



**VILNIAUS UNIVERSITETAS
ŠIAULIŲ AKADEMIJA**

GAMTINIŲ SISTEMŲ VALDYMO MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ PROGRAMA

EGLĖ MARKAITYTĖ

Magistro darbas

**UTENOS REGIONO EŽERŲ FITOPLANKTONO BENDRIJŲ EKOLOGINĖ
BŪKLĖ**

Darbo vadovas: doc. dr. Algirdas Kaupinis

Šiauliai, 2024

**PATVIRTINIMAS apie parengto darbo
savarankiškumą**

CONFIRMATION

Vardas, pavardė <i>Name, Surname</i>	Eglė Markaitytė
Darbo pavadinimas <i>Thesis topic</i>	Utenos regiono ežerų fitoplanktono bendrijų ekologinė būklė <i>Ecological Status of Phytoplankton Communities in the Lakes of the Utena Region</i>

Patvirtinu, kad įteikiamas darbas yra atliktas mano paties ir nėra pateiktas kitam kursui šiame ar ankstesniuose semestruose; nebuvo naudotas kitoje mokslo ir (ar) studijų įstaigoje Lietuvoje ir užsienyje; nenaudoja šaltinių, kurie nėra nurodyti darbe, ir pateikia visą panaudotos literatūros sąrašą.

Šiame darbe tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos yra pažymėtos literatūros nuorodose.

I confirm that I am the author of submitted paper, which has been prepared independently and has never been presented for any other course or used in another educational institution, neither in Lithuania, or abroad. I also provide a full bibliographical list which indicates all the sources that were used to prepare this assignment and contains no un-used sources.

Quotes from other sources directly or indirectly used in this thesis, are indicated in literature references.

Aš, Eglė Markaitytė, pateikdamas (-a) šį darbą, patvirtinu (pažymėti)



I, Eglė Markaitytė, by submitting this paper confirm (check)

TURINYS

ĮVADAS.....	4
LITERATŪROS ANALIZĖ	6
1.1. Fitoplanktono biomasę ir gausumą reguliuojantys veiksniai	6
1.2. Biogeniniai elementai	9
1.3. Lietuvos ežerų trofinis statusas ir charakteristika.....	10
2. TYRIMO METODAI	13
2.1. Tirti Utenos regiono ežerai	13
2.2. Ėminių ėmimas. Hidrofizinių, hidrocheminių ir hidrobiologinių parametrų tyrimas	15
2.3. Fitoplanktono tyrimas.....	16
2.4. Statistika ir analizė.....	19
3. REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ	20
3.1. Tirtų ežerų hidrocheminės-hidrofizinės ir hidrobiologinės savybės.....	20
3.2. Fitoplanktono rūšinė įvairovė Utenos regiono ežeruose	23
3.3. Ežerų fitoplanktono bendrijų ekologinė būklė	27
3.4. Rekomendacijos	31
IŠVADOS	33
PADĖKA	34
SANTRAUKA	35
SUMMARY	36
LITERATŪRA	37
PRIEDAI	43

IVADAS

Fitoplanktonas (graikų k. *plankton* – klajojantis) yra smulkūs organizmai, gyvenantys vandenyje ir gebantys nežymiai savarankiškai judėti arba būti vandens srovių nešiojami (Bartoševičienė, 2018). Fitoplanktonas yra įvairių formų, dydžių, sandaros ir prisitaikymo. Kai kurios rūšys sugeba prisitaikyti prie ekstremalių abiotinių sąlygų ir išgyventi net labai užterštuose vandenyse, taip indikuojant turimą aukštą toleranciją nepalankioms sąlygoms (Jakhar, 2013). Nepriklausomai nuo mažo dydžio, fitoplanktono svarba planetos gyvavimui yra neabejotina. Galima teigti, kad santykinis fitoplanktono indėlis į pasaulinį produktyvumą pastaraisiais metais išaugo dėl prarastų miškingų plotų (Naselli-Flores, Padisák, 2023). Fitoplanktonas sukuria apie 70 % atmosferos deguonies atsargų (Reynolds, 2006). Taip pat jis yra atsakingas už didelės dalies anglies dioksido pernešimo iš atmosferos į vandenyną (Lindsey, Scott, 2010). Fitoplanktonas – pagrindinis organizmas vykdamas pirminę produkciją ežeruose, kuris nulemia vandens telkinio kokybę ir biologinį produktyvumą (Kavaliauskienė, 1996). Fitoplanktonas vaidina lemiamą vaidmenį ežero produktyvume, nes skatina energijos srautą per maisto tinklus, reguliuoja vandens skaidrumą ir daro įtaką deguonies lygiui (Kragh, Sand-Jensen, 2018; Dokulil, Kabas, 2018). Šie mikroskopiniai organizmai reaguoja į besikeičiančias aplinkos sąlygas, todėl tai leidžia dumblių kiekius vandenyje naudoti kaip rodiklius nustatant ežerų ekologinę būklę.

Lietuvos ežerų ekologinė būklė yra vertinama kiekvienais metais ir ne visada atitinka aukščiausius standartus, kurie suteiktų pozityvius pokyčius artimiausioje ar tolimesnėje ateityje. Klimato kaita, kuri yra viena iš ežerų eutrofikacijos priežasčių, daro didelę įtaką mūsų šalies vandens telkiniams. Dumbliai yra svarbiausias komponentas savaiminiame ežero apsivalyme, tačiau tuo pačiu metu gali padaryti milžinišką žalą. Bet koks aplinkos poveikis individui sukuria grandininę reakciją. Fotosintezės metu išsiskyres deguonis, dalyvaudamas organinių medžiagų apykaitos cikle, intensyvina dumblių dauginimąsi, dėl ko jie tampa patys užterštumo faktoriumi – prasideda vandens „žydėjimas“ (AAA, 2023). Nuo to nukenčia visa fitoplanktono populiacija, matomi gausumų pokyčiai, vienos rūšies dominavimas, o tuo tarpu kitos žūtis, taip pat visos fitoplanktono ir aplinkinių organizmų bendrijų bioįvairovė išnyksta (Salmaso, Tolotti, 2021). Dėl ko vykstant žydėjimui, dėl dumblių išskiriamų toksinų, gali žūti vandens gyvūnija, augalija ar net sukelti pavojų žmogaus sveikatai, be to dugne nusėdęs negyvas fitoplanktonas sukelia vandens hipoksiją – susidaro negyvosios zonos (Lindsey, Scott, 2010). Ligos, pradedant nuo į šienligę panašių simptomų iki sunkių

ligų, tokių kaip pneumonija, ar net mirčių, buvo fiksuotos kaip susijusios su dumblių žydėjimu (Stewart et al., 2006). Ką dėl to galime padaryti? Norint sušvelninti eutrofikaciją ir kenksmingą dumblių žydėjimą visame pasaulyje, rekomenduojama sutelkti dėmesį į dvigubų azoto ir fosforo bendro ribojimo strategijų, jas pritaikant pagal konkrečias Lietuvos ežerų sąlygas (Paerl et al., 2020). Fitoplanktono dinamikos supratimas ežeruose gali suteikti įžvalgų, daugiau duomenų apie vandens kokybės pokyčius ir padėti ekosistemų apsaugai bei jų valdymui.

Šiame darbe aptariamas fitoplanktono bendrijų poveikis Utenos regiono ežerams, rūšinė įvairovė ir sezoninė dinamika. Nagrinėjant tirtų ežerų ekologinę būklę buvo naudojami skirtingi statistinės analizės būdai, taip nustatant ežerų ekologinę būklę pagal fitoplanktono bendrijos pokyčius, biologinius, hidrofizinius ir cheminius veiksnius. Rekomendacijos pateiktos remiantis tyrimo metu gautais rezultatais ir bendra patirtimi tiriant fitoplanktono mėginius.

Tikslas: Ištirti Utenos regiono skirtingo trofinio lygmens ežerų fitoplanktono bendrijas.

Uždaviniai:

1. Įvertinti ežerų hidrochemines-hidrofizines bei hidrobiologines savybes.
2. Nustatyti fitoplanktono rūšinę įvairovę, dominuojančias grupes ir sezoninę dinamiką.
3. Išskirti svarbiausias fitoplanktono grupes charakterizuojančias ežerų ekologinę būklę bei įvertinti jų priklausomybę nuo aplinkos veiksnių.
4. Pateikti rekomendacijas ežerų fitoplanktono ekologinės būklės vertinimui.

LITERATŪROS ANALIZĖ

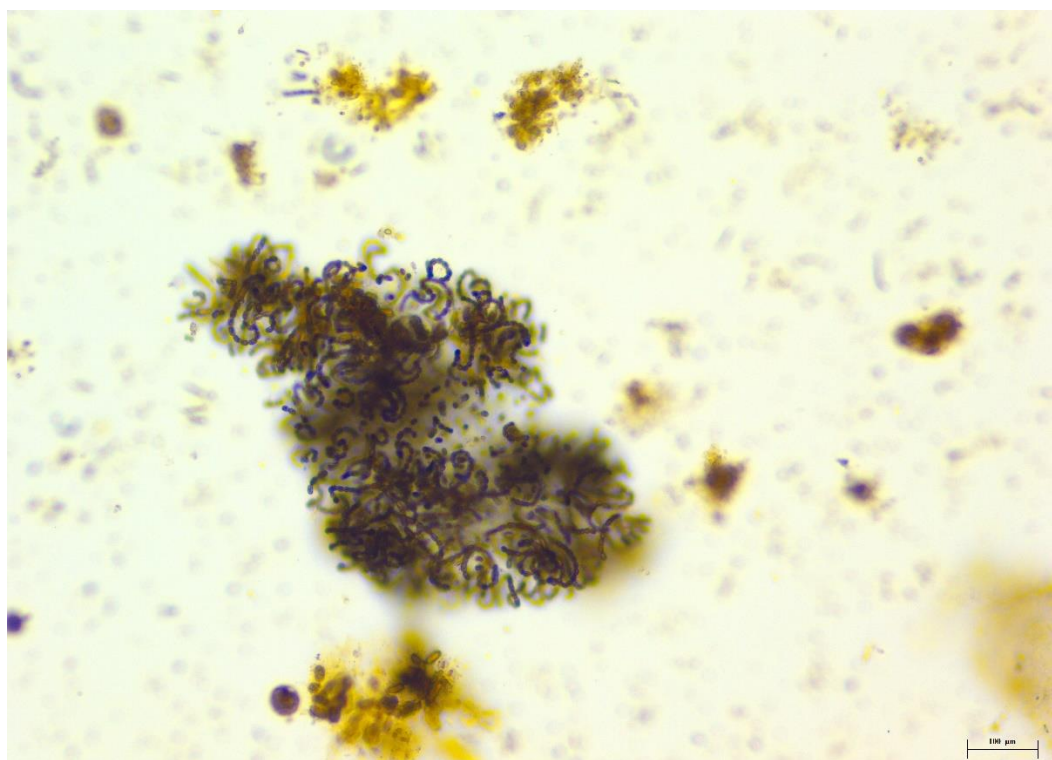
1.1. Fitoplanktono biomasę ir gausumą reguliuojantys veiksniai

Pagrindiniai aplinkos veiksniai yra skirstomi į abiotinius ir biotinius. Abiotiniai veiksniai fitoplanktono gausumui ir biomasės reguliacijai yra svarbiausi. Šviesa, temperatūra, neorganinės medžiagos ir jų prieinamumas nulemia fitoplanktono kiekius ir įvairovę vandens telkinyje. Biotiniai veiksniai, pavyzdžiui plėšrūnai, taip pat daro nemenką poveikį fitoplanktono gyvavimui.

Fitoplanktonas pasižymi didele gerai apibrėžtų ekologinių savybių įvairove, kuri gali iš dalies nuspėjamai kisti įvairiuose aplinkos gradientuose (Mantzouki et al., 2015). Temperatūra yra vienas iš veiksnių, kuris turi įtakos fitoplanktono gausumui vandenyje, o temperatūros pokyčiai yra glaudžiai susiję su sezonais. Nustatyta, kad palankiausia temperatūra fitoplanktonui augti yra vidutiniškai 10-20 °C, bet optimaliausia nustatyta 25 °C (Butterwick et al., 2005). Tai reiškia, kad žiemos laikotarpiu fitoplanktono kiekiai bus maži arba išvis nebus, todėl ėminiai yra imami pavasario antros pusės, vasaros ir rudens pradžios mėnesiais. Taip pat fitoplanktono žydėjimas yra fiksuojamas ežeruose, kuriuose yra daug maistingųjų medžiagų ir aukšta temperatūra, taip sumažinant vandens skaidrumą (Napiórkowska-Krzebietke et al., 2017).

Viena iš labiausiai tiriamų dėl savo ekologinės būklės identifikacinių savybių fitoplanktono grupių yra melsvabakterės (1 pav.). Melsvabakterės (Cyanobacteria) yra prokariotai, kurie sudaro įvairią organizmų grupę, gebančią prisitaikyti prie skirtingų aplinkų. Nors melsvabakterių galima rasti ežeruose bet kuriuo metų laikų, tačiau jų gausiausia ir didžiausia įvairovė yra vasaros pabaigoje ir rudens pradžioje, kai temperatūra nėra aukšta (Matthews, 2012). Tačiau užfiksuota, kad melsvabakterė *Aphanizomenon flos-aquae* išgyveno ir vidutiniškai augo, kai vandens temperatūra siekė 35 °C (Butterwick et al., 2005). Dumблиų žydėjimas turi užprogramuotus kintamus aplinkos veiksnius, kurie sudaro palankias sąlygas. Kai vanduo yra neramus, šaltas, intensyviai maišomas vėjo, melsvabakterės tolygiai pasiskirsto vandens stovime, tačiau kai temperatūra pakyla, vanduo nusistovi ir sustingsta, o plūduriuojančios melsvabakterės pakyla aukštyn, susidaro tankios paviršinės dumблиų žydėjimo sankaupos (Paerl, Huisman, 2009). Dažniausiai pasitaikančios rūšys žydėjimo metu būna *Anabaena circinalis*, *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Gloeotrichia echinulata* ir *Microcystis aeruginosa* (Matthews, 2012). Melsvabakterių išskiriami toksinai gali kelti

pavojų žmonėms ir kitiems organizmams, tačiau ne visos melsvabakterių rūšys formuoja toksinus ir ne visos toksiškos rūšys dumblių žydėjimo metu formuoja toksinus (Matthews, 2012). Taip pat intensyvi ir dažna eutrofikacija gali sukelti hipoksiją arba sudaryti „negyvasias zonas“ (Paerl et al., 2011). Rytų Lenkijos ežeruose vasarą pastebimai pagal biomasę dominuoja dvi melsvabakterių rūšys - *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis wesenbergii* ir *Coelomonon pusillum*, o gegužės, birželio ir rugsėjo mėnesiais gausiausia būna Chlorophyta ir vyrauja *Dinophyceae* arba *Cryptophyceae*. Taip pat fiksuojamas žaliadumblių padidėjęs gausimas pavasarį, kai dominuoja *Pandorina morum* ir *Volvox globator*, o vasarą - *Closterium diana* ir *Staurastrum gracile* (Paształeniec, Poniewozik, 2010).



1 pav. Melsvabakterių (*Anabaena lemmermannii*) žydėjimas (100× padidinimas).

Šviesa yra vienas svarbiausių aplinkos veiksnių fitoplanktono bendrijoms vandens telkiniuose. Šviesos kiekis priklauso nuo sezono: vasarą dienos ilgesnės, dėl ko fotosintetinantys organizmai gauna daugiau saulės šviesos. Žiemos metu yra pastebimi labai maži dumblių kiekiai dėl mažesnės vandens cirkuliacijos ir sumažėjusio šviesos šaltinio (Sommer, 1986). *Planktothrix* genties individams yra sudėtinga išsilaikyti ilgą laiko tarpą, tačiau jie gan efektyviai geba naudotis suteikiamu, kad ir mažu, šviesos šaltiniu (Mantzouki et al., 2015). Priešingai nei *Planktothrix*,

Microcystis genties atstovams mažas šviesos šaltinis sudaro nepalankias sąlygas gyventi ir jos gali žūti (Mantzouki et al., 2015). Šviesos kiekis yra stipriai susijęs su fotosintezės procesais ir chlorofilo a kiekiu vandenyje.

