

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
BIOLOĢIJAS FAKULTĀTE  
HIDROBIOLOĢIJAS KATEDRA

**POTENCIĀLI TOKSISKĀS ZILAĻĢES *GLEOTRICHIA*  
*ECHINULATA* MASVEIDA SAVAIROŠANĀS FENOMENS  
ALŪKSNES EZERĀ**

Bakalaura darbs

Autore: Evija Keserovska  
Stud. apl. Nr.: ek12051  
Darba vadītāja: Dr.biol. Ingrīda Puriņa  
Recenzents: Dr.biol, doc. Ivars Druvietis

RĪGA 2015

## KOPSAVILKUMS

Darbs sniedz priekšstatu par Alūksnes ezera fitoplanktona sastāvu un potenciāli toksiskās zilaļģes *Gleotrichia echinulata* masveida savairošanos Alūksnes ezerā. Pētījuma dati 10 stacijās iegūti no 2014. gada 13. maija līdz 2. oktobrim un 2015. gada 21. aprīlī.

Darba mērķis ir noteikt *Gleotrichia echinulata* koloniju skaitu un noskaidrot, kā tā ietekmē pārējo Alūksnes ezera fitoplanktonu. Tika secināts, ka iekšezerā ir augstākas barības vielu koncentrācijas nekā atklātajā Alūksnes ezerā. Maksimālais *Gleotrichia echinulata* daudzums epilimnijā novērots 2014. gada 30. jūlijā, sedimentos visvairāk koloniju konstatētas iekšezerā (4. stacijā). Noskaidrots, ka *Gleotrichia echinulata* ar barības vielu pārnesi no sedimentiem oligotrofos apstākļos veicina pārējā fitoplanktona biomasu pieaugumu.

Atslēgas vārdi: *Gleotrichia echinulata*, aļģu ziedēšana, sedimenti, Alūksnes ezers

## SUMMARY

This thesis provides insight about phytoplankton composition and potentially toxic cyanobacteria *Gleotrichia echinulata* mass propagation in Lake Aluksne. The survey data were collected in 10 stations from the 13th of May to the 2nd of October, 2014, and in 21st of April, 2015.

The objective of the study was to determine number of *Gleotrichia echinulata* colonies and find out how it affects the rest phytoplankton. It was concluded that in Ieksezers nutrient concentrations are higher than in the open part of Lake Aluksne. The maximum amount of *Gleotrichia echinulata* in epilimnion was observed on 30th of July, 2014, most colonies were found in Ieksezers. In oligotrophic conditions *Gleotrichia echinulata* plays significant role in the nutrient transfer from sediments to water column promoting the biomass increase of the rest phytoplankton.

Keywords: *Gleotrichia echinulata*, algal bloom, sediments, Lake Aluksne

## SATURS

IEVADS .....	5
1. LITERATŪRAS APSKATS .....	7
1.1. Ezeru eitrofikācijas process .....	7
1.2. Fitoplanktons oligotrofos un mezotrofos ezeros .....	8
1.3. Barības vielas.....	9
1.4. <i>Gleotrichia echinulata</i> apraksts.....	9
1.5. <i>Gleotrichia echinulata</i> dzīves cikls .....	11
1.6. Potenciāli toksisko aļģu ziedēšana .....	12
1.7. <i>Gleotrichia echinulata</i> izdalītie toksīni .....	14
2. MATERIĀLI UN METODES.....	17
2.1. Pētījuma vieta .....	17
2.2. Metodes .....	19
2.3. Datu apstrāde .....	20
3. REZULTĀTI .....	21
3.1. Fitoplanktona analīze Alūksnes ezerā .....	21
3.2. <i>Gleotrichia echinulata</i> daudzums sedimentos.....	25
3.3. <i>Gleotrichia echinulata</i> ietekme uz pārējo fitoplanktonu.....	26
4. DISKUSIJA .....	29
5. SECINĀJUMI .....	33
7. LITERATŪRAS SARAKSTS .....	35
PIELIKUMI	

## IEVADS

Pēdējos gadu desmitos tiek daudz runāts par ezeru eitrofikāciju un aļģu ziedēšanu, kas pamatā ir dabisks process, tomēr cilvēka ietekmē šis process notiek daudz straujāk un plašāk. Šo gadu desmitu laikā ar aļģu ziedēšanas un īpaši potenciāli toksisko aļģu ziedēšanas problēmu neesam tikuši galā, un saskaramies ar to arī šodien (Anderson *et al.* 2002).

Alūksnes ezers atrodas Alūksnes augstienē, Alūksnes novadā. Pēc platības tas ir vienpadsmitais lielākais ezers Latvijā (15.43 km<sup>2</sup>). Ezerā atrodas četras salas. Alūksnes pilsēta ir novietojusies pie Alūksnes līča, kurā atrodas Pilssala. Tā norobežo līča rietumu daļu no atklātā ezera, iedzīvotāji šo vietu sauc par iekšezeru. Alūksnes ezeram nav lielu pieteku, tāpēc ūdens apmaiņa ezerā ir ļoti lēna (Anonymous 2013<sub>1</sub>).

Par Alūksnes ezera apsaimniekošanu atbild Alūksnes novada pašvaldības aģentūra "ALJA". Tās mērķis ir efektīva un lietderīga Alūksnes novada ezeru un upju apsaimniekošana, kā arī publisko pakalpojumu – rūpnieciskā zveja, licencētā makšķerēšana, ūdenstransports un atpūta – nodrošināšana (Anonymous 2013<sub>2</sub>). Rūpnieciskā zveja tieši Alūksnes ezerā ir aizliegta jau 13 gadus, no 2002. gada. Kopš tā laika novērots, ka ir pieaudzis zivju skaits un arī to izmēri (Alja 2014).

