & Sommer U. 2007. Limnoecology. The ecology of lakes and streams. 2nd. ed. Oxford University Press, 324 p.

Latinopoulos D., Spiliotis M., Ntislidou C., Kagalou I., Bobori D., Tsiaoussi V., & Lazaridou M. 2021. “One Out–All Out” Principle in the Water Framework Directive 2000—A New Approach with Fuzzy Method on an Example of Greek Lakes. *Water*, 13(13), 1776. doi: 10.3390/w13131776

Link J.S., Marshak A. 2021. Ecosystem-based fisheries management – Progress, importance and impacts in the United States. Oxford, UK: Oxford University Press, 712 pp.

Lopata M., Tandyrak R., Parszuto K., Augustyniak R., Grochowska J., Plachta A. 2019. External loading of phosphorus in deep, stratified lake affected with drainage water. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 221(1): 012115.

LVGMC. 2023. Daugavas, Gaujas, Lielupes un Ventas upju baseinu apgabalu apsaimniekošanas plāni un plūdu riska pārvaldības plāni 2022. - 2027. gadam. Rīga, papildinātas redakcijas.

Mao Z., Gu X., Cao Y., Luo J., Zeng Q., Chen H., Jeppesen E. 2021. Pelagic energy flow supports the food web of a shallow lake following a dramatic regime shift driven by water level changes. *Science of The Total Environment* 756: 143642, ISSN 0048-9697, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143642.

Minchin D., Lucy F., Sullivan M. 2002. Zebra mussel: impacts and spread. In: E. Leppäkoski, S. Gollasch & S.Olenin (eds), *Invasive Aquatic Species of Europe: Distribution, Impacts and Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands: 135-146.

MK noteikumi Nr. 799 “Licencētās makšķerēšanas, vēžošanas un zemūdens medību kārtība” (22.12.2015.) Pieejams:

<https://likumi.lv/ta/id/279203-licencetas-makskeresanas-vezosanas-un-zemudens-medibu-kartiba>

MK noteikumi Nr. 858 “Noteikumi par virszemes ūdensobjektu tipu raksturojumu, klasifikāciju, kvalitātes kritērijiem un antropogēno slodžu noteikšanas kārtību” (19.10.2004.). Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/95432-noteikumi-par-virszemes-udensobjektu-tipu-raksturojumu-klasifikaciju-kvalitates-kriterijiem-un-antropogeno-slodzu-noteikšanas>

MK noteikumi Nr.198. “Tiešo maksājumu piešķiršanas kārtība lauksaimniekiem”; (18.04.2023.).Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/341260-tieso-maksajumu-pieskirsanas-kartiba-lauksaimniekiem>

MK noteikumi Nr.1014 “Ūdens objektu ekspluatācijas (apsaimniekošanas) noteikumu izstrādāšanas kārtība” (27.12.2005.) Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/124798-udens-objektu-ekspluatācijas-apsaimniekosanas-noteikumu-izstradasanas-kartiba>

MK protokols Nr.9 “Par zivju resursu atražošanas valsts programmu” 2001. - 2010. gadam (27.02.2001.), Latvijas vēstnesis drukas versijā: Laidiens: 04.04.2001., Nr. 54.

MK rīkojums Nr. 52 “Par Zivju resursu mākslīgās atražošanas plānu 2021.-2024. gadam” (21.01.2021.)
Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/320527-par-zivju-resursu-maksligas-atrazosanas-planu-2021-2024-gadam>

MK rīkojums Nr.764 “Par Zivju resursu mākslīgās atražošanas valsts programmas pamatnostādņem 2011. - 2016. gadam” (30.10.2010.). Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/223803-par-zivju-resursu-maksligas-atrazosanas-valsts-programmas-pamatnostadnem-20112016gadam>

MK rīkojums Nr. 684 “Par Zivju resursu mākslīgās atražošanas plānu 2017.-2020. gadam” (17.11.2016.)Pieejams:<https://likumi.lv/ta/id/286693-par-zivju-resursu-maksligas-atrazosanas-planu-2017-2020-gadam>

Norton R.C.B.G., Faber M., Rapport D. 1992. Ecosystem health: new goals for environmental management. Island Press, Washington, DC, 304 pp.

O'Hagan A.M. 2020. Ecosystem-Based Management (EBM) and Ecosystem Services in EU Law, Policy and Governance. In: O'Higgins, T., Lago, M., DeWitt, T. (eds) Ecosystem-Based Management, Ecosystem Services and Aquatic Biodiversity . Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-45843-0_18

Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskais institūts "BIOR". Saukas ezera ekosistēmas barības tīkla modelis, LIFE GoodWater IP, Rīga, 65 lpp.

Pengerud A., Stålnacke P., Bechmann M., Blicher-Mathiesen G., Iital A., Koskiahio J., Kyllmar K., Lagzdins A., Povilaitis A. 2015. Temporal trends in phosphorus concentrations and losses from agricultural catchments in the Nordic and Baltic countries. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 65(2), 173-185.

Phillips G., Jekabsone J., Barda I., Purina I. 2015. On fitting Latvian Lake phytoplankton index, selected for the evaluation of the ecological quality of Latvian Lake waterbodies to the results of the Central-Baltic geographical intercalibration group. Report. 1 -16.

Pilotto F., Solimini A.G., Gevrey M., Argillier C., Miler O., Pusch M., Böhmer J. 2012. Deliverable D3.3-3: Development of tools for the assessment of European lakes using benthic invertebrates: A preliminary analysis. WISER (“Water bodies in Europe: Integrative Systems to assess Ecological status and Recovery”), 7th Framework programme project, 46 p. Pieejams: <http://www.wiser.eu/download/D3.3-3.pdf>

Poikane S., Kelly M. G., Várbíró G., Borics G., Erős T., Hellsten S., Kolada A., Lukacs B.A., Solheim A.L., Lopez J.P., Willby N.J., Wolfram G., Phillips G. 2022. Estimating nutrient thresholds for eutrophication management: Novel insights from understudied lake types. *Science of the Total Environment*, 827, 154242.