Deguonis į vandenį patenka ne tik iš atmosferos, bet ir fotosintezės metu. Deguonies kiekis ežeruose yra pasiskirstęs netolygiai, nes tai priklauso nuo gylio, akvatorijos, bet esant vėjo sąmaišai sekliose ežeruose ištirpęs deguonis vandens sluoksniuose suvienodėja (Kilkus, 2005). Žaliadumbliai (Chlorophyta) yra eukariotai, kurie turi fotosintezėi reikalingo pigmento – chlorofilo. Šis pigmentas yra sukoncentruotas chloroplastuose, kuris suteikia galimybę misti fotoautotrofiškai (Jankavičiūtė, 1996). Dumblių organizmuose yra matomi vyraujantys pigmentai – chlorofilas a, b, c, d, karotinai, biliproteinai (Kilkus, 2005). Fitoplanktonas dėl savo fotosintezės pigmentų sugeria mėlynos ir raudonos spalvos šviesą, todėl vyraujanti atspindimos šviesos spalva yra žalia (Webb, 2021). Melsvabakterių kiekis, didėjant chlorofilo a koncentracijai, didėja visuose Šiaurės Europos ežeruose, tačiau lyginant su diatominiais, melsvabakterių ėmė daugėti esant gerokai didesniai chlorofilo a kiekiui (Ptacnik, 2008).

Priešingai nei žaliadumbliai, melsvabakterės gali naudoti ištirpusias azoto dujas (N_2) kaip azoto šaltinį (Matthews, 2015), todėl galima teigti, kad azoto kiekis vandenyje daro įtaką melsvabakterių gausumui ir įvairovei. Tam tikros melsvabakterės yra prisitaikiusios išgyventi ribinėmis sąlygomis, todėl, pavyzdžiui, *Planktothrix* ir *Microcystis*, dažniausiai dominuoja sekliuose eutrofiniuose ežeruose, kai tuo metu ten yra gausu azoto (Savadova-Ratkus et al., 2021). Dėl didelio maisto medžiagų kiekio ir šiluminės stratifikacijos balandžio-gegužės mėnesiais prasideda masinis dumblių augimas. Augimo metu yra pastebimas *Cryptomonas ovata*, *Rhodomonas* genties ir *Stephanodiscus hantzschii* dumblių dominavimas, o tuo metu zooplanktonas *Cladocera* intensyviai jais minta (Sommer, 1986). Liepos mėnesį pradeda trūkti tirpaus fosforo, tuomet ima dominuoti stambūs diatominiai dumbliai: *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Stephanodiscus spp.* ir *Melosira spp.* (Sommer, 1986). Esant padidėjusiam fosforo kiekiui yra pastebimi *Cryptophyceae* augimo šuoliai, o sumažėjus silicio kiekiams, *Ceratium spp.* pakeičia heterocistiniai melsvadumbliai, pavyzdžiui, *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena planctonica*, *Anabaena spiroides*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Dinobryon sociale* ir *Dinobryon divergens* (Sommer, 1986).

Fitoplanktono morfologija ir kai kurių dumblių gebėjimas judėti yra svarbus faktorius prisitaikant prie aplinkos sąlygų. Dumblių sienelės sudėtis priklauso nuo tam tikrų medžiagų kiekio vandenyje. Pavyzdžiui, titnagdumblių išorinio apvalkalo sudėtis yra sudaryta iš silicio dioksido (SiO_2)

(Kilkus, 2005). Dėl to dažniausiai nuo rugpjūčio vidurio ir rudens sezono metu, esant mažai silicio koncentracijai, diatominius dumblius konkurencijos būdu išstumia nesilikatinės rūšis arba pastebima dominuojanti *Ceratium hirundinella*, iki kol silicio kiekiai vandenyje padidės (Kilkus, 2005; Sommer, 1986). Dėl silikatų padidėjimo prasideda antrasis vasaros diatomų etapas, kuris pakeičia *Cyanophyceae* ir *Dinobryon* dominavimą (Sommer, 1986).

Kai kurios fitoplanktono rūšys yra prisitaikiusios judėti pačios. Judėjimo aparatai gali būti laikini (pseudopodijos, rizopodijos) arba pastovios, pavyzdžiui, žiuželiai ar atvirkščiai kaip Chrysophyta turi nejudrią išaugą – haptonemą, kuri leidžia prisitvirtinti prie substrato (Jankavičiūtė, 1996). Fitoplanktonui prie aplinkos padeda prisitaikyti jo paties sandara. Dumblių gniužulai turi specifinius tipus, kuriems gali priklausyti tiek kolonijiniai, tiek vienaląsčiai individai. Pavyzdžiui, dažniausiai pasitaikantys yra monadiniai (pvz. *Ceratium hirundinella*), kokoidiniai (pvz. *Tetraedron minimum*) arba siūliniai (pvz. *Anabaenopsis arnoldii*) (Jankavičiūtė, 1996).

Fitoplanktonas ir zooplanktonas turi labai artimą ryšį analizuojant jų bendrą sąryšį. Birželio mėnesį esant „skaidraus vandens fazei“ padidėja zooplanktono maitinimosi intensyvumas, dėl kurio sumažėja fitoplanktono tankumas (Sommer, 1986). Pavyzdžiui *Chroococcus limneticus* kiekiai sumažėja vandens telkinyje esant dideliame zooplanktono kiekiui (Elser, Goldman, 1991). Skaidraus vandens fazės pabaigoje dėl maistmedžiagių trūkumo sumažėja zooplanktono gausa, dėl ko dumblių biomasė vėl padidėja, pavyzdžiui, pastebimas *Pandorina morum* dominavimas (Sommer, 1986). Tokie pokyčiai padeda palaikyti sveiką bioįvairovės kaitą, neleidžiant vienai rūšiai dominuoti ilgą laiką.

1.2. Biogeniniai elementai

Absorbuojant šviesą ir fotosintetizuojant organines medžiagas iš anglies dioksido, vandens ir kitų molekulių, fitoplanktonas negali egzistuoti be tam tikrų cheminių elementų, ypač azoto (N) ir fosforo (P). Šie elementai vadinami biogeniniais elementais, kadangi dažniausiai apriboja arba skatina pirminius biologinius procesus ir produkciją. Azotas ir fosforas yra labai reikšmingos maistinės medžiagos, nes jos sudaro visų gyvų organizmų audinius (Kilkus, 2005).

Azotas (N). Į gėlų ežero vandenį įvairios formos azotas – ištirpęs molekulinis N_2 , mineralinis amonis NH_4^+ , nitritas NO_2^- ir nitratas NO_3^- bei organinis azotas, patenka tiesiai iš atmosferos, su

požeminiu ir paviršiniu vandeniu (Kilkus, 2005). Esant ribotiems azoto ištekliams, N₂ fiksuojančioms melsvabakterėms, pavyzdžiui *Aphanizomenon flos-aquae* ir *Planktothrix rubescens*, yra teikiama pirmenybė, tačiau kitos ežero savybės, kaip rūgštingumas, neįprasti ir staigūs fiziniai stabilumo pokyčiai ar anglies kiekiai, turi sudaryti tam sąlygas (Dokulil, Teubner, 2000). Kai kurioms N₂ fiksuojančioms melsvabakterėms *Anabaena* ir *Aphanizomenon* susiformavimas yra palankus iki tam tikro fosforo kiekio (Padisák, Reynolds, 1998).

Fosforas (P). Gėluose ežeruose vyrauja organinė fosforo forma – fosfatai, kuriuos absorbuoja vandenyje esančios mineralinės ir organinės dalelės (Kilkus, 2005). Fosforo koncentracija gan gerai apibūdina ežero trofinę būseną, kadangi fosforas yra dažniausiai biologinį produktyvumą limituojantis biogeninis elementas (Kilkus, 2005). Oligotrofiniuose ežeruose bendrojo ir mineralinio fosforo koncentracijos atsižvelgiant į gylį mažai kinta, kai tuo tarpu eutrofiniuose ežeruose fosforo koncentracijos eksponentiškai padidėja arčiau dugno (Kilkus, 2005). Fosforo koncentracijos ir fitoplanktono bendrijų biomasės gali būti apibūdinamos kaip sinchroniškiausi kintamieji ežeruose ir pasižymi dideliu nuoseklumu, t. y. bendro fosforo kiekių pokyčiai vandenyje daro tiesioginį poveikį fitoplanktonui (Anneville et al., 2005).

1.3. Lietuvos ežerų trofinis statusas ir charakteristika

Fitoplanktonas yra vienas pagrindinių organinės medžiagos šaltinių ežeruose, o jo vystymosi intensyvumas nulemia ežerų vandens kokybę bei biologinį produktyvumą. Pirminė produkcija buvo ir yra viena iš svarbiausių vandens telkinių trofinės būklės rodiklių (Kavaliauskienė, 1996).

Trofinė būklė yra esminis ežerų funkcinio įvertinimo kriterijus, kuris nustato ežerų klasifikaciją: oligotrofinius, mezotrofinius, eutrofinius, hipertrofinius ir distrofinius. Mezotrofinių ežerų Lietuvoje yra daugiausiai (Kavaliauskienė, 1996). Daugumai būdingas didelis gylis, pasižymi aukštu vandens skaidrumu, maža biogeninių elementų koncentracija ir atsparumu antropogeniniam poveikiui (Kavaliauskienė, 1996). Kuo didesnis ir gilesnis vandens telkinys, tuo geresnės sąlygos savaiminiam vandens apsivalymui, lėtesniems hidrobiologiniams procesams ir lėtesniam nuosėdų kaupimuisi (Česonienė et al., 2020). Dažniausiai šio tipo ežerai būna išsidėstę miškinguose ar mišriuose kraštovaizdžiuose (Kavaliauskienė, 1996). Mezotrofiniuose ežeruose galima rasti fitoplanktono *Peridinium*, *Cosmarium*, *Aulacoseira*, *Oscillatoria*, *Planktothrix*, *Pseudopedinella*,

Tabellaria, *Carteria*, *Synedra* rūšių, kurios yra prisitaikiusios prie šviesos ir reikalingų maistinių medžiagų trūkumo arba stiprios segregacijos (Anneville et al., 2005). Pavyzdžiui, Švento ežeras yra išsiskiriantis savo charakteristika. Nors šio oligo-mezotrofinio ežero plotas yra 442 hektarų, o giliausia vieta sieka tik apie 18 metrų, Šventas neturi nei intakų, nei ištakų, todėl jam yra būdingi ilgalaikiai vandens lygio svyravimai (Kavaliauskienė, 1996; Višniskienė, Arbačiauskas, 2018). Tokio tipo ežerams yra būdingos *Chrysochromulina*, *Gymnodinium*, *Achnanthes* genčių rūšys (Anneville et al., 2005). Švento ežere 2003 metais monitoringo metu buvo užfiksuota padidėjusi maistinių medžiagų koncentracija (AAA, 2016 b). Tirtas Alnio ežeras yra vienas švariausių ežerų ir apibūdinamas kaip mezotrofinis ežeras su oligotrofiškumo bruožais (Kavaliauskienė, 1996). Taip pat yra išskiriami mezotrofiniai ežerai su įvairaus laipsnio eutrofiškumo bruožais, pavyzdžiui Dusios ežeras ir Daugių ežeras (Kavaliauskienė, 1996). Oligotrofiniuose ežeruose dominuoja *Mallomonas*, *Dinobryon*, *Ochromonas*, kurie toleruoja mažus maistmedžiagų kiekius vandenyje (Anneville et al., 2005).

Eutrofiniai ežerai, kitaip vadinami maistingais, yra pratakūs, išsidėstę vietose, kuriose yra vykdomas intensyvus žemės ūkis, didesni fosforo kiekiai, o gausiausios fiksuojamos dumblių rūšys šio tipo ežeruose yra melsvabakterės, titnagdumbliniai, šarvadumbliai, žaliadumbliai (Kavaliauskienė, 1996). Išskiriamos, mažą azoto ar anglies kiekius toleruojančios, fitoplanktono gentys eutrofiniuose ežeruose yra *Anabaena*, *Ceratium*, *Staurastrum*, *Fragilaria*, *Stephanodiscus*, *Asterionella* (Anneville et al., 2005). Hipertrofiniai ežerai yra labiausiai eutrofiški ežerai, kuriuos ypatingai stipriai veikia antropogeniniai aplinkos veiksniai, ir dumblių rūšių įvairovė yra ribota (Kavaliauskienė, 1996). Distrofiniai ežerai pasižymi sumažėjusiu vandens skaidrumu, didėjančia mineralizacija, aukštesne biogeninių elementų koncentracija, intensyviu spalvotumu, mažesne fitoplanktono koncentracija (Kavaliauskienė, 1996).

Lietuvoje yra apie 2850 ežerų, kurie sudaro 1,4 proc. šalies teritorijos ir apie 30 % šių ežerų ar tvenkinių neatitinka geros ekologinės būklės (Česonienė et al., 2020). Ekologinės būklės nustatymui yra naudojami ne tik cheminiai ir fiziniai rodikliai, bet ir atsižvelgiama į fitoplanktono ekologines klases. Fitoplanktonas ekologinės būklės požiūriu yra skirstomas klasėmis į melsvabakteres (Cyanobacteria), žaliadumblius (Chlorophyceae), kryptofitinius dumblius (Cryptophyceae), auksadumblius (Chrysophyceae) ir dinofitinius dumblius (Dinophyceae). Taip pat įtraukti yra diatominiai dumbliai (Bacillariophyceae), menturdumblų klasės dumbliai (Conjugatophyceae), euglendumbliai (Euglenophyceae), Haptophyceae, Ulvophyceae ir

gelsvadumbliai (Xanthophyceae) (LR Aplinkos ministerija, 2007). Lietuvoje daugiausiai yra randamos žaliadumblių, titnagdumblių ir melsvabakterių rūšys (Jankavičiūtė, 1996).