Karstās, sausās vasarās, īpaši bezvēja laikā Alūksnes ezerā tiek novērota aļģu ziedēšana (Lozko 2013) (4. un 5. pielikums). Tomēr pastiprināti interesēties par šo problēmu iedzīvotāji sāka 2012. gada vasarā, pamanot, ka iekšezers sāk arvien vairāk izmainīties, aizaugt. Palielinājās aļģu skaits, ūdens virsmu klāja mazi, peldoši graudiņi, samazinājās ūdens caurredzamība, kā arī ūdens smakoja. Pašvaldības aģentūra „ALJA” sāka pievērst uzmanību šim jautājumam, 2014. gadā sākot pētīt iekšezeru un meklējot atbildes, kā to attīrīt, nekaitējot pārējam ezeram (Lozko 2014).

Pētījuma laikā tika atklāts, ka peldošie graudiņi, kas izraisa aļģu ziedēšanu, ir zilaļģe *Gleotrichia echinulata*, kura iepriekš nav identificēta Alūksnes ezerā (Lozko 2014). Šī aļģe vienu savu dzīves daļu pavada (pārziemo) sedimentos, kur tā barojas (Carey *et al.* 2007). Lai varētu tik ievērojami savairoties, tai nepieciešams ievērojams barības vielu daudzums, pēc kā var secināt, ka piesārņojums ir saglabājies sedimentos. Tas nav pārsteigums, jo pie iekšezera sākas pilsētas apbūve, vēsturiski šeit atradušies dažādi ražošanas uzņēmumi, no kuriem ar notekūdeņiem ieplūdušas barības vielas (Lozko 2014). *Gleotrichia echinulata* ir potenciāli toksiska zilaļģe, kas gan mazās koncentrācijās saindēšanos neizraisa. Tomēr tā masveidā savairojoties, kā arī ar toksīnu darbību, spēj izmainīt ezera barošanās ķēdes (Lampert *et al.* 2007). Tāpēc ir jāpēta, kā šī zilaļģe ietekmē Alūksnes ezera ekosistēmu un citus tās

iemītņiekus, kā tā izplatās, kā pārziemo, kā arī jānovērtē, kur ir plašākā *Gleotrichia echinulata* sastopamība, tā mēģinot noteikt piesārņojuma avotu. Galvenā limitējošā barības viela, kas limitē *Gleotrichia echinulata* attīstību ir fosfors (Chorus *et al.* 1999).

*Gleotrichia echinulata* masveida savairošanās ir īpaši bīstama un īpaši pētāma oligotrofos ezeros, jo tie bieži tiek izmantoti kā dzeramā ūdens avots (Carey *et al.* 2012). Latvijā gan iepriekš nav ziņu, ka *Gleotrichia echinulata* tiktu konstatēta oligotrofos ezeros. Tomēr tā jau ap 1950. gadu ir tikusi novērota Ķīšezerā - eitrofā ezerā, kurā jau tajā laikā ezera fitoplanktona, zooplanktona un bentisko sugu sastāvs norādījis par ezera eitrofikāciju (Vides Konsultāciju Birojs 2009). Kā arī Rāznes ezerā 2001. gada vasarā ir novērota masveida *Gleotrichia echinulata* attīstība. Rāznes ezers ir mezotrofs līdz vāji eitrofs ezers ar labu ekoloģisko stāvokli (Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs 2001).

Zilaļģēm ir tendence atrasties noteiktos ūdens slāņos – ūdens virsējā slānī vai arī nogrimušām ezera gultnē. Fitoplanktona sugu kostatēšanā, lai fiksētu paraugu, izmanto lugola šķīdumu, kas nogremdē zilaļģu un citas fitoplanktona sugas. Savukārt *Gleotrichia echinulata* nenogrimst (Chorus *et al.* 1999) un, ja pētniekam nav ideju par iespējamu *Gleotrichia echinulata* klātbūtni, to viegli var arī nepamanīt.

*Gleotrichia echinulata* Latvijā nav bieži konstatēta un pētīta, kā arī tās spēja pielāgoties dažādiem apstākļiem varētu būt kā veiksmīgs līdzeklis, lai savairotos arī citos Latvijas ezeros. Ņemot vērā šos apstākļus, tika izstrādāts bakalaura darbs ar mērķi noteikt *Gleotrichia echinulata* koloniju skaitu atkarībā no barības vielu daudzuma sedimentos rudenī un pavasarī un noskaidrot kā *Gleotrichia echinulata* ietekmē pārējo Alūksnes ezera fitoplanktonu. Tika izvirzītas hipotēzes, ka lielākais *Gleotrichia echinulata* koloniju skaits ir iekšezerā, kurā ir arī lielākais barības vielu (fosfora) daudzums; fosfora daudzums un attiecīgi arī *Gleotrichia echinulata* skaits samazināsies virzienā no iekšezera uz atklāto Alūksnes ezeru.

Lai sasniegtu darba mērķus, tika izvirzīti šādi uzdevumi:

- iepazīties ar literatūrā pieejamiem datiem par *Gleotrichia echinulata* dzīves ciklu un sastopamību oligotrofos – mezotrofos ezeros;
- ievākt sedimentu paraugus, no kuriem iegūt *Gleotrichia echinulata* koloniju skaitu rudenī un pavasarī;
- salīdzināt sakarību starp barības vielu daudzumu un koloniju skaitu;
- analizēt Alūksnes ezera fitoplanktona sastāvu un noteikt tā biomasas.