Poikane S., Herrero F.S., Kelly M.G., Borja A., Birk S. & van de Bund W. 2020. European aquatic ecological assessment methods: A critical review of their sensitivity to key pressures. *Science of the Total Environment*, 740: 140075. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140075

Portielje R., Bertrin V., Denys L., Grinberga L., Karotki I., Kolada A., Krasovskiene J., Leipute G., Maemets H., Ott I., Phillips G., Pot R., Schaumburg J., Schranz C., Soszka H., Stelzer D., Sondergaard M., Willby N., Poikane S. (ed.) 2014. Water Framework Directive Intercalibration Technical Report. Central Baltic Lake Macrophyte Ecological Assessment Methods. Publications

- Radinger J., Marten S., Klefoth T., Wolter C., Feldhege F., Monk C.T., Arlinghaus R. 2023. Ecosystem-based management outperforms species-focused stocking for enhancing fish populations. *Science*, 379: 946-951. DOI:10.1126/science.adf0895
- REFCOND. 2003. Guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters. Produced by Working Group 2.31 Reference conditions for inland surface (REFCOND), Common Implementation Strategy of the Water Framework Directive, European Commission, 86 pp.
- Roni P. & Beechie T. 2013. *Stream and Watershed Restoration: A Guide to Restoring Riverine Processes and Habitats*, 1st. ed. Wiley & Sons, Ltd.
- Scheffer M. 2001. Alternative attractors of shallow lakes. *Scientific World Journal*. 1: 254-263. doi: 10.1100/tsw.2001.62.
- Serafin A., Grzywna, A., Augustyniak R., Bronowicka-Mielniczuk U. 2022. Nutrients from beach recreation in the context of the limnological status of a mesotrophic lake. *Journal of Water and Land Development*, 160-171.
- Siksnane I., Lagzdins A. 2020. Temporal trends in nitrogen concentrations and losses from agricultural monitoring sites in Latvia. *Rīgas Tehniskās Universitātes Zinātniskie Raksti*, 24(3): 163-173.
- Siksnane I., Lagzdins A. 2021. Temporal Trends in Phosphorus Concentrations and Losses from Agricultural Monitoring Sites in Latvia. *Environmental and Climate Technologies*, 25(1): 233-242.
- Skuja A., Ozoliņš, D. 2016. Fitting New Method—Latvian Lake Macroinvertebrate Multimetric Index (LLMMI) to Results of Central—Baltic Geographical Intercalibration Group (CB—GIG) Lake Benthic Macroinvertebrate Intercalibration. Report. Institute of Biology, University of Latvia: Salaspils, Latvia, p. 12.
- Stålnacke P., Aakerøy P. A., Blicher-Mathiesen G., Iital A., Jansons V., Koskiaho J., Kyllmar K., Lagzdins A., Pengerud A., Povilaitis A. 2014. Temporal trends in nitrogen concentrations and losses from agricultural catchments in the Nordic and Baltic countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 198: 94-103.
- Urtāns A. V. (red.) 2017. Aizsargājamo biotopu saglabāšanas vadlīnijas Latvijā. II Upes un ezeri. Dabas aizsardzības pārvalde, Sigulda. 208 lpp.
- Ūdens Struktūrdirektīva 2000. Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2000/60/EK (2000. gada 23. oktobris), ar ko izveido sistēmu Kopienas rīcībai ūdens resursu politikas jomā. Oficiālais Vēstnesis 327, 22/12/2000, 0001-0073.
- Vassiljev A., Stålnacke P. 2005. Statistical modeling of riverine nutrient sources and retention in the Lake Peipsi drainage basin. *Water Science and Technology*, 51(3-4), 309-317.
- Vereecken H., Baetens J., Viaene P., Mostaert F. & Meire P. 2006. Ecological management of aquatic plants: effects in lowland streams. *Hydrobiologia* 570: 205–210.

- Verhofstad M.J.J.M., Alirangues Núñez M.M., Reichman E.P., van Donk E., Lamers L.P.M., Bakker E.S. 2017. Mass development of monospecific submerged macrophyte vegetation after the restoration of shallow lakes: Roles of light, sediment nutrient levels, and propagule density, *Aquatic Botany*, 141: 29-38. ISSN 0304-3770. doi: 10.1016/j.aquabot.2017.04.004
- Vymazal J., Zhao Y., Mander Ü. 2021. Recent research challenges in constructed wetlands for wastewater treatment: A review. *Ecological Engineering*, 169: 106318.
- Wacker A., von Elert E. 2003. Food quality controls reproduction of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). *Oecologia*, 135: 332–338. doi: 10.1007/s00442-003-1208-5
- Wagner, T. & Erickson, L. 2017 Sustainable Management of Eutrophic Lakes and Reservoirs. *Journal of Environmental Protection*, 8, 436-463. doi: 10.4236/jep.2017.84032
- Wetzel R.G. 2001. Limnology. Lake and River Ecosystems. 3rd. ed., Academic Press, San Diego, 1024 p.
- Woolway R.I., Kraemer B.M., Lenters J.D., Merchant C.J., O'Reilly C.M., Sharma S. 2020. Global lake responses to climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1: 388–403. doi: 10.1038/s43017-020-0067-5
- Woolway R.I., Sharma S., Smol J.P. 2022. Lakes in Hot Water: The Impacts of a Changing Climate on Aquatic Ecosystems, *BioScience*, 72(11): 1050–1061, doi: 10.1093/biosci/biac052