Utenos regionas pasižymi ežerų gausa. Šių ežerų dugną dažniausiai sudaro vienas ar keli skirtingi substratai: smėlis, dumblas, durpės, žvirgždas, gargždas ir akmenys (AAA, 2016a). Iš tirtų ežerų, kurių daugumą yra natūraliai susidarę upių baseinuose. Tačiau Antalieptės HE tvenkinys išsiskiria nuo kitų tirtų ežerų tuo, kad šis tvenkinys yra antropogeninis arba dirbtinis ežeras, kuris susidarė užtvenkus upelį ar upę (Kavaliauskienė, 1996). Dėl savo geografinės vietos ir mažo kontakto su urbanizuotomis regiono vietomis, Utenos regiono ežerai nėra linkę įgyti blogą arba labai blogą ekologinę būklę (AAA, 2016a). Suosos ir Ilgio ežerų ekologinė būklė yra įvertinama kaip vidutinė, kadangi yra priskirta pasklidos žemės ūkio taršos rizikai (LR Aplinkos ministerija, 2017). Norint įvertinti ežero ekologinę būklę yra naudojama ežero fitoplanktono indekso vertė (toliau – EFPI). Ji apibūdinama kaip rodiklis, kuriuo parodoma ežerų kategorijos vandens telkinio ekologinė būklė pagal fitoplanktono biomasę ir žmonių veiklos poveikiui jautrių ir nejautrių fitoplanktono taksonų įvairovę ir gausą (LR Aplinkos ministerija, 2007). Pagal LR Aplinkos ministerijos (2007) ežero fitoplanktono indekso apskaičiavimo tvarkos aprašą EFPI sudaro trys moduliai:

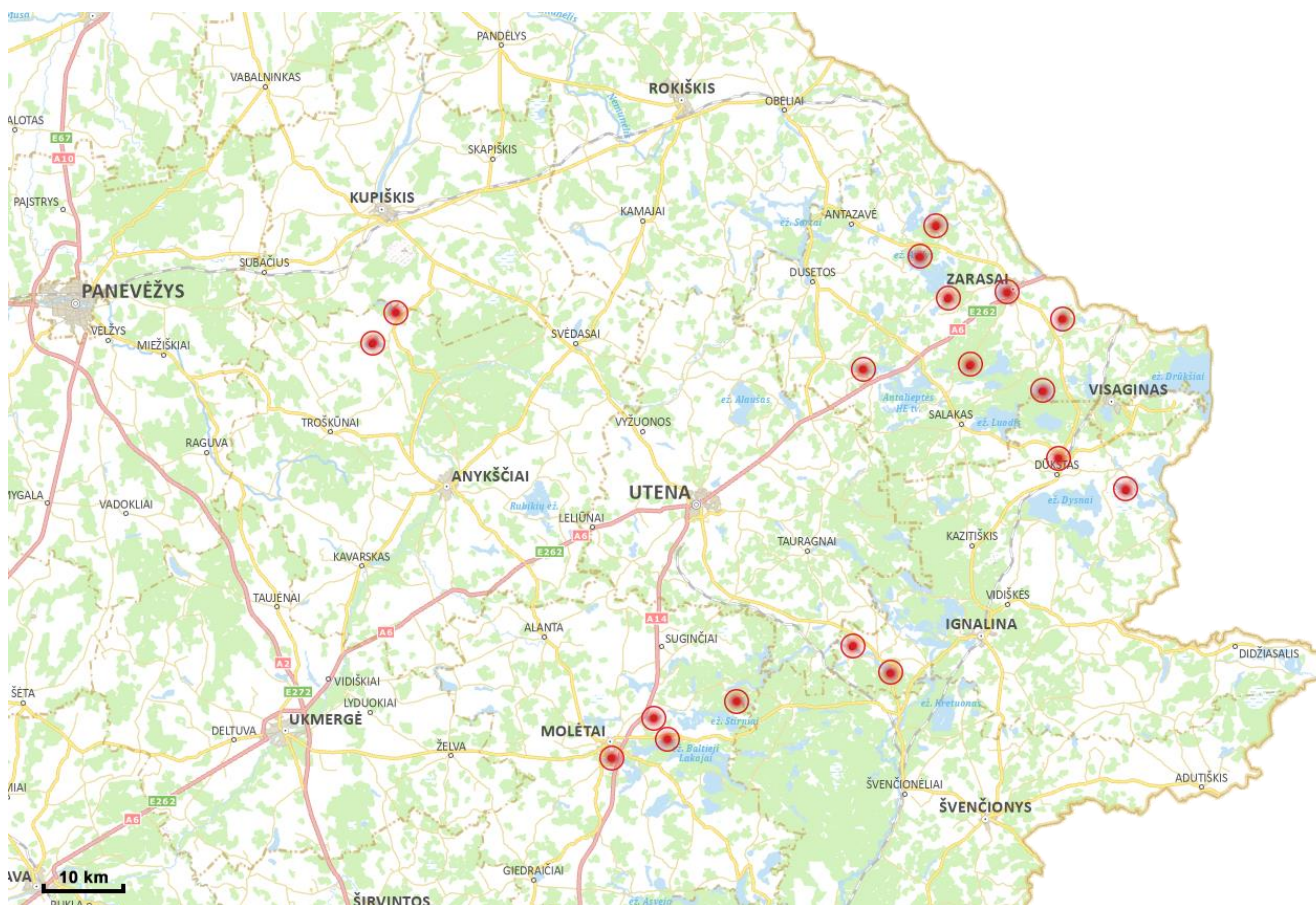
1. biomasės modulis, kuris apima fitoplanktono tūrio, chlorofilo a vidutinės ir maksimalios koncentracijos rodiklius;
2. dumblių klasių modulis, kuris apima pagrindines fitoplanktono bendrijų ekologines grupes ir jų skirtingas tūrių dalis;
3. fitoplanktono taksonų indekso ežerams modulis, kuriuo įvertinamas indikatorinių fitoplanktono rūšių gausumas.

Pagal ežero EFPI 2022 metais didžioji dalis Utenos regiono ežerų įvertinti labai gerai arba gerai, tačiau vidutinį vertinimą gavo du ežerai: Suosos ir Kupiškio tvenkinys, o blogą vertinimą gavo trys: Svėdaso Lamėsto ir Žiezderelio ežerai (AAA, 2022).

2. TYRIMO METODAI

2.1. Tirti Utenos regiono ežerai

Mėginiai imti pagal Valstybinės aplinkos monitoringo 2018–2023 metų programos, patvirtintos Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2018 m. spalio 3 d. nutarimu Nr. 996 „Dėl Valstybinės aplinkos monitoringo 2018–2023 metų programos patvirtinimo“, 42 punkto, Ežerų ir tvenkinių monitoringo 2022 metų planą. Tyrimui buvo atsitiktinai pasirinkta tik dalis tais metais tirtų Utenos regiono ežerų. Ėminiai buvo imti 2022 metais gegužės–spalio mėnesiais po keturis kartus, išskyrus iš Šiurpio, Švento ir Alnio ežerus, iš kurių buvo paimta po 6 kartus balandžio–spalio mėnesiais.



2 pav. Utenos regiono žemėlapis. Tirti ežerai yra pažymėti raudonais taškais. Žemėlapis mastelis 1:500 000 (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, VšĮ Statybų sektoriaus vystymo agentūra, 2024).

1 lentelė. Tirtų Utenos regiono ežerų sąrašas (pagal AAA, 2022)

Ežero/ tvenkinio pavadinimas	Ežero numeris	Savivaldybė	Platuma (m) LKS-94	Ilguma (m) LKS-94	Didž. gylis, metrais	Natūralus / Labai pakeistas
<i>Alksnas</i>	LTL228	Ignalinos r. sav.	6154224.608	655239.539	4.6	Natūralus
<i>Alnis</i>	LTL65	Molėtų r. sav.	6127535.452	606156.9197	22.05	Natūralus
<i>Antalieptės HE tvenkinys</i>	LTL433	Zarasų r. sav.	6169492.838	622126.3559	46	Labai pakeistas
<i>Auslas</i>	LTL303	Zarasų r. sav.	6178446.836	632814.1119	8	Natūralus
<i>Avilys</i>	LTL299	Zarasų r. sav.	6183633.149	629267.6953	13.5	Natūralus
<i>Ilgis</i>	LTL306	Zarasų r. sav.	6175831.29	647268.58	14.32	Natūralus
<i>Ilgys</i>	LTL305	Zarasų r. sav.	6187575.4	631279.204	18.8	Natūralus
<i>Luokesai</i>	LTL158	Molėtų r. sav.	6120402.088	590381.2566	43.8	Natūralus
<i>Malkėstas</i>	LTL350	Molėtų r. sav.	6125433.276	595686.8557	25	Natūralus
<i>Pakalas</i>	LTL333	Utenos r. sav.	6134516.885	620778.705	20.5	Natūralus
<i>Parsvėtas</i>	LTL532	Ignalinos r. sav.	6158256.388	646746.8849	> 17	Natūralus
<i>Siesartis</i>	LTL348	Molėtų r. sav.	6122780.476	597424.9041	37.8	Natūralus
<i>Suosa</i>	LTL382	Anykščių r. sav.	6176726.188	563162.9502	4.48	Natūralus
<i>Šiurpys</i>	LTL311	Zarasų r. sav.	6169946.25	635569.1678	23.2	Natūralus
<i>Šventas</i>	LTL39	Zarasų r. sav.	6166706.58	644760.32	18.2	Natūralus
<i>Ūsiai</i>	LTL326	Ignalinos r. sav.	6131150.577	625535.4627	23.3	Natūralus
<i>Viešintas</i>	LTL383	Anykščių r. sav.	6172680.058	560139.99	7.6	Natūralus
<i>Zarasas</i>	LTL171	Zarasų r. sav.	6179172.598	640281.6426	36.6	Natūralus

Ėminiai buvo paimti iš 18 Utenos regione esančių ežerų ir tvenkinių: Šiurpys LTL311, Šventas LTL39, Alnis LTL65, Viešintas LTL383, Luokesai LTL158, Zarasas LTL171, Alksnas LTL228, Avilys LTL299, Auslas LTL303, Ilgys LTL305, Ilgis LTL306, Ūsiai LTL326, Pakalas LTL333, Siesartis LTL348, Malkėstas LTL350, Antalieptės HE tvenkinys LTL433, Parsvėtas LTL532, Suosa LTL382 (2 pav.). Ežerų gyliai ir jų kilmė skiriasi bei jie patenka į skirtingų penkių rajonų

savivaldybes (žr. 1 lentelė). Šie ežerai priklauso veiklos, priežiūros intensyviajam ir ekstensyviajam monitoringams.

2.2. Ėminių ėmimas. Hidrofizinių, hidrocheminių ir hidrobiologinių parametrų tyrimas

Hidrologiniai parametrai buvo matuojami ir mėginiai cheminei analizei iš ežerų ir tvenkinių buvo imami Aplinkos apsaugos agentūros (toliau – AAA) darbuotojų laikantis LST EN ISO 5667-1 „Vandens kokybė. Mėginių ėmimas. 1 dalis. Nurodymai dėl mėginių ėmimo programų sudarymo ir mėginių ėmimo būdų“, LST EN ISO 5667-3 „Vandens kokybė. Mėginių ėmimas. 3 dalis. Vandens mėginių konservavimas ir tvarkymas“, ISO 5667-4 „Water quality - Sampling - Part 4: Guidance on sampling from lakes, natural and man-made“ ir LST EN ISO 5667-14 „Vandens kokybė. Mėginių ėmimas. 14 dalis. Gamtinio vandens mėginių ėmimo ir tvarkymo kokybės užtikrinimo bei kokybės kontrolės nurodymai“ standartų.

Bendras azotas ir fosforas buvo nustatomas AAA Cheminių tyrimų skyriaus darbuotojų laikantis LST EN ISO 6878:2004 „Vandens kokybė. Fosforo nustatymas. Spektrometrinis metodas, vartojant amonio molibdatą (ISO 6878:2004)“, LST EN ISO 11905-1 „Vandens kokybė. Azoto nustatymas. 1 dalis. Oksidacinio mineralinimo peroksodisulfatu metodas (išskyrus p 6.4; 6.9; 6.10; 6.11; 6.12; 6.13; 6.16; 6.17; p 7.4; 7.5; 9.6; 9.7; 9.8; 9.9; 10.1)“ ir LAND 59 „Vandens kokybė. Azoto nustatymas. 1 dalis. Oksidacinio mineralinimo peroksodisulfatu metodas.“ standartų.

Chlorofilo a mėginiai buvo tiriami AAA Aplinkos tyrimų departamento (toliau – ATD) Biologinių tyrimų skyriaus darbuotojų laikantis ISO 10260:1992 „Water quality - Measurement of biochemical parameters - Spectrometric determinations of the chlorophyll-a concentration (1.3, 1.5, 4.1, 4.2, 7.1) (1.1; 3; 4; 5; 7.3; 7.4; 8.1; 8.4)“ standarto.

Fitoplanktono ėminiai buvo imami Aplinkos apsaugos agentūros Aplinkos tyrimų departamento darbuotojų laikantis LST EN 16698:2016 „Vandens kokybė. Nurodymai dėl vidaus vandens fitoplanktono kiekybinio ir kokybinio ėminių ėmimo.“ ir LST EN 15972:2011 „Vandens kokybė. Nurodymai dėl jūrų fitoplanktono kiekybinio ir kokybinio tyrimo. 6.8 p“ standartų.

Fizinių, hidrologinių ir cheminių parametrų duomenys gauti 2024 metais sausio 29 dieną parašius prašymą Aplinkos apsaugos agentūros Vandens būklės vertinimo skyriaus darbuotojai (2 priedas).

2.3. Fitoplanktono tyrimas

Fitoplanktonas buvo tiriamas naudojant AAA ATD įrangą ir medžiagas. Iš viso ištirti 78 ežerų fitoplanktono ėminiai. Ėminio pasiruošimas ir jo tyrimas buvo atliekamas remiantis LST EN 15204:2007 „Vandens kokybė. Fitoplanktono nustatymo, taikant atvirkštinę mikroskopiją (Utermöhl'o būdą), vadovas (išskyrus 6.3.1 punktą).“ standartu ir HELCOM sudarytomis, 2023 metų gegužės mėnesį atnaujintomis, fitoplanktono rūšinės sudėties, gausos ir biomasės monitoringo gairėmis (HELCOM, 2021).

Fitoplanktono ėminiai buvo atgabenami stikliniuose 100 ml arba 200 ml buteliukuose užkonservuoti rūgštiniu Liugolio tirpalu. Jie laikomi tamsoje ir vėsioje vietoje. Prieš atliekant homogenizavimą ir sedimentaciją, buvo būtina mėginio aklimatizacija, jį paliekant ne mažiau nei 12 valandų kambario temperatūroje.

Prieš pat mėginio įpylimą į sedimentacijos kamerą, mėginys buvo homogenizuotas. Mėginys yra gerai, tačiau švelniai, vartomas ar sukamas į visas puses 70 kartų arba 1 minutę. Taip mėginyje esantys dumbliai ar jų gniužulai yra paskirstomi ar išskaidomi tolygiai.

Sedimentacijai buvo naudojamos 3 ml, 5 ml, 10 ml ir 25 ml sedimentacinės kameros (3 pav.). Kameros dydis pasirenkamas pagal numatoma fitoplanktono kiekį. Kameros sedimentacinis cilindras buvo užpilamas iki viršaus taip, kad neliktų oro tarpo. Ant kameros buvo užstumiamas cilindro dengiamasis stiklelis, nepaliekant oro burbuliukų. Nusodinimo laikas priklausė nuo kameros aukščio, t. y. ne mažiau 4 val. 1 cm aukščio cilindriui. Vidutiniškai mėginiai sedimentacijai buvo paliekami mažiausiai 24 val. prieš tyrimą. Po sedimentacijos kameros cilindras yra nustumiamas ir vietoje jo yra užstumiamas dengiamasis stiklelis, vengiant oro patekimo po juo. Paruošta tyrimui kamera yra įstatoma į mikroskopo stalėlį.



3 pav. Fitoplanktono mėginio sedimentacija. Nuotraukoje sedimentuojamas 3 ml fitoplanktono mėginys.

Mikroskopijai buvo naudojamas invertuotas binokuliarinis mikroskopas „Nikon Eclipse Ts2R“ su $\times 100$ ir $\times 400$ padidinimais (4 pav.). Skaičiavimo strategija pasirenkama pagal fitoplanktono kiekį ir pasiskirstymą kameroje. Naudotos skaičiavimo strategijos (*naudojamos kelios arba visos vienam mėginiui, skirtingoms rūšims ir skirtingais padidinimais*):

- Dumbliai skaičiuoti atsitiktiniuose laukuose;
- Skaičiuota transektose (horizontaliai arba vertikaliai);
- Skaičiuota pusėje arba visame kameros plote.

Fitoplanktono rūšys buvo identifikuojamos naudojantis vadovais-apibūdintojais, skaitmeniniais su rūšių nuotraukomis konspektais. Identifikacijai naudojami lotyniški individų pavadinimai. Esant būtinybei, buvo krepiamasi pagalbos į ekspertus ar kolegas. Fitoplanktono individo apibūdinimas vyko iki tokio taksonominio lygio, iki kurio buvo užtikrinta. Galimi taksonominiai lygiai: šeima, gentis, rūšis ir jos variacija. Taip pat kiekvienos rūšies individas buvo išmatuojamas ir priskiriamas dydžių klasei, kuris pasirenkamas iš fitoplanktono ekspertų grupės (HELCOM PEG) sudaryto Excel dokumento PEG BIOVOL (jis atnaujinamas kiekvienais metais ir gali būti randamas ICES internetiniame puslapyje:

https://www.ices.dk/data/Documents/ENV/PEG_BVOL.zip). Faile esančios unifikuotos skaičiuojamų organizmų formulės yra naudojamos fitoplanktono biomasės apskaičiavimui.



4 pav. Invertuotas binokuliarinis mikroskopas „Nikon Eclipse Ts2R“ naudotas atlikti fitoplanktono mėginių tyrimus.

Norint užtikrinti preciziškumą, skaičiuojama ne mažiau 50 skaičiavimo vienetų iš kiekvieno gausiausių taksonų, o bendras suskaičiuotas individų skaičius mėginyje turi viršyti 500. Tai 95 % patikimumo lygyje duoda < 10 % paklaidą.