# 1. LITERATŪRAS APSKATS

## 1.1. Ezeru eitrofikācijas process

Eitrofikācija ir process, kad ekosistēma kļūst bagātāka ar barības vielām, kas stimulē primāro producentu savairošanos. Barības vielu pieaugums var tikt saistīts ar cilvēka darbību, kā arī ekosistēmā var rasties dabiskā ceļā (Doods 2002). Eitrofikācija kā piesārņojuma problēma tika atzīta 20. gs. vidū daudzos Rietumeiropas un Ziemeļamerikas ezeros (Rohde 1969 cit. pēc Chorus *et al.* 1999). Mūsdienu rezultāti parāda, ka Eiropā ~28% no ezeriem ir eitrofi (Chorus *et al.* 1999). Eitrofikācija izmaina ezeru sugu sastāvu un ietekmē barības ķēdes. Eitrofikācijas problēma ezeros nav viegli atrisināma, tā var turpināties ilgu laiku, arī ja tiek pārtraukta fosfora ieplūde, jo fosfors atkal nonāk apritē no sedimentiem, kā arī nelielos daudzumos no augsnes erozijas un no gaisa. Atgriezeniskā saite, kā fosfors no sedimentiem nonāk atpakaļ apritē, nosaka fitoplanktona produkciju (Lampert *et al.* 2007).

Ezerus pēc trofijas iedala trīs tipos: oligotrofos, mezotrofos un eitrofos ezeros. Pēc standarta definīcijas oligotrofi ezeri ir ar zemu aļģu biomasu un produkciju, zemu barības vielu daudzumu, augstu caurredzamību. Oligotrofos ezeros skābekļa piesātinājums ir vienmērīgs visā to dziļumā – ortograda skābekļa piesātinājuma līkne. Kopējais fosfora daudzums oligotrofos ezeros pavasara cirkulācijas laikā ir 5 – 10 µg/l (Lampert *et al.* 2007). Savukārt eitrofos ezerus raksturo ar zilaļģu ziedēšanu, lielu barības vielu daudzumu un nelielu caurredzamību. Mezotrofi ezeri ir tādi, kas atrodas starpstāvoklī starp oligotrofiem un eitrofiem ezeriem (Dodds 2002). Tomēr pēc pašreizējiem pētījumiem arī oligotrofos ezeros var notikt zilaļģu savairošanās (Carey *et al.* 2008). Zilaļģu daudzums ūdens ekosistēmā ir atkarīgs ne tikai no slāpekļa un fosfora koncentrācijām ūdenī, bet arī no slāpekļa un fosfora attiecības (Lampert *et al.* 2007).

Vienkāršākais veids kā konstatēt, ka sākusies eitrofikācija ir zilaļģu parādīšanās. Tā kā zilaļģēm ir milzīga ietekme uz ūdens kvalitāti, tās ir vienas no visbiežākajiem hidrobiologu pētījumu objektiem. Zilaļģes ir spējušas izdzīvot uz Zemes miljardiem gadu, pielāgojoties gan aukstām, gan karstām vides temperatūrām, kā arī ļoti sāļiem ūdeņiem. Tās ar saviem pielāgojumiem spēj izkonkurēt citas fitoplanktona aļģes, jo tām ir gāzu vakuolas, kas tās paceļ ūdens virspusē, tā iegūstot vairāk gaismas. Savukārt, ja virspusē sāk pietrūkt barības vielu, tās var samazināt vakuolu sintēzi un nogrimt uz bagātīgākiem ūdeņiem (Dodds 2002).

Zilaļģu populācijas pieaugums vērojams divu procesu rezultātā:

- zilaļģu atgriešanās ūdens stabā no sedimentiem, kur tās atradušās snaudošā formā – ar sporām;

- zilaļģu dalīšanās epilimnija slānī jeb vairošanās labvēlīgos apstākļos (Carey 2008).

Zilaļģes var dzīvot un attīstīties arī ezera sedimentos, ja ir pietiekami daudz gaismas, kas iespiežas līdz ezera dibenam. Zilaļģu bentiskās sugas vairāk sastopamas tieši oligotrofos ezeros, jo epilimnijā nav pietiekami daudz barības vielu, tāpēc tās pielāgojušās dzīvei sedimentos (Dodds 2002).

Ūdens ekosistēmas, kurās ir ļoti mazs pieejamo barības vielu daudzums, var uzskatīt par ekstrēmiem biotopiem. Ūdens organismi oligotrofos ezeros to izjūt, ja fotosintezējošo organismu un heterotrofu skaits ir zems, tātad barības ķēdes ir ļoti limitētas, īsas, bez iespējām izvēlēties barības objektu. Primāriem producentiem (ezera ekosistēmā – fitoplanktonam) galvenā konkurence savā starpā ir par gaismu un barības vielām (Doods 2002).

## 1.2. Fitoplanktons oligotrofos un mezotrofos ezeros

Jau ļoti sen limnologi ir secinājuši, ka arī fitoplanktona sugas, līdzīgi kā augstākie augi, veido sabiedrības, kuras ir atšķirīgas oligotrofos un eutrofos ezeros. Tomēr ezerus nevar tik vienkārši iedalīt tikai vienā kategorijā. Piemēram, pēc fosfora koncentrācijas ezerā tas atbilst eutrofiem ezeriem, bet tas pats ezers pēc hlorofila a vērtībām ir klasificējams kā mezotrofs (Doods 2002).

Pavasārī un vasaras sākumā gan oligotrofos, gan mezotrofos ezeros bieži novērojama hrizofītaļģu un zaļaļģu dominēšana (Reynolds *et al.* 2002). Oligotrofiem ezeriem ir raksturīgas ļoti mazas fitoplanktona biomasas un produkcija, bet lielāka sugu daudzveidība. Kā arī pietiekamā gaismas daudzuma dēļ, fitoplanktons var atrasties diezgan dziļi no ūdenstilpes virsmas. Oligotrofos ezeros aļģu ziedēšana notiek reti. Raksturīgākās fitoplanktona ģintis ir *Staurastrum* (zaļaļģes), *Tabellaria*, *Cyclotella* (kramaļģes), *Dinobryon* (hrizofītaļģes).

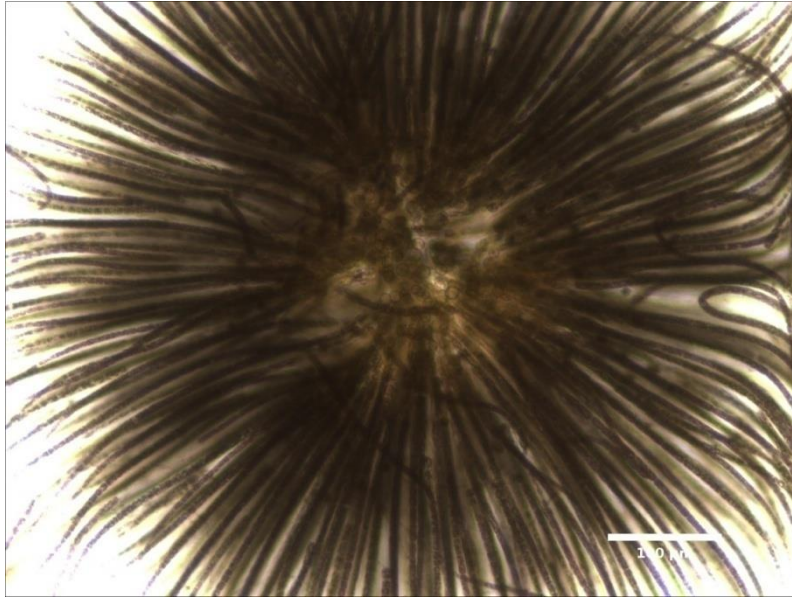
Mezotrofos ezeros ir novērojams gan oligotrofiem, gan eutrofiem ezeriem raksturīgs fitoplanktons. Tā kā mezotrofi ezeri ir kā starpfāze starp oligotrofiem un eutrofiem ezeriem. Tajos, bez jau nosauktajām oligotrofo ezeru aļģēm, var būt arī eutrofiem ezeriem raksturīgas: *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis* (zilaļģes) un *Melosira*, *Fragilaria*, *Stephanodiscus*, *Asterionella* (kramaļģes) (Rawson 1956).

### 1.3. Barības vielas

Barības vielas iedala divās grupās: makroelementi, kas veido >0.1% no šūnas masas, un mikroelementi, kas ir nepieciešami mazākos daudzumos. Ezeros galvenās limitējošās barības vielas ir slāpeklis, fosfors un silīcijs kramaļģēm (Lampert *et al.* 2007). Slāpeklis ir nepieciešams proteīnu sintēzei, bet fosfors – DNS, RNS veidošanai un enerģijas plūsmai. Fosfora daudzums ūdens sistēmās mūsdienās ir pieaudzis, sakarā ar mākslīgā jeb neorganiskā mēslojuma izmantošanas pieaugumu (Conley *et al.* 2009). Fosfors ir būtisks elements visai dzīvībai, bet autotrofi organismi fosforu var uzņemt tikai fosfātu veidā. Pārmērīgas fosfora koncentrācijas ūdenī ir galvenais iemesls ezeru, ūdenskrātuvju (piemēram, dīķu), upju un arī estuāriju eitrofikācijai (Corell 1998). Primāro produkciju (fitoplanktonu) galvenokārt limitē fosfora trūkums ūdens ekosistēmās (Dodds 2002). Pētījumi Augšezērā (ASV) parādīja, ka fitoplanktona attīstību limitē fosfors, bet, nedaudz palielinot fosfora daudzumu, atklājās, ka arī nepietiekams mikroelementa dzelzs daudzums ūdenī samazina fitoplanktona attīstību (Sturner *et al.* 2004 cit. pēc Lampert *et al.* 2007).

### 1.4. *Gleotrichia echinulata* apraksts

*Gleotrichia echinulata* ir zilaļģe, kas vasarās sastopama koloniju veidā ūdens virsējā slānī, bet pārziemo ar sporām. Tā biežāk sastopama eitrofos ūdeņos, bet arvien biežāk parādās arī oligotrofos ezeros (Carey *et al.* 2007). Pavasarī, piemērotos laika apstākļos, tā ļoti ātri attīstās un var izveidot ļoti plašas kolonijas. Aļģes nosaukums ir cēlies no grieķu valodas, tulkojumā nozīmē „želatīna mati”. To varētu skaidrot, ka *Gleotrichia echinulata* ķermenis ir veidots no trihomiem (no grieķu valodas varētu tulkot kā mati), kas atiet no centra uz visām pusēm, izveidojot sfērveida formu - , kā arī šai zilaļģei piemīt želejveida struktūra, kas varētu atgādināt želatīnu (Shannon 2013). Tāpat kā daudzas citas zilaļģes, arī *Gleotrichia echinulata* fiksē slāpekli, tās satur gāzes vakuolas, kas ļauj tām noturēties ūdens stabā, kā arī tās producē toksīnus (Carey *et al.* 2008).



1. attēls. *Gleotrichia echinulata* kolonijas izskats (Western Washington University, 2007).

Figure 1. The appearance of *Gleotrichia echinulata* colony (Western Washingtons University, 2007).