Fitoplanktono gausumas (tūkst. vnt./l) skaičiuojamas vienetų skaičiais vandens litre pagal formulę:

$$Gausumas = X \frac{Ad}{av}$$

Gausumas – gausumas tūkstančiais vienetų litre (tūkst. vnt./l);

X – vidutinis suskaičiuotų vienetų kiekis tyrimo laukuose;

A – sedimentacinės kameros plotas;
 α – peržiūrėtų laukų ir transektų plotas;
 v – nusodinto mėginio tūris (ml);
 d – skiedimo faktorius.

Biomasė (mg/l) apskaičiuojama naudojant formulę:

$$\text{Biomasė} = \text{gausumas} \times \text{ląstelės tūris } (\mu\text{m}^3) \times 0,000001$$

Ląstelės tūris – vidutinis ląstelės tūris (μm^3) gaunamas iš PEG BIOVOL dokumento.

2.4. Statistika ir analizė

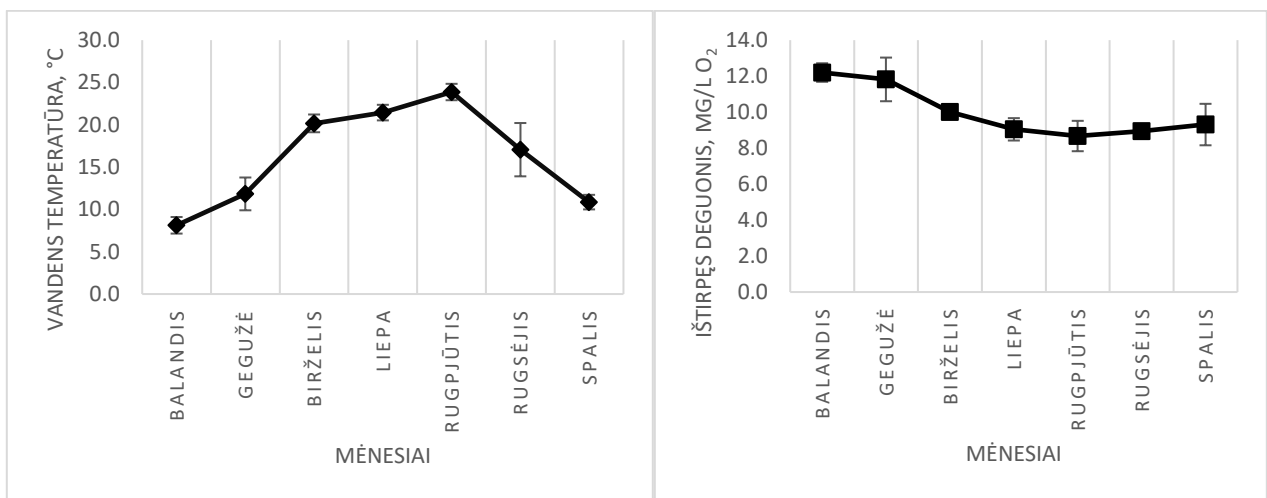
Duomenų analizei atlikti buvo naudojami MS Excel (Microsoft, 2024) ir, pagal R kalbos principą esančią, Rstudio (versija R-4.3.3) (RStudio Team, 2023) statistinės programos. Duomenys analizuojami apskaičiuojant rodiklių sumas, vidurkius ir standartinius nuokrypius. Vienalytės visumos aproksimacijos ir projekcijos (angl. *Uniform Manifold Approximation and Projection (UMAP)*) analizė taikyta lyginant temperatūrinius pokyčius tarp tirtų ežerų. Vienpusė dispersinė analizė (ANOVA) buvo naudojama analizuojant rūšių skaičių ežeruose. Analizės rezultatai pateikiami naudojant stačiakampę diagramą (angl. *box plot*). Pagrindinių komponentų analizė (angl. *principal component analysis (PCA)*) naudota lyginant skirtingų tirtų rodiklių vidurkių koreliacijas. Daugiafaktorinė analizė (angl. *Multiple Factor Analysis (MFA)*) naudota lyginant ežerus pagal ekologinę būklę, o skirtumus tarp mėnesių pagal vandens temperatūrą.

3. REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

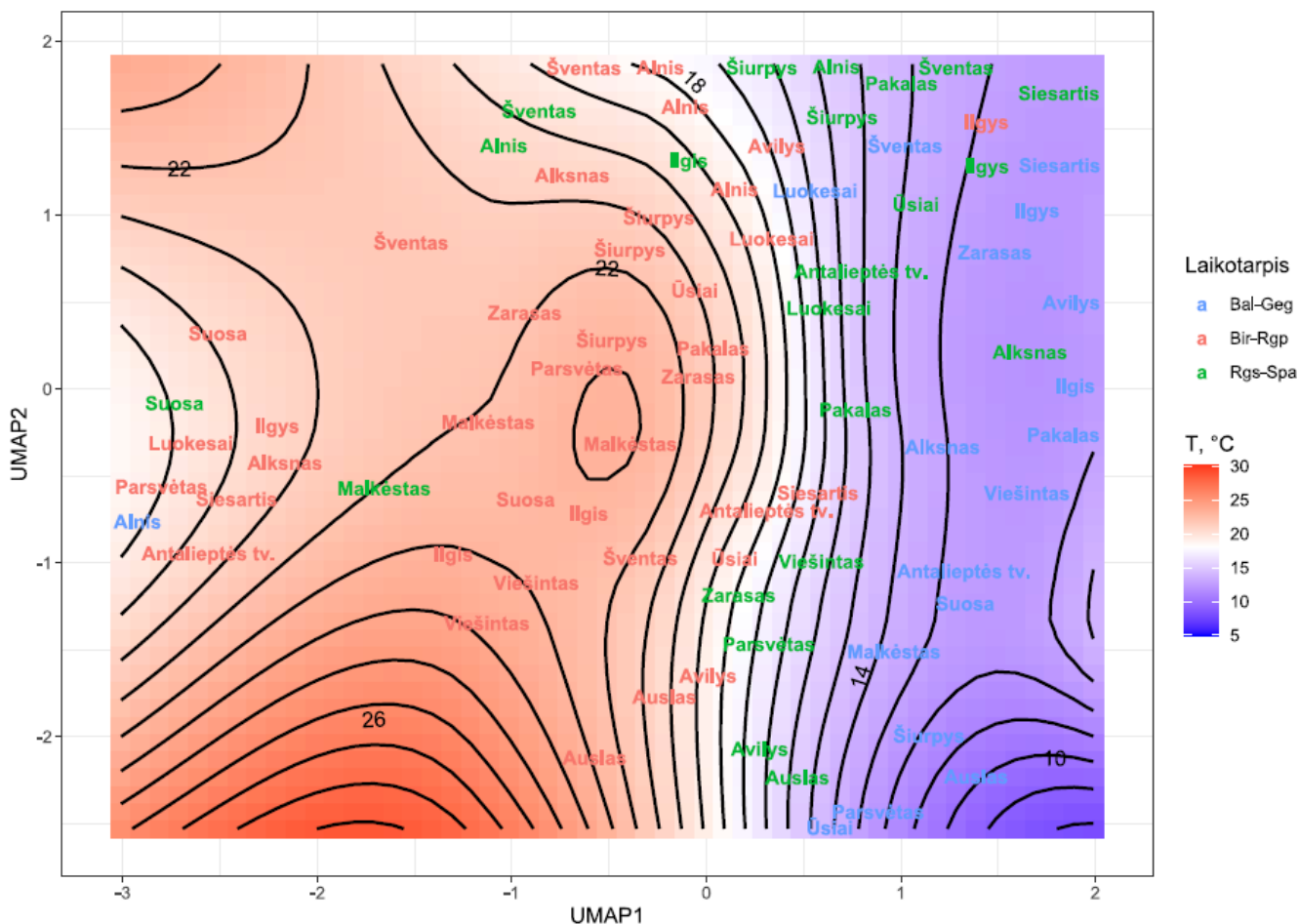
3.1. Tirtų ežerų hidrocheminės-hidrofizinės ir hidrobiologinės savybės

Hidrofiziniai, cheminiai ir biologiniai parametrai (vandens temperatūra, ištirpęs deguonis, bendras azotas ir fosforas, chlorofilas a) buvo pagrindiniai rodikliai šiame tyrime. Šių parametru pokyčiai kito priklausomai nuo mėnesio ir tarpusavio sąveikos.

Temperatūra – vienas pagrindinių veiksnių padedantis atskirti sezoniškumo pokyčius (5 pav.). Žemiausia vidutinė vandens temperatūra ($8,1 \pm 0,98$ °C) buvo užfiksuota balandžio mėnesį. Taip pat vasaros sezonu (birželio – rugpjūčio mėnesiais) išmatuota vidutinė aukščiausia vandens temperatūra, kuri varijavo nuo $20,2 \pm 1,05$ °C iki $23,9 \pm 0,97$ °C. Dideli temperatūrų šuoliai dažniausiai fiksuojami mažose ir sekliose ežeruose, o dideliuose ir giliuose ežeruose temperatūrų šuoliai keičiantis sezonams yra mažausi (Tell et al., 2011). Ištirpusio deguonies koncentracijos vidutinės vertės keičiantis sezonams ir vandens temperatūrai keitėsi atitinkamai. Šalčiausią balandžio mėnesį vidutinė ištirpusio O₂ koncentracija buvo aukščiausia, t. y. $12,2 \pm 0,51$ mg/l O₂, o mažiausia vidutinė koncentracija užfiksuota rugpjūčio mėnesį – $8,67 \pm 0,84$ mg/l O₂. Lyginant ežerus tarpusavyje per sezoniškumo prizmę, yra pastebima apie 18 °C riba, kuri atskiria ežerų sezoninius temperatūrų pokyčius tarp sezonų – pavasarį nuo vasaros (6 pav.).

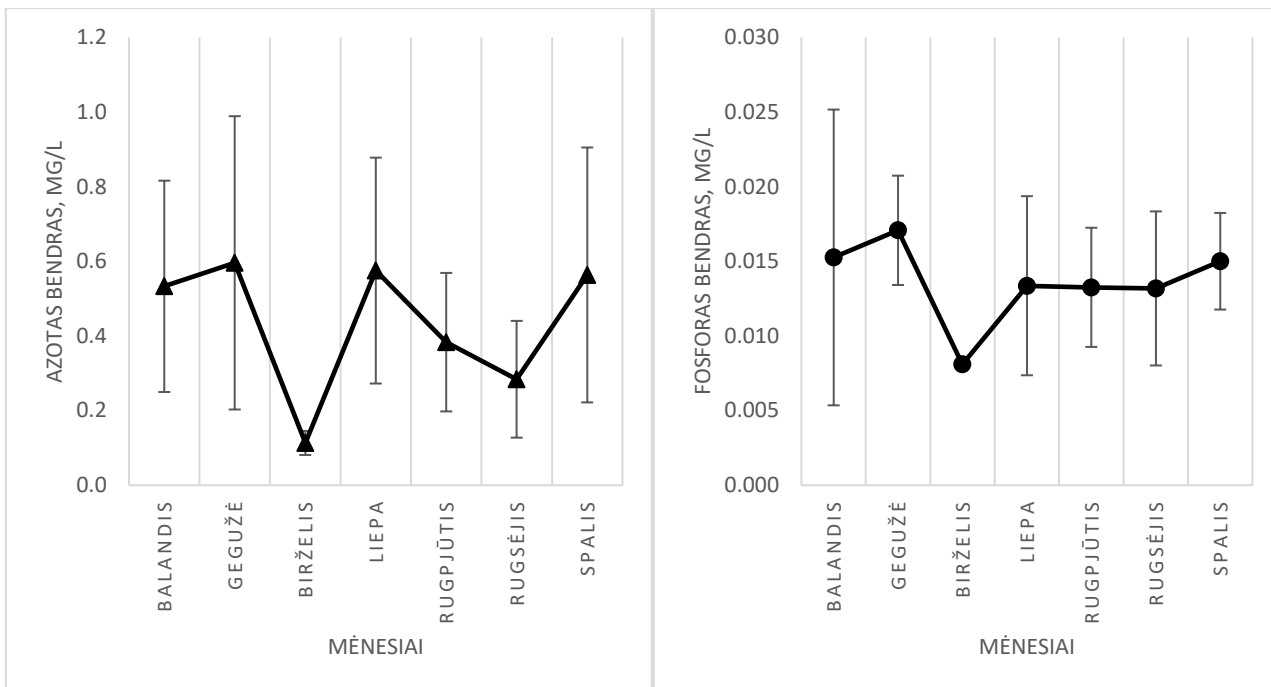


5 pav. Vidutinė vandens temperatūra ir vidutinės vandenyje ištirpusio deguonies koncentracijos tirtuose Utenos regiono ežeruose.

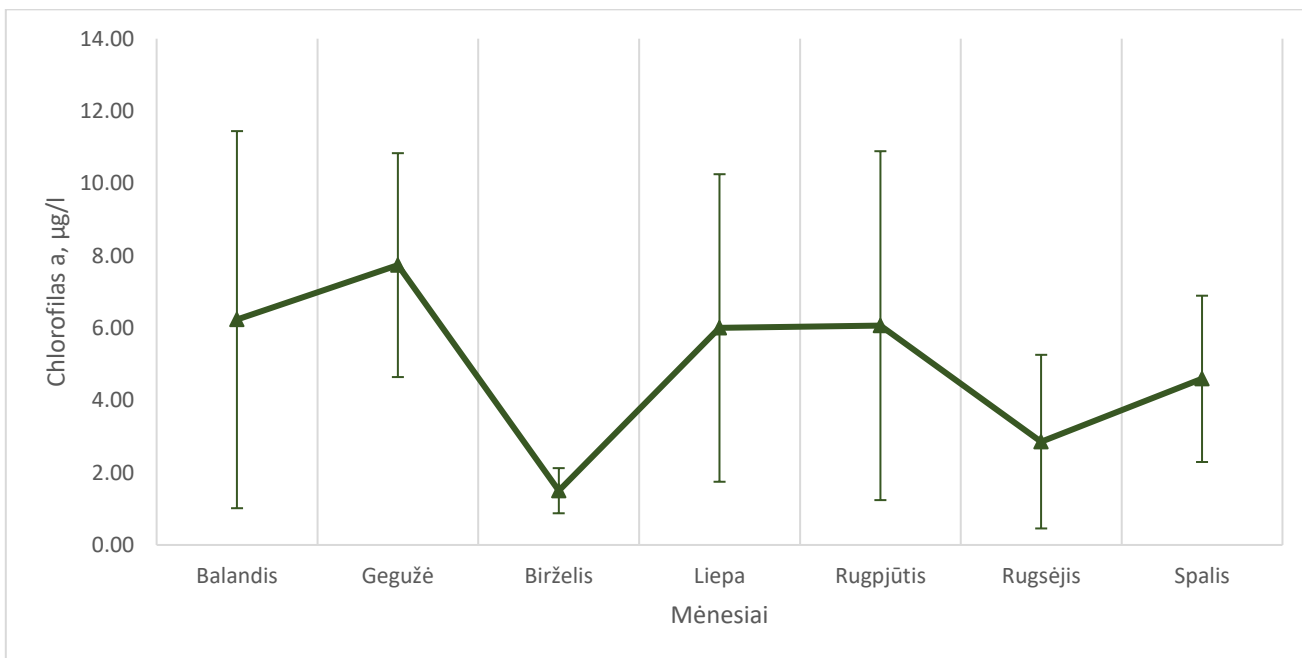


6 pav. UMAP analizės grafikas vaizduojantis didžiausius sezoninius ir temperatūrinius skirtumus tarp tirtų ežerų.