Atšķirībā no citām zilaļģēm *Gleotrichia echinulata* attīstībai nepieciešamo fosforu uzņem no sedimentiem, no ūdens staba tā izmanto pavisam niecīgu fosfora daudzumu. Izmantojot sedimentos uzkrāto fosforu, *Gleotrichia echinulata* epilimnijā spēj izdzīvot aptuveni 3 nedēļas (Pratt *et al.* 2013). Plašas zilaļģu savairošanās gadījumā, tās ierobežo caurredzamību – gaismas iespiešanos (Shannon 2013).

*Gleotrichia echinulata* toksīni cilvēkam var izraisīt ādas kairinājumu un izsitumus. Savukārt ezera ekosistēmā šī zilaļģe spēj izjaukt pastāvošās barības ķēdes, *Gleotrichia echinulata* var pilnībā izkonkurēt citas aļģes, neatstājot tām barības vielas. Kā rezultātā negatīvi tiek ietekmētas zooplanktona sugas, kas barojas no šīm aļģēm (Carey 2006).

*Gleotrichia echinulata* nav nozīmīgs zooplanktona barības resurss, tomēr to ēd dažas sugas (Pratt *et al.* 2013). Sietlas Grīna ezerā (Green Lake) veiktajā pētījumā vienīgais fitofāgs, kas barojas ar *Gleotrichia echinulata* ir virpotājs *Lindia euchromatica*. *Gleotrichia echinulata* koloniju izmērs (>2 mm) neļauj to uzturā lietot Grīna ezerā dominējošajiem fitofāgiem airkājvēžiem un kladocerām (Roelofs *et al.* 1970).

*Gleotrichia echinulata* ziedēšana kādreiz tika novērota tikai eitrofos ezeros, bet pēdējā laikā tā tiek konstatēta arī mezotrofos un pat oligotrofos ezeros. Šī zilaļģu ziedēšana ir neparasta, jo tika uzskatīts, ka nepietiekamais barības vielu daudzums ūdens virsējos slāņos neļauj notikt zilaļģu ziedēšanai oligotrofos ezeros. *Gleotrichia echinulata* ziedēšana var notikt, jo no sedimentiem tiek pārnesti ievērojams daudzums fosfora. Tā epilimnija slāni

nonāk barības vielas, ko aļģes var izmantot populācijas paplašināšanai. Fosfors ir tieši tā barības viela, kura limitē zilaļģu attīstību. Ja notiek strauja koloniju uzpeldēšana no sedimentiem uz epilimnija slāni, vienā dienā ar *Gleotrichia echinulata* kolonijām var tikt nogādāts pat  $3.8 \text{ mg P/ m}^{-2}$ . *Gleotrichia echinulata* koloniju spēja atkal atgriezties epilimnijā ir atkarīga no gaismas daudzuma, ūdens temperatūras un barības vielu daudzuma sedimentos. Eitrofos ezeros visvairāk koloniju uzpeld no sedimentiem, kas ir litorāles zonā 1-2 m dziļumā, dziļāk par diviem metriem ir limitēts gaismas daudzums. Tāpēc oligotrofos ezeros vajadzētu uzpeldēt salīdzinoši vairāk kolonijām tieši dziļumā, jo gaismas daudzums, kas iespiežas līdz gultnei ir lielāks nekā eitrofos ezeros (Carey 2008).

*Gleotrichia echinulata* kolonijas skaitliski vairāk ir seklos ezeros nekā dziļos, atklātos ezeros. No sekliem ūdeņiem vieglāk ir uzpeldēt jaunajām kolonijām, kā arī atklātās ūdenstilpēs ir pārāk liela vēja iedarbība, kas tās sapūš uz krastu (Pratt *et al.* 2013). Erkenas ezerā tika konstatēts, ka nav lielas atšķirības starp *Gleotrichia echinulata* koloniju skaitu dziļu un seklu vietu sedimentos, tomēr vairāk koloniju epilimnijā uzpeldēja no seklāku vietu sedimentiem. Tas parāda, ka kolonijām, kas attīstījušās seklākās vietās ir augstāka izdzīvotība nekā tām, kas attīstījušās dziļās ezera vietās (Karlsson-Elfgren *et al.* 2004).

### 1.5. *Gleotrichia echinulata* dzīves cikls

*Gleotrichia echinulata* dzīves cikls ir saistīts ar gadalaiku maiņu. *Gleotrichia echinulata* epilimnija slānī kā fitoplanktons ir sastopama tikai vasaras mēnešos. Aukstos ziemas mēnešus pavada ezera gultnē diapauzē jeb miera stāvoklī kā akinētas – tās ir pret aukstumu izturīgas snaudošas šūnas, kurām ir biezs, aizsargājošs apvalks (Roelofs *et al.* 1970, Lampert *et al.* 2007). *Gleotrichia echinulata* akinētas aizsargā mirusī mātes kolonija. Pavasarī, pieaugot gaismas un siltuma līmenim ūdenī, sporas sāk dīgt, vēl pāris nedēļas pavadot sedimentos, uzkrājot barības vielas un augot (Carey 2006). Vasarā, kad jaunās kolonijas ezera sedimentos ir pietiekami attīstījušās, lai varētu uzpeldēt, tās atkal nonāk epilimnijā, kur turpina augšanu izmēros. Uzpeldēšanai tās izmanto gāzes vakuolas. Tā kā kolonijas ļoti labi peld pa ūdens virsmu, ar vēja palīdzību tās bieži tiek aizpūstas pie ezera krastiem. Kad kolonija sasniedz pietiekami lielu izmēru un aptrūkstas barības vielas (galvenokārt fosfora), atkal tiek veidotas sporas. No katras kolonijas var izveidoties pat līdz 500 šādu sporu. Vasarai beidzoties, kolonijas vairs nav sastopamas ūdens stabā un ir nogrimušas, lai pārziemotu sedimentos (Roelofs *et al.* 1970). Tā kā kolonijas var ievērojami pieaugt izmēros, tās ir makroskopiskas, novietojušās ezera virskārtā un saredzamas „ar aci”

(Meany 1974). Bentiskais - pelaģiskais dzīves cikls ir kā pielāgojums, lai palielinātu izdzīvošanas spējas (Karlsson-Elfgren *et al.* 2004).