Tirti hidrocheminiai vandens parametrai yra svarbūs norint įvertinti vandens ekologinę būklę (7 pav.). Vidutinės bendro fosforo (P) ir bendro azoto (N) koncentracijos tirtuose ežeruose birželio mėnesį buvo mažiausios, nes ėminiai buvo paimti tik iš trijų ežerų: Šiurpio, Alnio ir Švento. Bendro fosforo didžiausia koncentracija fiksuota gegužės mėnesį – $0,017 \pm 0,004$ mg/l, o kitais mėnesiais koncentracija neviršijo $0,015 \pm 0,010$ mg/l balandžio mėnesio ribos. Azoto koncentracija nežymiai padidėja gegužės, liepos ir spalio mėnesiais, atitinkamai $0,57 \pm 0,39$ mg/l, $0,58 \pm 0,30$ mg/l, $0,56 \pm 0,34$ mg/l. Azoto ir fosforo rodikliai, vertinant ežerų ekologinės būklę pagal fizinių-cheminių kokybės elementų rodiklių verčių kriterijus, yra priskiriami labai geros ekologinės būklės klasei (LR Aplinkos ministerija, 2007).



7 pav. Vidutinēs bendrojo azoto ir bendrojo fosforo koncentrācijas tirtuose Utenos reģiona ežeros.



8 pav. Vidutinēs chlorofila a koncentrācijas tirtuose Utenos reģiona ežeros.

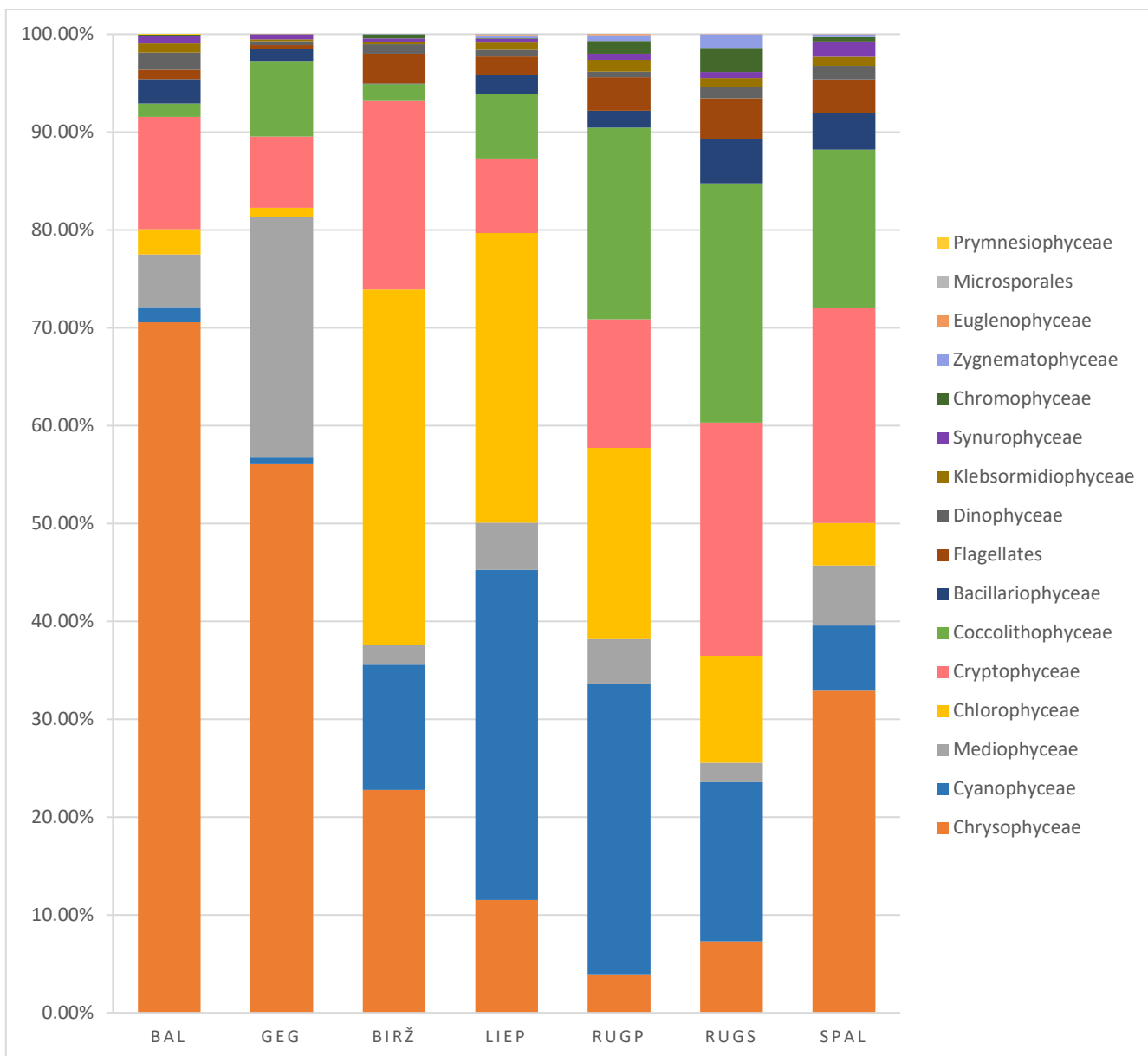
Chlorofila a koncentrācijas birželio mēnesī buvo mažiausias, nes buvo imti tik trys ģimīnī (8 pav.). Mažiausias chlorofila a kiekis ($2,86 \pm 2,40 \mu\text{g/l}$) użfiksuotas rugsėjo mēnesī, o didžiausia

koncentracija pamatuota gegužės mėnesį, t. y. $7,74 \pm 3,10 \mu\text{g/l}$. Chlorofilo a kiekis keičiantis sezonams keitėsi, tačiau nežymiai. Pagal vidutinę chlorofilo a koncentraciją ežerai būtų laikomi mezotrofiniais, kadangi patenka į $1,5 - 10 \text{ mg/m}^3$ ribas (LR Aplinkos ministerija, 2003). Mažesne nei $1,5 \text{ mg/m}^3$ chlorofilo a koncentracija išsiskiria birželio mėnesį matuoti ežerai – būtų priskiriami labiau oligotrofiniams ežerams nei mezotrofiniams.

Visų parametrų rezultatai kito priklausomai nuo sezoniškumo. Pavasario mėnesiais temperatūra buvo mažiausia, kiti cheminiai ir biologiniai rodikliai buvo didžiausi. Birželio mėnuo, dėl mažo ėminių skaičius gali klaidinti, tačiau vertinant bendrą ežerų būklę, galutinio rezultato tai nekeitė.

3.2. Fitoplanktono rūšinė įvairovė Utenos regiono ežeruose

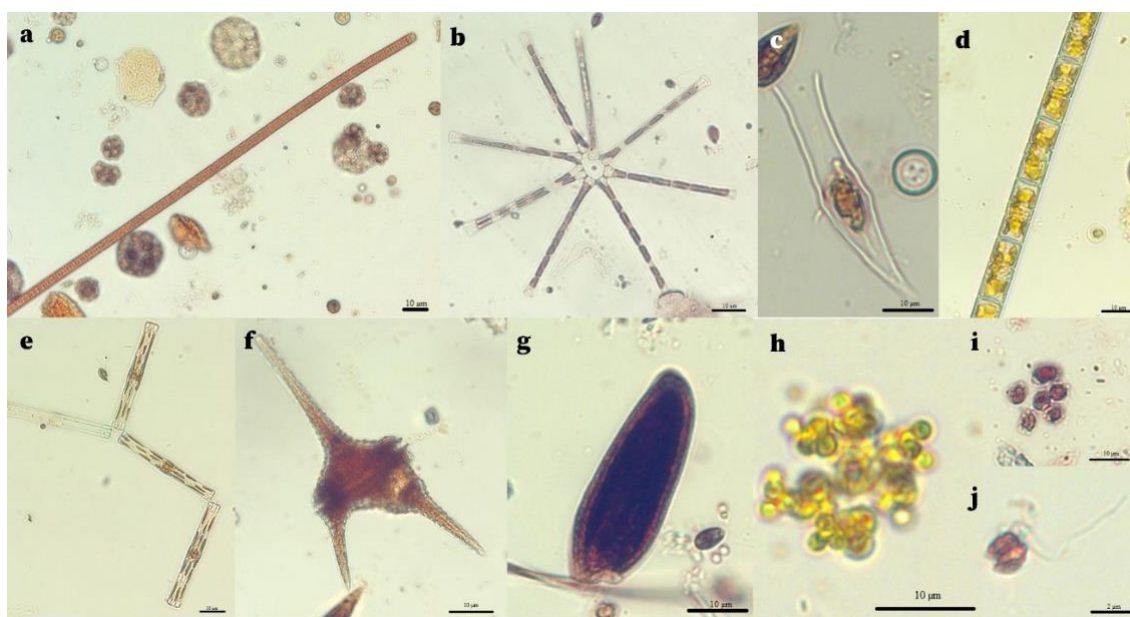
Fitoplanktono bendrijų ekologinę būklę yra svarbu analizuoti pagal sezoniškumo dinamiką (9 pav.). Didžiausias bendras gausumas tirtuose ežeruose gautas gegužės mėnesį (218739 tūkst. vnt./l). Pavasario sezonu (balandžio-gegužės mėnesiais) pagal gausumą dominavo Chrysophyceae – apie 70 %. Vasaros sezonu (birželio-rugpjūčio mėnesiais) pastebimai padidėja Cyanophyceae (apie 30 %) ir Chlorophyceae gausumai (apie 30 %). Vasarą dėl sezoninių temperatūros ir šviesos kiekio pokyčių padidėjęs melsvabakterių kiekis gali indikuoti vandenyje atsiradusius toksinus (Paerl, Millie, 1996). Bacillariophyceae kiekiai (apie 4 %) nežymiai padidėja rudens mėnesiais. Cryptophyceae gausumas varijuoja keičiantis mėnesiams, tačiau didžiausi kiekiai stebimi birželio ir rudens mėnesiais. Coccolithophyceae individų gausumas yra didžiausi rugpjūčio ir rugsėjo mėnesiais – apie 20 %. Pakilus temperatūrai melsvabakterės ir žaliadumbliai pakeičia Chrysophyceae. Rudens pradžioje *Chrysochromulina spp.* (iki 25 %) ir Zygnematophyceae (apie 1 %) kiekiai buvo didesni lyginant su kitais mėnesiais.



9 pav. Fitoplanktono visų klasių suminės gausumo dalys procentais tirtuose ežeruose pagal mėnesį.

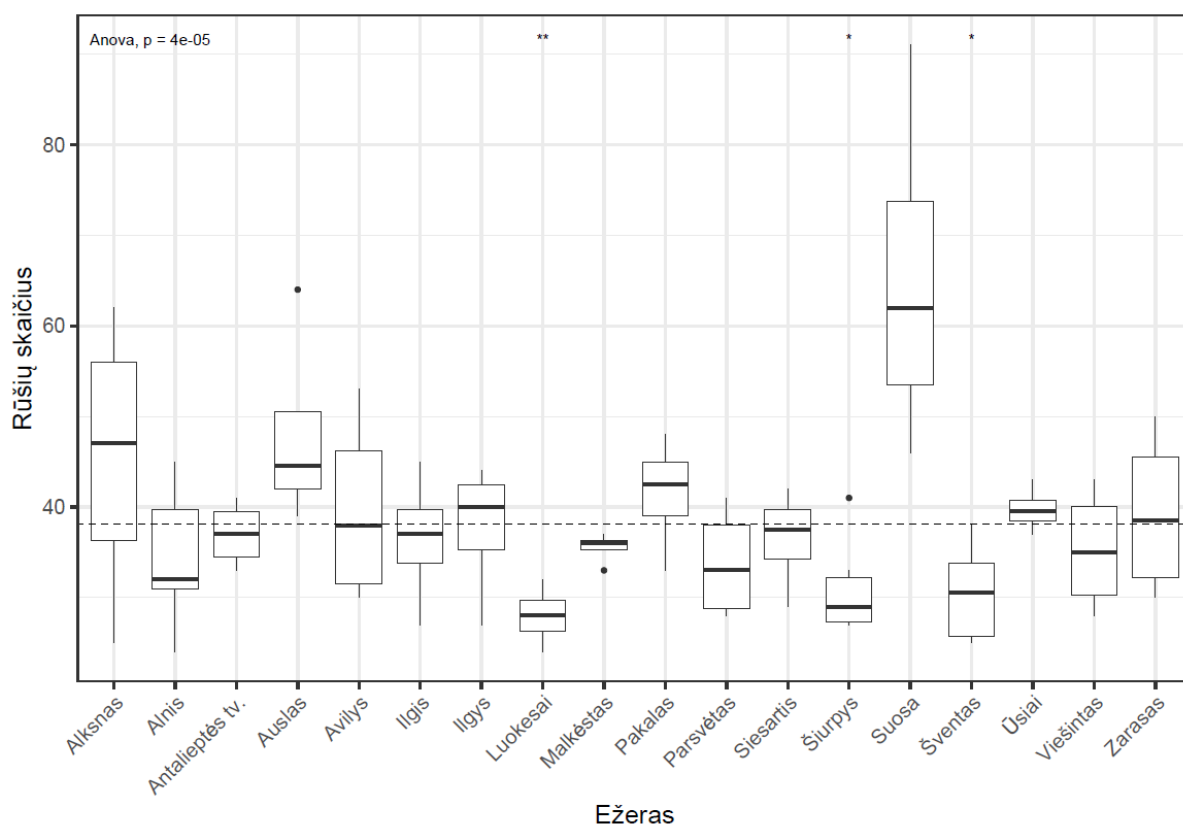
Dominuojančios rūšys pagal bendrą mėnesio biomasę skyrėsi keičiantis sezonams. Balandžio mėnesį didžiausią biomasę buvo Chrysophyceae klasės individų (1,580 mg/l), *Cryptomonas curvata* (0,794 mg/l) ir *Planktothrix rubescens* (0,546 mg/l). Šylant orams ir augant saulės aktyvumui gegužės mėnesį biomasė ežeruose buvo didžiausia. Labiausiai išsiskyrė Mediophyceae klasei priklausanti *Cyclotella* gentis (20,976 mg/l). Taip pat Chrysophyceae klasei priklausantys *Dinobryon sociale* ir *Uroglena spp.* turėjo didžiausius biomasės kiekius, atitinkamai 4,561 mg/l ir 3,452 mg/l. Birželio ir

liepos mėnesiais pradėjo dominuoti žaliadumblių rūšys. Birželio mėnesį tik Alnio, Švento ir Šiurpio Chlorococcales biomasė buvo 0,213 mg/l. Liepos mėnesį didžiausius biomasės pikus pasiekė žaliadumblis *Chlamydomonas spp.* (3,997 mg/l), Dinophyceae klasei priklausantis *Ceratium hirundinella* (2,793 mg/l) ir Mediophyceae klasės *Rhizosolenia longiseta* (1,762 mg/l). Rugsjūčio mėnesį pagal biomasę antroje ir trečioje vietoje išliko *Rhizosolenia longiseta* (2,120 mg/l) ir *Ceratium hirundinella* (1,883 mg/l), tačiau dominavusią *Chlamydomonas spp.* pakeitė Zygnematophyceae klasei priklausanti *Staurastrum* gentis – 3,002 mg/l. Rudens mėnesiai Bacillariophyceae pagal biomasę buvo dominuojanti klasė. Rugsėjo mėnesį buvo galima pastebėti išskirtinai dominuojančią *Tabellaria* gentį (1,392 mg/l), o spalio mėnesį šios klasės vienos išskirtinai dominuojančios rūšies neturėjo, tačiau galima išskirti *Synedra acus v. acus* (0,543 mg/l) ir *Asterionella formosa* (0,458 mg/l). Spalio mėnesį Mediophyceae klasės biomasė buvo maždaug 4,9 karto didesnė nei rugsėjo mėnesį. Dominuojanti rūšis buvo *Aulacoseira islandica ssp. islandica* (1,136 mg/l). Taip pat spalio mėnesį buvo pastebimai padidėjusi melsvabakterių biomasė, kurią pagrindė sudarė *Planktothrix agardhii* ir *Aphanizomenon flos-aquae*, atitinkamai 1,067 mg/l ir 0,475 mg/l.