Tā kā *Gleotrichia echinulata* pārziemo sedimentos, tas var būt par iemeslu, kāpēc tā var attīstīties gan eitrofos, gan oligotrofos apstākļos. Svarīgi ir kāda ir ezera gultne, ja sedimenti ir bagāti ar organiskām vielām, tajos būs pietiekami barības vielu un sporas būs dzīvotspējīgākas. Savukārt, smilšainākās gultnēs trūks barības vielu, nebūs piemērotu apstākļu, kur pārziemot, tātad jaunas *Gleotrichia echinulata* kolonijas nespēs attīstīties (Carey *et al.* 2008). Kā arī pastāv teorija, ka *Gleotrichia echinulata* fosforu iegūst tikai no sedimentiem, ne ūdens staba, tātad izmanto fosforu, kurš ezerā ieplūdis jau pirms ilgāka laika un ir sedimentējies ezera gultnē (Pettersson 1993). Tā kā oligotrofos ezeros ir lielāka gaismas caurlaidība, kas ietekmē *Gleotrichia echinulata* koloniju attīstību no sporām, jauno koloniju uzpeldēšana pat varētu būt veiksmīgāka nekā eitrofos ezeros ar mazu gaismas caurlaidību (Pratt *et al.* 2013).

Sporu atrašanās vieta sedimentos ir atkarīga no sedimentu struktūras, kādi bentiskie dzīvnieki dzīvo un cik aktīvi tie ir sedimentos, kā arī no laika – neilgi pirms uzpeldēšanas sporas atrodas sedimentu pašā augšpusē (Karlsson-Elfgren *et al.* 2004). Laboratorijas apstākļos tiek inscinēta *Gleotrichia echinulata* sporu dīgšana, kurā tiek parādīts, ka, ja ir vairāk fosfora, dīgšana notika veiksmīgāk. Jo vairāk fosfora, jo vairāk sporu uzdīga un dīgšanas process notika ātrāk (Carey 2008).

## 1.6. Potenciāli toksisko aļģu ziedēšana

Eitrofikācijas procesā notiek aļģu savairošanās, arī tādu, kas var izdalīt toksīnus. Visbiežāk sastopamās potenciāli toksiskās sugas ir *Anabaeana*, *Aphanizomenon*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Microcystis*. Toksīni ir indīgas vielas, ko izdala baktērijas, augi, sēnes un dzīvnieki. Toksīnus, ko izdala aļģes, iedala citotoksīnos un biotoksīnos. Citotoksīniem nepiemīt augsts toksiskums, tomēr tie var ietekmēt šūnas līmenī, īpaši šūnu dalīšanos, cilvēkam var izraisīt ādas kairinājumu. Biotoksīni parasti ir tie, kas izraisa saindēšanos un pat nāvi, tie ir ar augstāku toksiskuma līmeni. Biotoksīnus var iedalīt vēl sīkāk – neirotoksīnos un hepatotoksīnos. Neirotoksīni iedarbojas uz nervu sistēmu, savukārt hepatotoksīni uz aknu darbību (Kļaviņš u.c. 1998). Pirmais atklātais aļģu toksīns ir anatoksīns-a, kurš pieder neirotoksīnu grupai (O`Sullivan 2004).

Zilaļģes ūdens ekosistēmās var izdalīt dažādus toksīnus, kas var izraisīt dzīvnieku un arī cilvēku saindēšanos, ja tie nonāk saskarē ar ūdeni, kas satur toksīnus. Jau agrīnās zinātnieku publikācijās tiek aprakstītas dzīvnieku saindēšanās ar ūdeni, kurā notikusi

fitoplanktona ziedēšana. Aleksandrinas ezerā, Austrālijā 1878. gadā konstatēta liellopu, aitu, zirgu, cūku un suņu bojāeja, kuri dzēruši ezera ūdeni, kurā masveidā savairojusies *Nodularia spumigena* (Francis 1878 cit. pēc Huisman *et al.* 2005). Savukārt Polijā, no Barlevides ezera ūdens, kurā tika konstatētas tādas zilaļģes kā *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, bojā gāja kumeļi un citi tuvējās fermas dzīvnieki, pīles, kā arī ezerā dzīvojošās zivis (Benecke 1884 cit. pēc Huisman *et al.* 2005). Šie pētījumi parāda, ka toksisko zilaļģu ziedēšanas izraisītās problēmas ir konstatētas jau ievērojamu laika posmu, bet no tām nav izdevies izvairīties līdz pat mūsdienām.

Potenciāli toksisko zilaļģu ziedēšanas problēma ir sastopama visā pasaulē, Skandināvijā laikā no 1974. līdz 1984. gadam tika pētīts 51 ezers, no tiem 30 ezeros tika konstatēta potenciāli toksisko zilaļģu ziedēšana (Berg *et al.* 1986 cit. pēc Gromov *et al.* 1996).

Dominējošais viedoklis, kāpēc mikroskopiskās zilaļģes izdala toksīnus, ir līdzeklis, lai zooplanktons tās neizmantotu kā barību. Tā tiek nomākta zooplanktona barošanās un augšana. Bieži zooplanktons izvairās no toksisko aļģu ēšanas, jo sāk atpazīt garšu (Lampert *et al.* 2007). Bet toksīnu izdalīšanai ir arī citas lomas, piemēram, konkurences palielināšana starp citām aļģu sugām, un fagotrofajām aļģēm toksīni esot kā palīgs, lai satvertu un sagremotu upuri, tā tas ir *Prymnesium* ģints aļģēm (Skovgard *et al.* 2003 cit. pēc Sigeo 2005). Zilaļģēm, lai samazinātu konkurenci savā starpā arī ir savi līdzekļi, tā, piemēram, bentiskā zilaļģe *Fischerella* producē vielu, kuras sastāvā ir divi slāpekli saturoši gredzeni, kas izolēti var nomākt vai pat nogalināt citas zilaļģes (pie augstām koncentrācijām) (Lampert *et al.* 2007).

Zilaļģu toksīnu izdalīšana un šūnu mazie izmēri ir galvenie iemesli, kas nomāc zooplanktona barošanās aktivitāti zilaļģu ziedēšanas laikā. Ja zilaļģes ir izkonkurējušas citas fitoplanktona sugas, zooplanktonam trūkst barības resursu un notiek nekontrolēta zilaļģu populācijas savairošanās un stabilas ekosistēmas sabrukums (Sigeo 2005).

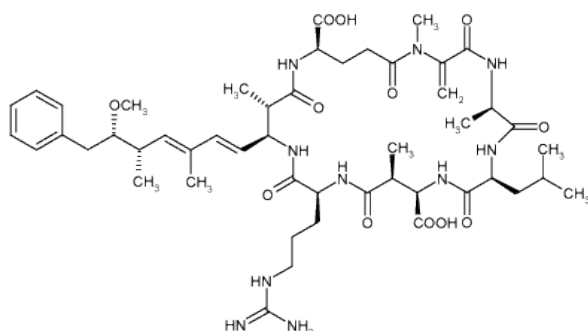
Toksikoloģijas pētījumos, lai varētu noteikt, cik toksīns ir bīstams, izmanto jēdzienu vidējā letālā deva ( $LD_{50}$ ).  $LD_{50}$  ir vielas deva, kas izraisa nāvi 50% no pārbaudītajiem dzīvniekiem (Iesalniece u.c. 2009).

Tomēr tikai dažas no zilaļģu grupām izdala toksīnus un ezerā var būt gan grupas, kuras neizdala šos toksīnus, gan arī tādas, kuras izdala. Šīs zilaļģu grupas var būt arī vienas sugas īpatņi (Lampert *et al.* 2007). Zilaļģu toksīnu izdalīšanos ietekmē vides apstākļi: ūdens temperatūra, gaismas daudzums, barības vielu pieejamība. Tā kā, potenciāli toksiskās zilaļģes var izkonkurēt citu aļģu attīstību, ir svarīgi kontrolēt to izplatību (Dobson *et al.* 2009).

## 1.7. *Gleotrichia echinulata* izdalītie toksīni

*Gleotrichia echinulata* var kļūt toksiska, cilvēkam, kurš nonāk saskarē ar šīs aļģes lielu koncentrāciju ūdenstilpē, var izraisīt ādas bojājumus un gremošanas sistēmas traucējumus (Shannon 2013). Pašlaik nav konstatēti dzīvnieku nāves gadījumi, kuros tiek vainojami *Gleotrichia echinulata* izdalītie toksīni. *Gleotrichia echinulata* satur gan citotoksīnus, gan biotoksīnus (Crayton 2004). Konstatēts, ka *Gleotrichia echinulata* producē dažādus mikrocistīnus (Huisman *et al.* 2005).

Ūdens ekosistēmās toksīnus neitralizē heterotrofās baktērijas, bet, ja notiek lēna ūdens apmaiņa un slāņu sajaukšanās, baktērijas nespēj tik ātri tikt galā ar šiem toksīniem un to koncentrācijas pieaug. Mikrocistīni ir visbiežāk konstatētie aļģu toksīni, pašlaik zināmi ap 60 to veidu, tie var atšķirties dažādos reģionos. Kā arī to toksicitāte var diezgan krasi atšķirties, tomēr bieži ir grūti izšķirt, kuru mikrocistīna veidu zilaļģe producē. Visbiežāk tiek konstatēts hepatotoksīns - mikrocistīns-LR (Huisman *et al.* 2005). Pēc ķīmiskās uzbūves tas ir ciklisks heptapeptīds (O`Sullivan 2004).



2. attēls. Mikrocistīna-LR ķīmiskā formula (Honkanen *et al.* 1990).

Figure 2. The chemical structure of microcystin-LR (Honkanen *et al.* 1990).

*Gleotrichia echinulata* kolonijas, kuras tika ievāktas ASV, Ņūhempšīrā, oligotrofos ezeros producē mikrocistīnu-LR, tomēr tā koncentrācija ir zemāka nekā citās zilaļģēs, kurās arī konstatēts mikrocistīns-LR. Tā, piemēram, *Microcystis aeruginosa* (gramos) mikrocistīnu-LR satur koncentrācijās no 0.01 līdz 1.73 mg, bet *Radiocystis fernandoi* pat 2.47 mg mikrocistīna-LR. Savukārt *Gleotrichia echinulata* koloniju (uz gramu) vidējā mikrocistīna-LR koncentrācija bija tikai 94.91 ng (Carey *et al.* 2007). Tomēr literatūrā tiek minēts, ka pat nelielas mikrocistīna-LR koncentrācijas var negatīvi ietekmēt ezera barības ķēdes (Babica *et*

al. 2006 cit. pēc Carey *et al.* 2012), tāpēc ir svarīgi noteikt mikrocištīna-LR koncentrācijas arī citos ezeros.