10 pav. Fitoplanktonas per mikroskopą. a – *Planktothrix agardhii*; b – *Asterionella formosa*; c – *Dinobryon divergens*; d – *Aulacoseira ambigua*; e – *Tabellaria fenestrata*; f – *Ceratium hirundinella*; g – *Cryptomonas curvata*; h – *Chlorococcales*; i – *Uroglena spp.*; j – *Chrysochromulina spp.*

Vykstant melsvabakterių dominavimui, ypatingai didesniu trofiškumu pasižyminčiuose ežeruose, dažnai išsiskiria tokios Cyanophyceae gentys kaip *Microcystis*, *Planktothrix*, *Limnothrix*, *Anabaena* arba *Aphanizomenon* (Dokulil, Teubner, 2000). Šiame tyrime taip pat matuoti dideli *Planktothrix* ir *Aphanizomenon* genčių biomasės kiekiai. Melsvabakterių rūšies *Planktothrix rubescens* biomasė nuo visų kitų rūšių ryškiai išskyrė tuo, kad ji teikė pirmenybę žemesnei temperatūrai, t. y. iki 11 °C (Dokulil, Teubner, 2000). *Dinobryon* genties dumbliai nusako mažą ežero trofinį lygį arba yra dažniau pasitaikantis gilesniuose vandens telkiniuose (Saad et al., 2016). Taip pat *Dinobryon divergens* nėra prisitaikę augti esant mažam šviesos kiekiui, nepriklausomai nuo temperatūros, bet *Dinobryon sertularia* ir *Dinobryon sociale* gali augti esant labai silpnam apšvietimui, kai temperatūra varijuoja tarp 10 °C ir 15 °C (Wirth et al., 2019). *Cryptomonas* genties dumblių biomasės rodikliai priklauso nuo temperatūros, tai yra palankesnė žemesnė vandens temperatūra. Pavyzdžiui *Cryptomonas curvata* biomasė buvo didžiausia esant žemesnei nei 15 °C temperatūrai (Wirth et al., 2019).



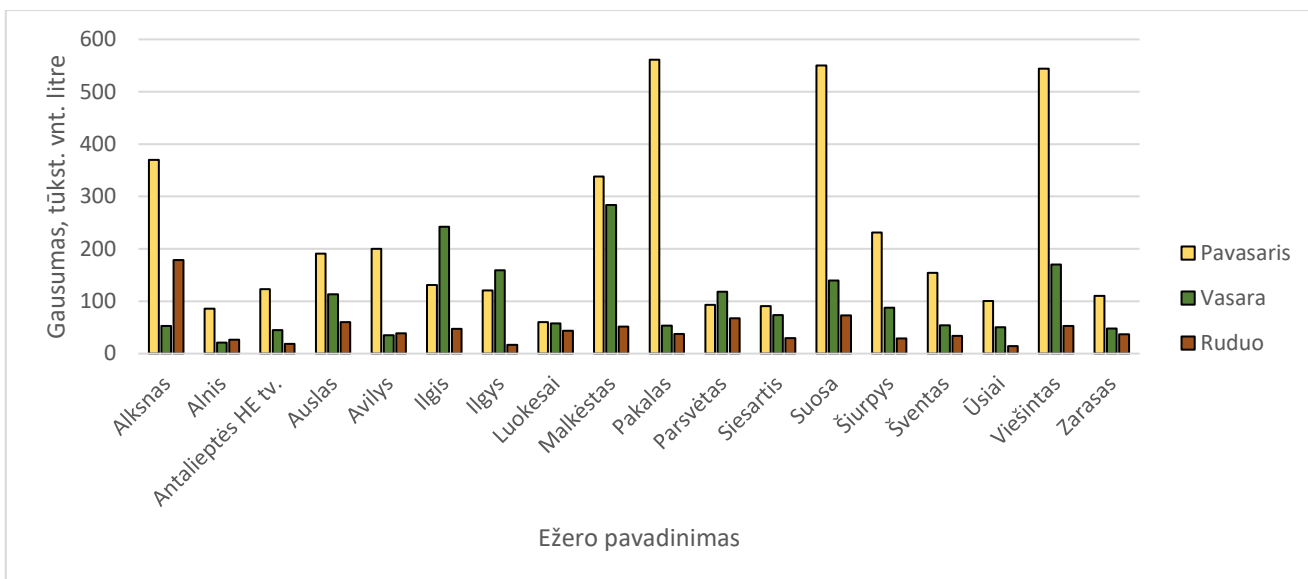
11 pav. Rūšių skaičius tirtuose Utenos regiono ežeruose. Punktyrinė linija žymi visų ežerų vidurkį. Žvaigždutės žymi patikimumą: * $p < 0,05$ ir ** $p < 0,01$.

Fitoplanktono bendrijų rūšių skaičius yra vienas iš rodiklių, kuris nurodo galimą ežero ekologinę būklę lyginant tarpusavyje tirtus ežerus Šiuo atveju rūšių skaičius taip pat skiriasi priklausomai nuo sezono. Gegužės, liepos ir rugpjūčio mėnesiais buvo užfiksuoti didžiausi skirtingų ežerų ėminiuose pasitaikiusių fitoplanktono rūšių kiekiai, atitinkamai 152, 180 ir 130 rūšys. Atsižvelgiant į rūšių skaičiaus skirtumus tarp ežerų, mažiausias rūšių skaičius užfiksuotas Šiurpio, Švento ir giliausiame natūraliame Luokeso ežeruose, kurie reikšmingai skiriasi nuo kitų ežerų. Didžiausias rūšių skaičius gautas negiliume Suosos ežere. Didžioji dalis ežerų rūšių skaičius yra ties visų ežerų vidurkių. Matomos išskirtys Auslo, Malkėsto ir Šiurpio ežeruose, kurie tuo pačiu metu nėra lygūs su visų ežerų vidurkiu.

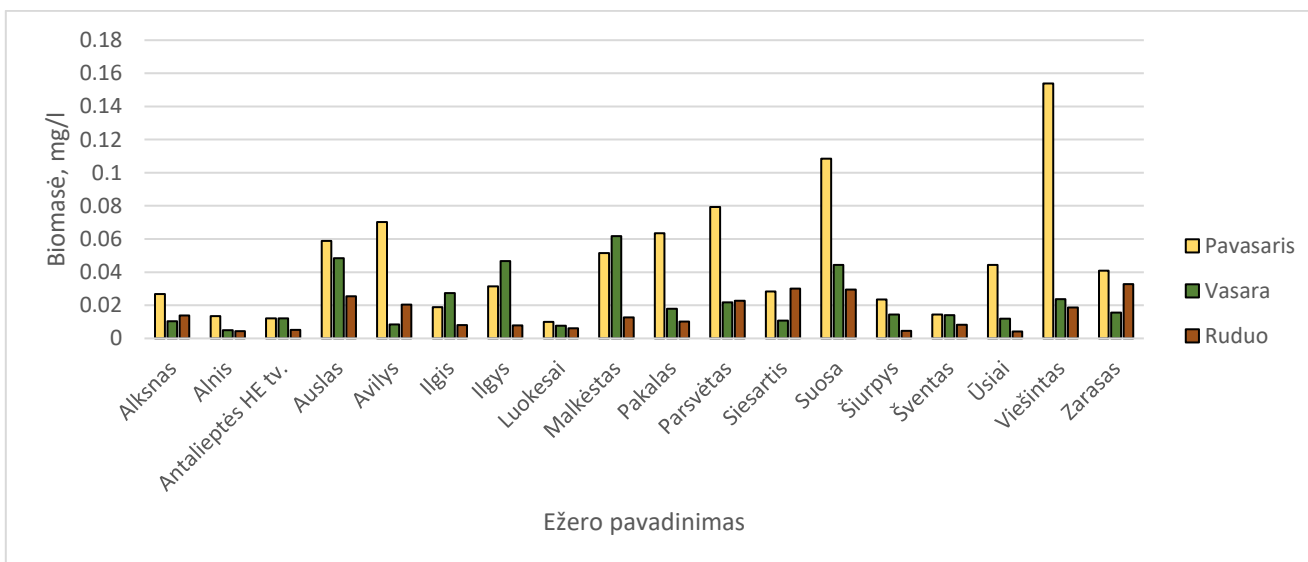
Pavasario mėnesiai pasižymėjo fitoplanktono rūšių gausumu, biomase ir rūšių skaičiumi. Labiausiai išskyrė gegužės mėnuo. Mažiausi gausumo ir biomasės kiekiai fiksuoti balandžio, birželio ir rudens mėnesiais.

3.3. Ežerų fitoplanktono bendrijų ekologinė būklė

Fitoplanktono vidutinės gausumo ir biomasės vertės ežeruose paskaičiuotos pagal tris pagrindinius sezonus: pavasario, vasaros ir rudens (12 ir 13 pav.). Didžiausi gausumai ežeruose fiksuoti pavasario laikotarpiu. Viešinto ežere pavasario mėnesiais vidutiniai gausumo ir biomasės rodikliai buvo aukščiausi. Pakalo ir Suosos ežerai buvo sekantys turintys didžiausias vidutinės gausumo ir biomasės vertes balandžio-gegužės mėnesiais. Kitu atveju vasaros laikotarpis rodo sumažėjusias ar net padidėjusias fitoplanktono kiekių vertes. Dideli fitoplanktono biomasės rodiklis pavasario mėnesiais dažniausiai gaunamas eutrofiniuose ežeruose, bet oligotrofiniuose ir mezotrofiniuose ežeruose biomasės pokyčiai keičiantis mėnesiams yra tolygūs su keliais fitoplanktono biomasės pikais (Hepperle, Krienitz, 2001). Vienintelis nenatūralus Antalieptės HE tvenkinys neišsiskyrė savo gausumu ir biomase, dėl galimais didelio 46 metrų vandens telkinio gylio.



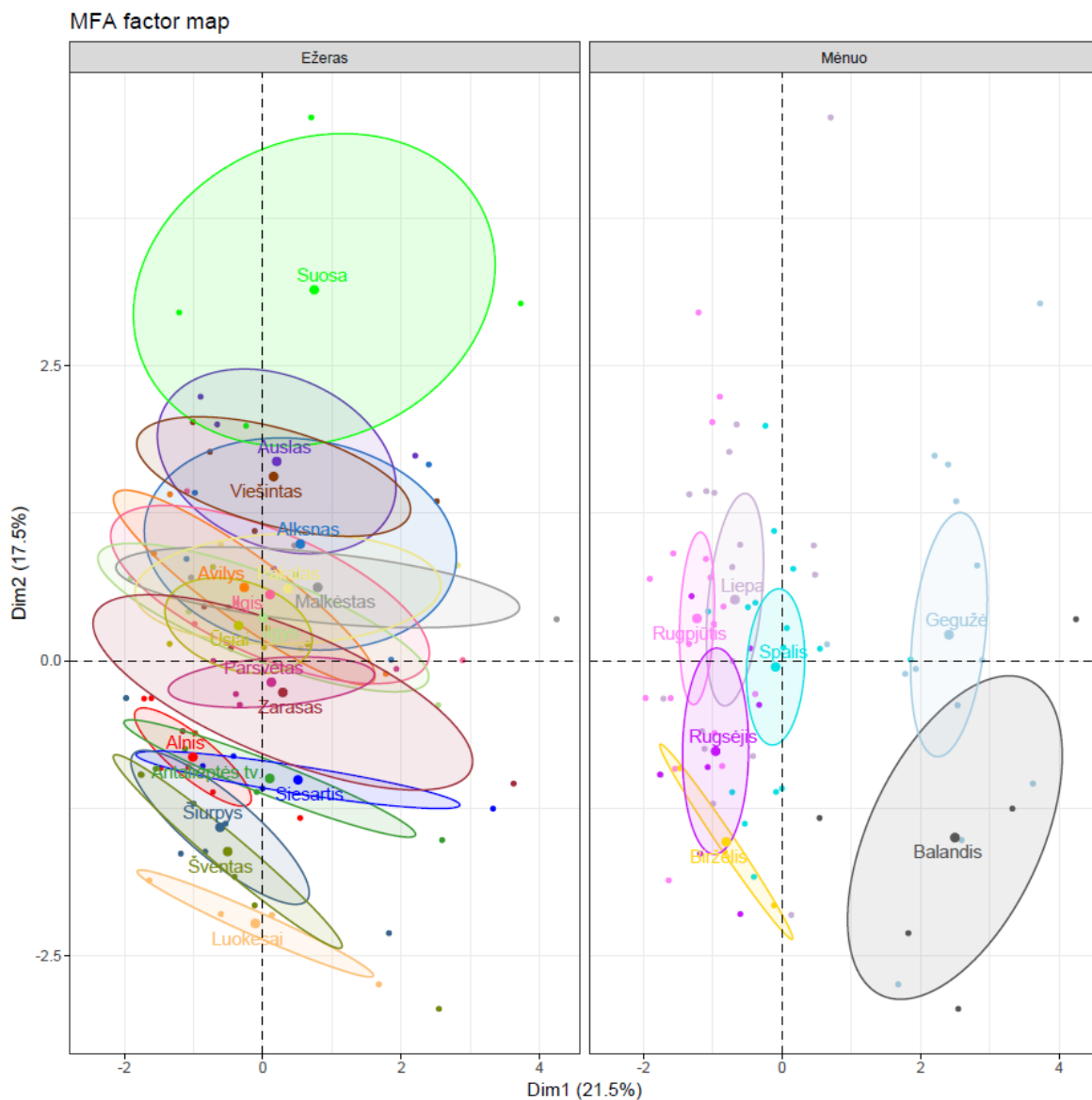
12 pav. Tirtų Utenos regiono ežerų vidutinės gausumo (tūkst. vnt. litre) vertės pagal metų laikus.



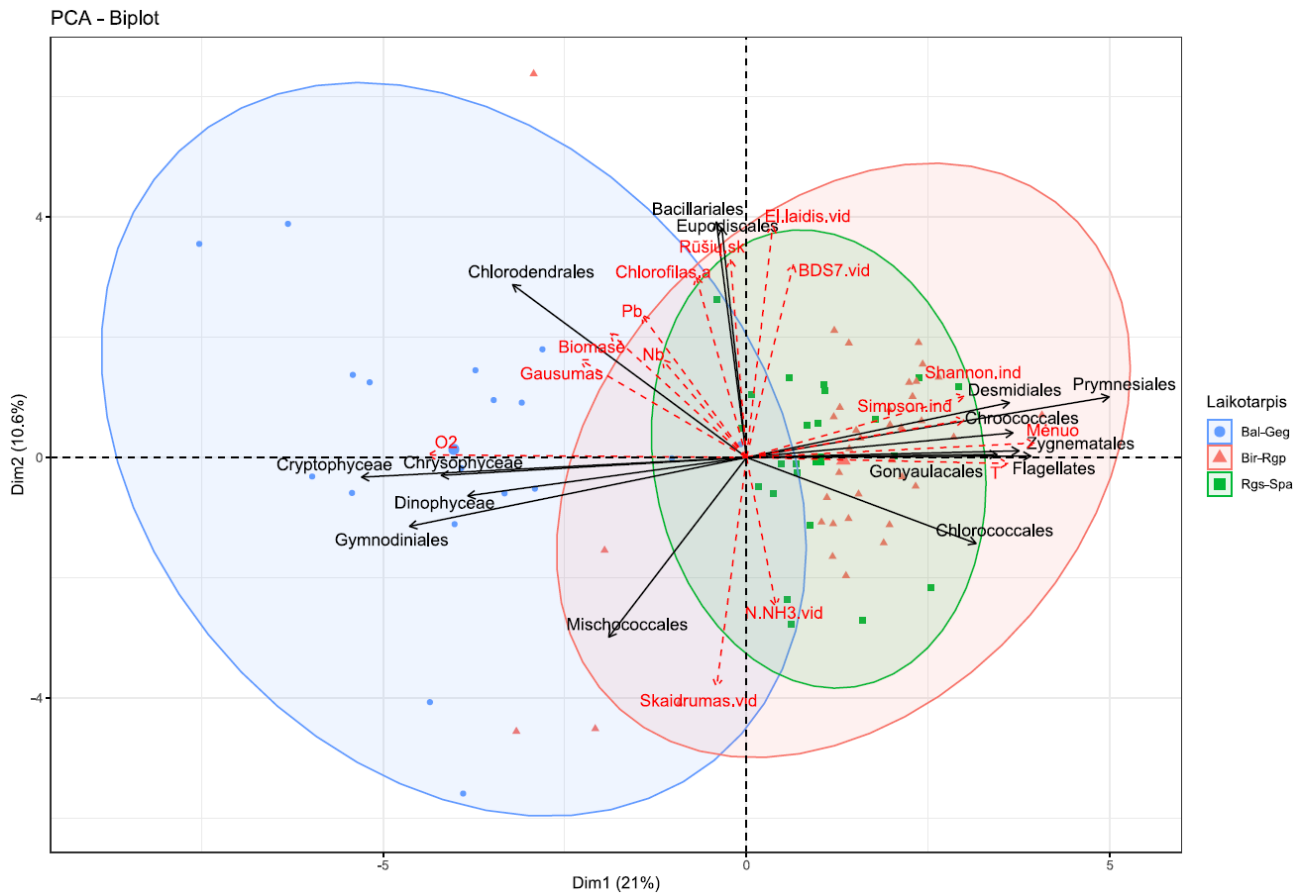
13 pav. Tirtų Utenos regiono ežerų vidutinės biomasės (mg/l) vertės pagal metų laikus.

Daugiafaktorinė analizė buvo atliekama vertinant ežerų ekologinę būklę ir temperatūros pokyčius (14 pav.). Prasčiausios ekologinės būklės iš tirtų ežerų yra Suosos ežeras. Švariausi ežerai yra Šiurpys, Šventas, Luokesai. Šie rezultatai atitinka fitoplanktono rūšių skaičiaus pokyčius pagal ežerą, tai yra reikšmingai nuo kitų ežerų besiskiriantys vandens telkiniai pagal šią analizę buvo geriausios ekologinės būklės. Sezonas ir mėnuo turi didelę įtaką ežero fitoplanktono bendriųjų ekologinei būklei, kadangi pasikeičia vandens temperatūra, fosforo ir azoto koncentracijos dėl

natūralių ar antropogeninių aplinkos veiksnių. Taip pat įtaką daro vandens telkiniui atitenkantis šviesos kiekis. Balandžio ir gegužės mėnesiai išsiskiria kaip šalčiausi mėnesiai dėl to atsiranda didelė atskirtis nuo likusių mėnesių.



14 pav. Daugiafaktorinė ežerų ir mėnesių analizė pagal ekologinę būklę ir temperatūros pokyčius.



15 pav. Pagrindinių komponentių analizė. Pb – bendras fosforas; Nb – bendras azotas; BDS7 – biocheminis deguonies suvartojimas per 7 paras; N.NH3 – amoninis azotas; O2 – vandenyje ištirpęs deguonis; T – temperatūra; El.laidis.vid. – vidutinis elektrinis laidis.

Pagrindinių komponentių analizė sudaryta naudojant skirtingus rodiklius: fitoplanktono gausumą, biomasę ir rūšių skaičių, chlorofilą a, vandenyje ištirpusio deguonies, bendro azoto, bendro fosforo koncentracijas, vandens temperatūrą ir pagrindines fitoplanktono grupes (15 pav.). Analizuojant grafiką kreipiamas dėmesys į teigiamas ir neigiamas koreliacijas tarp komponentų. Taip pat analizė paremta rodiklių koreliacija pagal ekologinę būklę ir sezoniškumą. Pastebima neigiama koreliacija tarp vandens temperatūros ir ištirpusio deguonies koncentracijos vidutinių verčių. Didėjant vandens temperatūrai atitinkamai mažėja ištirpusio O₂ kiekis ežero vandenyje, taip pakeisdamas aplinkos sąlygas. Šios koreliacijos labiausiai priklauso nuo laikotarpio arba vandens temperatūros. Dėl to galima pastebėti laikotarpių persidengimą – vasaros ir rudens laikotarpiai yra panašioje plokštumoje, tuo metu pavasario sezonas išsiskiria. Fitoplanktono rūšių pasiskirstymas bei priklausomybės viena nuo kitos atitinka metų laikų kaitą. Balandžio-gegužės mėnesiais yra

fiksuojamasis padidėjęs Chrysophyceae, Cryptophyceae ir Dinophyceae gausumas, tačiau kylant vandens temperatūrai ir mažėjant ištirpusio O₂ koncentracijai vandenyje jas pakeičia melsvabakterės ir žaliadumbliai. Tai įrodo nustatytą teigiamą koreliaciją tarp pagrindinių fitoplanktono ekologinių grupių: Cryptophyceae, Chrysophyceae ir Dinophyceae. Su šiomis grupėmis neigiamai koreliuoja arba išvis nekoreliuoja žaliadumbliams ir melsvabakterėms priskiriamos fitoplanktono grupės.

Ekologinė būklė nusako rūšių skaičius, chlorofilo a, Bacillariophyceae ir Mediophyceae klasių rūšių didėjimą, kurio metu vandens skaidrumas mažėja. Pirmi keturi paminėti parametrai tarpusavyje teigiamai stipriai ar vidutiniškai stipriai koreliuoja. Gausumas su biomase, kaip ir bendras azotas su fosforu, tiesiogiai koreliuoja, tačiau šie parametrai nėra priklausomi tik nuo laikotarpio, kadangi įtakos turi ir mažėjantis arba didėjantis tam tikrų žaliadumplių kiekis vandenyje. Chlorofilo a padidėjusios koncentracijos gali prognozuoti padidėjusį fitoplanktono rūšių skaičių ežere.

Pagal Aplinkos apsaugos agentūros (2022) pateiktus 2022 metų EFPI indeksų metinius duomenis fitoplanktono bendrijų ekologinė būklė Suosos ežere yra priskiriama vidutinei klasei, tuo tarpu šiame tyrime šis ežeras yra blogiausios būklės. Didesnė dalis tirtų ežerų pagal EFPI yra priskiriamos geros ekologinės būklės klasei, pavyzdžiui, Zarasas, Ūsiai, Auslas, Ilgis ir Parsvėtas. Kaip geriausios fitoplanktono bendrijų ekologinės būklės ežerai: Luokesai, Šiurpys ir Šventas, EFPI indeksų lentelėje atitinka labai geros ekologinės būklės klasę. Nors pagal EFPI jie priskiriami labai geros ekologinės būklės klasei, tokie ežerai kaip Alksnas, Avilys, Siesartis ir Antalieptės HE tvenkinys šiame tyrime neišsiskyrė savo fitoplanktono bendrijų ekologine būkle.

3.4. Rekomendacijos

Atliekant šį darbą buvo pastebimos problemos, kurios gali būti išspręstos laikantis šių rekomendacijų:

1. Atliekant ežerų vandens tyrimus reikėtų atsižvelgti į didesnę mėginių ėmimo dažnumą, kuris suteiktų didesnę rezultatų patikimumą. Tam reikėtų didesnių žmogiškųjų resursų: pritraukti jaunų specialistų, juos sudominti vandens tyrimais.

2. Atlikti biodinaminės sąveikos vertinimą, bendrijų struktūros analizę ir, naudojant modeliavimo programas, prognozuoti ateities scenarijus. Duomenys leistų geriau įvertinti

susidariusias sąlygas Lietuvos ežeruose, tuo pačiu atsirastų galimybės sumažinti ekstremalių sąlygų atsiradimo rizikas.

3. Švietimas ir duomenų viešinimas gali padėti paskatinti veiksmingiau priimti tinkamas vandenų valdymo priemones. Į ežerų vandens valdymo priemonių kūrimą turėtų būti įtraukiami ne tik įstatymų leidėjai ar dėl to atsakingi asmenys, bet ir visuomenė bei kiti suinteresuoti asmenys.

4. Pagal gautus duomenis, norint vertinti ežero ekologinę būklę, tai geriausia yra daryti analizuojant vasaros metu gautus duomenis. Vasaros laikotarpiu duomenys nebuvo minimalios ar maksimalios vertės lyginant tarp sezonų, todėl patikimumas ilgalaikėje perspektyvoje būtų didesnis.

IŠVADOS

1. Dviejų iš penkių ežerų hidrochemines-hidrofizines ir hidrobiologines savybes nustatančių parametų didžiausios vertės nustatytos gegužės mėnesį: bendro fosforo ($0,017 \pm 0,004$ mg/l) ir chlorofilo a ($7,74 \pm 3,10$ µg/l). Žemiausia vidutinė vandens temperatūra ($8,1$ °C) buvo užfiksuota balandžio mėnesį, tuo tarpu vidutinė ištirpusio O₂ koncentracija buvo didžiausia – $12,2 \pm 0,51$ mg/l O₂. Aukščiausia vidutinė vandens temperatūra buvo vasaros sezonu – varijavo nuo $20,2$ °C iki $23,9$ °C, kai bendro azoto koncentracija nežymiai padidėja liepos mėnesį – $0,58 \pm 0,30$ mg/l.

2. Fitoplanktono rūšinė įvairovė priklauso nuo laikotarpio. Pavasario sezonu nepriklausomai nuo ežero bendras fitoplanktono gausumai ir biomasės buvo didžiausios. Pavasario mėnesiais gausiausia buvo Chrysophyceae (> 70 %), vasaros mėnesiais pagal gausumą pradeda dominuoti žaliadumbliai ir melsvabakterės. Rudens mėnesiais *Chrysochromulina spp.* ir Zygnematophyceae kiekiai buvo didesni lyginant su kitais mėnesiais.

3. Iš ištirtų ežerų prasčiausia fitoplanktono bendrijų ekologinė būklė buvo Suosos ežere, o geriausia – Luokesų, Šiurpio ir Švento ežeruose. Daugiausią įtakos ežerų ekologiškai būklei darė sezoniniai ir temperatūriniai pokyčiai, kadangi pagal laikotarpį išskirtiniai buvo pavasario mėnesiai. Nustatyta teigiama koreliacija tarp pagrindinių fitoplanktono ekologinių grupių: Cryptophyceae, Chrysophyceae ir Dinophyceae. Su šiomis grupėmis neigiamai koreliuoja arba išvis nekoreliuoja žaliadumbliams ir melsvabakterėms priskiriamos fitoplanktono grupės.

4. Rekomendacijos:

- Atliekant ežerų vandens tyrimus reikėtų atsižvelgti į dažnesnį mėginių ėmimo dažnumą, kuris suteiktų didesnę rezultatų patikimumą.
- Atlikti biodinaminės sąveikos vertinimą, bendrijų struktūros analizę ir naudojant modeliavimo programas, prognozuoti ateities scenarijus.
- Švietimas ir duomenų viešinimas gali padėti paskatinti veiksmingiau priimti tinkamas vandenų valdymo priemones.
- Norint vertinti ežero ekologinę būklę, tai geriausia yra daryti analizuojant vasaros metu gautus duomenis.

PADĖKA

Darbo vadovui doc. dr. Algirdui Kaupiniui už kantrybę ir pagalbą.

Aplinkos apsaugos agentūrai už suteiktą galimybę atlikti tyrimą.

Aplinkos apsaugos agentūros Aplinkos tyrimų departamento Biologinių tyrimų skyriaus kolegėms už pagalbą ir suteiktas žinias.

Vilniaus universiteto Šiaulių akademijai už suteiktą galimybę savo magistrantūros studijų baigiamojo tiriamojo darbo rezultatus pristatyti 2024 metais gegužės 9 dieną Vilniaus universiteto Šiaulių akademijos organizuotoje jaunųjų tyrėjų tarptautinėje mokslinėje konferencijoje „Jaunasis tyrėjas išmaniajai visuomenei“ (1 priedas).

SANTRAUKA

Darbo tikslas buvo įvertinti 2022 metais tirtų Utenos regiono ežerų fitoplanktono bendrijų ekologinę būklę. Šiame darbe buvo tirti Utenos regiono ežerų fitoplanktono mėginiai, apskaičiuota biomasė, gausumas ir analizuojama bendrijų ekologinė būklė. Ypatingas dėmesys skirtas rūšinei įvairovei ir jos sezoninei dinamikai bei koreliacijai su kitais ežero vandens parametrais kaip chlorofilu a, temperatūra, bendru azotu, fosforu ir kitais. Ėminiai buvo imami 2022 metais balandžio-spalio mėnesiais Utenos regione. Taikant atvirkštinę mikroskopiją (Utermöhl'o būdą), iš viso buvo išanalizuoti 78 fitoplanktono mėginiai.

Dviejų iš penkių ežerų hidrocheminės-hidrofizinės ir hidrobiologinės savybės nustatančių parametrų didžiausios vertės nustatytos gegužės mėnesį: bendro fosforo ir chlorofilo a. Žemiausia vidutinė vandens temperatūra (8,1 °C) buvo užfiksuota balandžio mėnesį, tuo tarpu vidutinė ištirpusio O₂ koncentracija buvo didžiausia – 12,2 mg/l O₂. Aukščiausia vidutinė vandens temperatūra buvo vasaros sezonu – varijavo nuo 20,2 iki 23,9 °C, kai bendro azoto koncentracija nežymiai padidėja liepos mėnesį – 0,58 mg/l.

Tyrimo metu buvo nustatyta, kad pavasario sezonu bendras fitoplanktono gausumai ir biomasės buvo didžiausios. Pavasario mėnesiais gausiausia buvo Chrysophyceae (apie 70%), vasaros sezonu pagal gausumą pradeda dominuoti žaliadumbliai ir melsvabakterės. Rudens mėnesiais *Chrysochromulina* genties ir Zygnematophyceae dumblių kiekiai buvo didesni.

Buvo analizuojamos tirtų ežerų vandens parametrų ir fitoplanktono bendrijų koreliacijos tarpusavyje. Iš ištirtų ežerų prasčiausia fitoplanktono bendrijų ekologinė būklė buvo Suosos ežere, o geriausios – Luokesų, Šiurpio ir Švento ežeruose. Daugiausia įtakos ežerų ekologiškai būklei darė sezoniniai ir temperatūriniai pokyčiai. Nustatyta teigiama koreliacija tarp pagrindinių fitoplanktono ekologinių grupių: Cryptophyceae, Chrysophyceae ir Dinophyceae. Su šiomis grupėmis neigiamai koreliuoja arba išvis nekoreliuoja žaliadumbliams ir melsvabakterėms priskiriamos fitoplanktono grupės.

Tyrimo metu gautos žinios, praktika ir rezultatai leido sudaryti rekomendacijas. Buvo siūloma atliekant ežerų vandens tyrimus reikėtų atsižvelgti į mėginių ėmimų dažnumą, kuris suteiktų didesnį rezultatų patikimumą. Taip atliekant biodinaminės sąveikos vertinimą, bendrijų struktūros analizę ir naudojant modeliavimo programas, būtų galima prognozuoti ateities scenarijus.

SUMMURY

The aim of the study was to assess the ecological status of phytoplankton communities in the lakes of the Utena region studied in 2022. In this work, phytoplankton samples from lakes in the Utena region were analysed, biomass and abundance were calculated and the ecological status of the communities was analysed. Particular attention was paid to species diversity and its seasonal dynamics and correlation with other lake water parameters such as chlorophyll-a, temperature, total nitrogen, phosphorus and others. The sampling was carried out in 2022 in April-October in the Utena region. A total of 78 phytoplankton samples were analysed using inverse microscopy (Utermöhl technique).

Two of the five lakes had the highest values for two parameters determining the hydrochemical-hydrophysical and hydrobiological characteristics in May: total phosphorus and chlorophyll a. The lowest mean water temperature (8.1 °C) was recorded in April, while the mean dissolved O₂ concentration was the highest at 12.2 mg/l O₂. The highest average water temperature was in the summer season, ranging from 20.2 to 23.9 °C, with a slight increase in total nitrogen concentration in July of 0.58 mg/l.

The study found that total phytoplankton abundances and biomasses were highest during the spring season. Chrysophyceae were the most abundant in the spring months (about 70%), while in the summer season, green algae and blue-green algae start to dominate in terms of abundance. In the autumn months, algae of the genus *Chrysochromulina* and *Zygnematophyceae* were more abundant.

Correlations between water parameters and phytoplankton communities in the lakes studied were analysed. Among the lakes studied, the ecological status of phytoplankton communities was the worst in Lake Suosa, while the best in Lakes Luokesai, Šiurpys and Šventas. Seasonal and temperature changes had the greatest impact on the ecological status of the lakes. A positive correlation was found between the main ecological groups of phytoplankton: Cryptophyceae, Chrysophyceae and Dinophyceae. The phytoplankton groups of green algae and blue-green algae are negatively correlated or not correlated at all with these groups.

The knowledge, practice and results of the study have led to recommendations. It was suggested that the frequency of sampling should be taken into account in lake water surveys, which would give greater confidence in the results. This would allow future scenarios to be predicted through the assessment of biodynamic interactions, analysis of community structure and the use of modelling programmes.

LITERATŪRA

Anneville, O., Gammeter, S., Straile, D. (2005). Phosphorus decrease and climate variability: mediators of synchrony in phytoplankton changes among European peri-alpine lakes. *Freshwater Biology*, 50(10), 1731–1746. DOI 10.1111/j.1365-2427.2005.01429.x

Aplinkos apsaugos agentūra (AAA) (2016 a). Fitobentosos ir makrofitų tyrimų paviršiniuose vandens telkiniuose ir ekologinės būklės pagal makrofitų etaloninį indeksą įvertinimo ataskaita. I dalis ežerai ir tvenkiniai. Ryga, Latvija.

Aplinkos apsaugos agentūra (AAA) (2016 b). Pavojingų medžiagų inventorizacijos ir monitoringo programos optimizavimas. Galutinė ataskaita. Ryga, Latvija.

Aplinkos apsaugos agentūra (AAA) (2022). Valstybinio ežerų monitoringo duomenys. Vidutiniai hidrocheminiai duomenys, vandens kokybė pagal fizikinius-cheminius rodiklius, vandens kokybė pagal biologinius kokybės elementus (fitoplanktonas, fitobentosos, zoobentosos), cheminė būklė. [žiūrėta: 2024 gegužės 5 d.]. <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/vanduo/upes-ezerai-ir-tvenkiniai/valstybinis-upiu-ezeru-ir-tvenkiniu-monitoringas/ezeru-ir-tvenkiniu-monitoringo-rezultatai/>

Aplinkos apsaugos agentūra (AAA) (2023). Valstybinis upių, ežerų ir tvenkinių monitoringas. [žiūrėta: 2024 kovo 11 d.]. <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/vanduo/upes-ezerai-ir-tvenkiniai/valstybinis-upiu-ezeru-ir-tvenkiniu-monitoringas/>

Bartoševičienė, V. (2018). Planktonas. Visuotinė lietuvių enciklopedija. [žiūrėta: 2024 kovo 11 d.]. <https://www.vle.lt/straipsnis/planktonas/>

Butterwick, C., Heaney, S. I., Talling, J. F. (2005). Diversity in the influence of temperature on the growth rates of freshwater algae, and its ecological relevance. *Freshwater Biology*, 50, 291–300. DOI 10.1111/j.1365-2427.2004.01317.x

Česonienė, L., Šileikienė D., Dapkienė, M. (2020). Relationship between the Water Quality Elements of Water Bodies and the Hydrometric Parameters: Case Study in Lithuania. *Water*, 12, 500. DOI 10.3390/w12020500

Dokulil, M. T., Kabas, W. (2018). The Alte Donau: Successful Restoration and Sustainable Management. Aquatic Ecology Series, vol 10. *Phytoplankton Photosynthesis and Production*. Springer, Cham. p. 149–162. DOI 10.1007/978-3-319-93270-5_10

Dokulil, M. T., Teubner, K. (2000). *Hydrobiologia*, 438(1/3), 1–12. DOI 10.1023/a:1004155810302

Elser, J. J., Goldman, C. R. (1991). Zooplankton effects on phytoplankton in lakes of contrasting trophic status. *Limnology and Oceanography*, 36(1), 64–90. DOI 10.4319/lo.1991.36.1.0064

HELCOM (2021). Guidelines for monitoring of phytoplankton species composition, abundance and biomass. [žiūrėta: 2024 vasario 10 d.]. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2020/01/HELCOM-Guidelines-for-monitoring-of-phytoplankton-species-composition-abundance-and-biomass.pdf>

Hepperle, D., Krienitz, L. (2001). Systematics and Ecology of Chlorophyte Picoplankton in German Inland Waters along a Nutrient Gradient. *International Review of Hydrobiology*, 86(3), 269–284. DOI 10.1002/1522-2632(200106)86:3<269::aid-iroh269>3.0.co;2-7

International Organization for Standardization (ISO) (1992). ISO 10260:1992 Water quality - Measurement of biochemical parameters - Spectrometric determinations of the chlorophyll-a concentration.

International Organization for Standardization (ISO) (2016). ISO 5667-4 Water quality - Sampling - Part 4: Guidance on sampling from lakes, natural and man-made. Geneva, Switzerland.

Jakhar, P. (2013). Role of phytoplankton and zooplankton as health indicators of aquatic ecosystem: A review. *International Journal of Innovation Research Study*, 2(12), 489-500.

Jankavičiūtė, G. (1996). Lietuvos vandenių vyraujantys dumbliai. Vadovas. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidykla. 5-242 p.

Kavaliauskienė, J. (1996). Lietuvos ežerų dumbliai. Vilnius: Geografijos institutas. p. 3-130. ISBN: 9986-9097-0-8.

Kilkus, K. (2005). Ežerotyra. Vilnius: Mokslo. p. 65-189. ISBN 9986-19-805-4

Kragh, T., Sand-Jensen, K. (2018). Carbon limitation of lake productivity. *Proc. R. Soc. B*, 285, 20181415. DOI 10.1098/RSPB.2018.1415

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, VšĮ Statybų sektoriaus vystymo agentūra (2024). Žemėlapis. [žiūrėta: 2024 balandžio 30 d.]. <https://www.geoportal.lt/map/>

Lietuvos standartizacijos departamentas (2000). LST EN ISO 11905-1 Vandens kokybė. Azoto nustatymas.1 dalis. Oksidacinio mineralinimo peroksodisulfatu metodas. Vilnius.

Lietuvos standartizacijos departamentas (2003). LAND 59 Vandens kokybė. Azoto nustatymas. 1 dalis. Oksidacinio mineralinimo peroksodisulfatu metodas (ISO 11905-1:1997). Vilnius.

Lietuvos standartizacijos departamentas (2004). LST EN ISO 6878:2004 Vandens kokybė. Fosforo nustatymas. Spektrometrinis metodas, vartojant amonio molibdatą. Vilnius.

Lietuvos standartizacijos departamentas (2007). LST EN 15204:2007 Vandens kokybė. Fitoplanktono nustatymo, taikant atvirkštinę mikroskopiją (Utermöhl'o būdą), vadovas.

Lietuvos standartizacijos departamentas (2011). LST EN 15972:2011 Vandens kokybė. Nurodymai dėl jūrų fitoplanktono kiekybinio ir kokybinio tyrimo. Vilnius.

Lietuvos standartizacijos departamentas (2016 a). LST EN 16698:2016 Vandens kokybė. Nurodymai dėl vidaus vandenių fitoplanktono kiekybinio ir kokybinio mėginių ėmimo. Vilnius.

Lietuvos standartizacijos departamentas (2016 b). LST EN ISO 5667-14 Vandens kokybė. Mėginių ėmimas. 14 dalis. Vilnius.

Lietuvos standartizacijos departamentas (2018). LST EN ISO 5667-3 Vandens kokybė. Mėginių ėmimas. 3 dalis. Vandens mėginių konservavimas ir tvarkymas. Vilnius.

Lietuvos standartizacijos departamentas (2023). LST EN ISO 5667-1 Vandens kokybė. Mėginių ėmimas. 1 dalis. Nurodymai dėl mėginių ėmimo programų sudarymo ir mėginių ėmimo būdų. Vilnius.

Lindsey, R., Scott, M. (2010). What are Phytoplankton? [žiūrėta: 2024 kovo 14 d.]. <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Phytoplankton#:~:text=Phytoplankton%20are%20the%20foundation%20of,are%20eaten%20by%20bigger%20ones>.

LR Aplinkos ministerija (2003). Dėl Lietuvos aplinkos apsaugos normatyvinių dokumentų LAND 53-2003, LAND 54-2003, LAND 55-2003, LAND 56-2003, LAND 57-2003 patvirtinimo. Įsakymas Nr. 708, 2004-04-10. Valstybės žinios, Nr. 53-1827.

LR Aplinkos ministerija (2007). Dėl paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikos patvirtinimo. Įsakymas Nr. D1 210, 2007-04-12. Galiojanti suvestinė redakcija: 2021-11-05. Žin., Nr. 47-1814.

LR Aplinkos ministerija (2017). Dėl rizikos vandens telkinių sąrašo patvirtinimo. Įsakymas Nr. D1-908, 2017-11-07. Galiojanti suvestinė redakcija: 2023-05-11. TAR, Nr. 17629.

Mantzouki, E., Visser, P. M., Bormans, M., Ibelings, B. W. (2015). Understanding the key ecological traits of cyanobacteria as a basis for their management and control in changing lakes. *Aquatic Ecology*, 50(3), 333–350. DOI 10.1007/s10452-015-9526-3

Matthews, R. A. (2012). *Algae in Northwest Washington Lakes. Volume I Cyanobacteria*. Institute for Watershed Studies. Huxley College of the Environment. Western Washington University.

Matthews, R. A. (2015). *Freshwater Algae in Northwest Washington. Volume II Chlorophyta and Rhodophyta*. Institute for Watershed Studies. Huxley College of the Environment. Western Washington University.

Napiórkowska-Krzebietke, A., Dunalska, J. A., Zębek, E. (2017). Taxa-specific eco-sensitivity in relation to phytoplankton bloom stability and ecologically relevant lake state. *Acta Oecologica*, 81, 10–21. DOI 10.1016/j.actao.2017.04.002

Naselli-Flores, L., Padisák, J. (2023). Ecosystem services provided by marine and freshwater phytoplankton. *Hydrobiologia*, 850, 2691–2706. DOI 10.1007/s10750-022-04795-y

Padisák, J., Reynolds, C. S. (1998). Selection of phytoplankton associations in Lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to the cyanoprokaryotes. *Hydrobiologia*, 384, 41–53. DOI 10.1023/A:1003255529403

Paerl, H. W., Hall, N. S., Calandrino, E. S. (2011). Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change. *Science of The Total Environment*, 409(10), 1739–1745. DOI 10.1016/j.scitotenv.2011.02.001

Paerl, H. W., Havens, K. E., Xu, H., Zhu, G., McCarthy, M. J., Newell, S. E., ..., Qin, B. (2020). Mitigating eutrophication and toxic cyanobacterial blooms in large lakes: The evolution of a dual nutrient (N and P) reduction paradigm. *Hydrobiologia*, 847, 4359–4375. DOI 10.1007/s10750-019-04087-y

Paerl, H. W., Huisman, J. (2009). Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental Microbiology Reports*, 1(1), 27–37. DOI 10.1111/j.1758-2229.2008.00004.x

Paerl, H. W., Millie, D. F. (1996). Physiological ecology of toxic aquatic cyanobacteria. *Phycologia*, 35(6S), 160–167. DOI 10.2216/i0031-8884-35-6s-160.1

Pasztaleniec, A., Poniewozik, M. (2010). Phytoplankton based assessment of the ecological status of four shallow lakes (Eastern Poland) according to Water Framework Directive – a comparison

of approaches. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 40(3), 251–259. DOI 10.1016/j.limno.2009.07.001

Ptácnik, R., Lepistö, L., Willén, E., Brettum, P., Andersen, T., Rekolainen, S., ... Carvalho, L. (2008). Quantitative responses of lake phytoplankton to eutrophication in Northern Europe. *Aquatic Ecology*, 42(2), 227–236. DOI 10.1007/s10452-008-9181-z

Reynolds, C. S. (2006). *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge university press, Cambridge.

Saad, J. F., Unrein, F., Tribelli, P. M., López, N., Izaguirre, I. (2016). Influence of lake trophic conditions on the dominant mixotrophic algal assemblages. *Journal of Plankton Research*, 38(4), 818–829. DOI 10.1093/plankt/fbw029

Salmaso, N., Tolotti, M. (2021). Phytoplankton and anthropogenic changes in pelagic environments. *Hydrobiologia*, 848, 251–284. DOI 10.1007/s10750-020-04323-w

Savadova-Ratkus, K., Mazur-Marzec, H., Karosienė, J., Kasperovičienė, J., Paškauskas, R., Vitonyte, I., Koreivienė, J. (2021). Interplay of Nutrients, Temperature, and Competition of Native and Alien Cyanobacteria Species Growth and Cyanotoxin Production in Temperate Lakes. *Toxins*, 13, 23. DOI 10.3390/toxins 13010023

Sommer, U. (1986). The periodicity of phytoplankton in Lake Constance (Bodensee) in comparison to other deep lakes of central Europe. *Hydrobiologia*, 138(1), 1–7. DOI 10.1007/bf00027228

Stewart, I., Webb, P. M., Schluter, P.J., Shaw, G. R. (2006) . Recreational and occupational field exposure to freshwater cyanobacteria – a review of anecdotal and case reports, epidemiological studies and the challenges for epidemiologic assessment. *Environ Health*. 5, 6. DOI 10.1186/1476-069X-5-6

Tell, G., Izaguirre, I., Allende, L. (2011). Diversity and geographic distribution of *Chlorococcales* (Chlorophyceae) in contrasting lakes along a latitudinal transect in Argentinean Patagonia. *Biodiversity and Conservation*, 20(4), 703–727. DOI 10.1007/s10531-010-9955-1

Višinskienė G., Arbačiauskas K. (2018). On the occurrence of rare aquatic beetle *Hydroglyphus Hamulatus* (Gyllenhal, 1813) (Coleoptera, Dytiscidae) in Lithuania. *Bulletin of the Lithuanian Entomological Society*, 2(30), 26-29. ISSN 2538–7723.

Webb, P. (2021). *Introduction to Oceanography. 6.5 Light*. Roger Williams University Open Publishing. p. 143 [žiūrėta: 2024 gegužės 5 d.]. <https://rwu.pressbooks.pub/webboceanography/>

Wirth, C., Limberger R., Weisse, T. (2019). Temperature × light interaction and tolerance of high water temperature in the planktonic freshwater flagellates *Cryptomonas* (Cryptophyceae) and *Dinobryon* (Chrysophyceae). *Journal of Phycology*, 55(2), 404–414. DOI 10.1111/jpy.12826

PRIEDAI

1 priedas

Konferencijos pažymėjimas



Prašymo dėl duomenų suteikimo

Aplinkos apsaugos agentūrai

PRAŠYMAS DĖL VALSTYBINIO MONITORINGO DUOMENŲ SUTEIKIMO

2024-01-29

Vilnius

Esu [redacted] Eglė Markaitytė ir atlieku fitoplanktono tyrimus. Taip pat esu Vilniaus universiteto Šiaulių akademijos Gamtinių sistemų valdymo magistrantūros studijų antro kurso studentė ir rašau magistrantūros baigiamąjį darbą apie Lietuvos ežerų ekologinę būklę. Prašau suteikti pagal 2022 metų valstybinio monitoringo planą iš kiekvieno atskirai imto Utenos regiono ežero (Šiurpys LTL311, Šventas LTL39, Alnis LTL65, Viešintas LTL383, Luokesai LTL158, Zarasas LTL171, Alksnas LTL228, Avilyš LTL299, Auslas LTL303, Ilgys LTL305, Ilgis LTL306, Ūsiai LTL326, Pakalas LTL333, Siesartis LTL348, Malkėstas LTL350, Antalieptės HE tvenkinys LTL433, Parsvėtas LTL532, Suosa LTL382) vandens ėminių tyrimų rezultatus: fitoplanktono biomasė, gausumas, rūšių skaičius; chlorofilas; bendras azotas; bendras fosforas ir ištirpęs deguonis; vandens temperatūra.

Eglė Markaitytė

From: aaa@gamta.lt
Sent: pirmadienis 2024 m. sausis 29
To: Eglė Markaitytė
Subject: RE: Prašymas

Laba diena,
Jūsų prašymas gautas ir užregistruotas:
Registracijos data
2024-01-29
Registracijos numeris
[redacted]



**APLINKOS
APSAUGOS
AGENTŪRA**

A. Juozapavičiaus g. 9, LT-09311 Vilnius
Mob. tel. +370 68292653
El. paštas aaa@gamta.lt
<http://gamta.lt>
[Facebook](#)
[LinkedIn](#)