Turpmākos gados, veicot ikgadējus *Gleotrichia echinulata* novērojumus 37 Meinas un Ņūhempšīras ezeros (ASV) un nosakot mikrocištīna koncentrācijas, tika iegūts, ka tās svārstās no 58.5 ng/g līdz 7148.1 ng/g. Mikrocištīna-LR daudzums citās zilaļģēs ir atkarīgs no temperatūras, barības vielām, ūdens pH. Šie faktori tiek uzskatīti kā nozīmīgi arī *Gleotrichia echinulata* mikrocištīna-LR produkcijā. Tomēr šo ezeru pētījumā korelācija starp barības vielu daudzumu (N un P) netiek novērota. Mikrocištīna-LR koncentrācijas ir vismaz divas reizes zemākas, lai spētu ietekmēt barības ķēdes, tomēr, ja koloniju skaits palielinoties līdz maksimumam (pētījumā 250 kolonijas), toksīni, kas nokļūst aprītē var izraisīt ekoloģiskas izmaiņas (Carey *et al.* 2012).

Saindēšanās simptomi ar toksīnu mikrocištīnu atklāti liellopiem, aitām, zirgiem, cūkām, pelēm un citiem savvaļas un mājdzīvniekiem. Dzīvniekiem ir tikusi konstatēta akūta saindēšanās, kad nāve iestājas dažu stundu līdz dažu dienu laikā, bet cilvēkiem konstatēta subakūta saindēšanās, kad tiek sagrautas aknu funkcijas, kas var izraisīt arī kancerogēnas slimības (vēzi) (O`Sullivan 2004).

Mikrocištīns ir konstatēts tādās aļģu ģintīs kā *Microcystis*, *Gleotrichia*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Aphanizomenon*, *Coelosphaerium* (O`Sullivan 2004). Lai noteiktu, vai aļģes satur toksīnus, ir jāveic pētījumi (piemēram, ELISA analīze), kuri uzrāda toksīnu daudzumu. Tāpēc, lai ūdenstilpi pasludinātu par bīstamu, nepietiek ar potenciāli toksiskas sugas konstatēšanu. Sugas konstatēšana var būt tikai par iemeslu kļūt piesardzīgākiem savā ikdienas rīcībā, bet tālākais tiek noteikts balstoties uz toksīnu analīzēm. Aļģes *Gleotrichia echinulata* izdalītais toksīns mikrocištīns ir kļuvis bīstams, kad pārsniedz vienu mikrogramu uz ūdens litru (Chorus *et al.* 1999), ko noteikusi Pasaules Veselības organizācija (World Health Organization), parasti gan šī zilaļģe mikrocištīnu satur zemās koncentrācijas (Carey *et al.* 2007). Mikrocištīns tiek uzkrāts tādos ūdens mugurkaulniekos un bezmugurkaulniekos kā zivis, gliemji, zooplanktons (Chorus *et al.* 1999).

Lai konstatētu, kā mikrocištīns iedarbojas uz dzīvjiem organismiem tiek veikti pētījumi. 1996. gadā tika novērota mikrocištīna ietekme uz pelēm. Toksīns tika izdalīts no Lādogas ezerā ievāktā fitoplanktona parauga, kas saturēja *Anabaena circinalis*, *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena lemmermannii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Gleotrichia echinulata*, *Gleotrichia pisum*, *Microcystis aeruginosa* un *Oscillatoria* sp.. Letālā deva (LD<sub>50</sub>) pelēm bija 45 – 125 mg/kg<sup>-1</sup> (Gromov *et al.* 1996).

Pētījumi parāda, ka aļģu toksīni kavē zooplanktona barošanas un fizioloģiskos procesus, kas rezultējas mirstības pieaugumā. Šos faktorus pētījis DeMott *et al.* (1991),

izdalot toksīnu mikrocistīnu-LR. Tika novērtēta barošanās uzvedība un izdzīvotība izvēlētām zooplanktona sugām (\*. tabula). Augstākie izdzīvošanas rādītāji (*Daphnia pulex*) atbilda straujai barības uzņemšanas kavēšanai, lai novērstu toksisko šūnu uzņemšanu. Tikmēr vissliktāk izdzīvojošiem (*Diaptomus birgei*) barības uzņemšana nekavējās/netika ierobežota. Tātad zooplanktona sugas, kurām ir barošanās kavēšana, izdzīvo ilgāk, nekā, ja barošanās notiek kā ierasts. Tomēr, ja ilgi turpinās barošanās aizkavēšana, zooplanktona populācija var nonākt arī līdz pilnīgam samazinājumam (Sigeo 2005).

1. tabula

Toksīna mikrocistīns-LR ietekme uz zooplanktona sugu barošanās uzvedību un izdzīvošanas spējām (DeMott *et al.* 1991).

Table 1

Effect of algal toxin microcystin-LR on the survival and feeding behaviour of zooplankton species (DeMott *et al.* 1991).

<b>Suga</b>	<b>Barošanās uzvedība</b>	<b>Izdzīvotība</b>
<i>Diaptomus birgei</i>	Nav kavēšanas/izmaiņu	Zema/niecīga
<i>Daphnia pulex</i>	Nav kavēšanas/izmaiņu	Vidēja
<i>Daphnia pulex</i>	Strauja kavēšana (neēd)	Laba/augsta

## 2. MATERIĀLI UN METODEDES

### 2.1. Pētījuma vieta

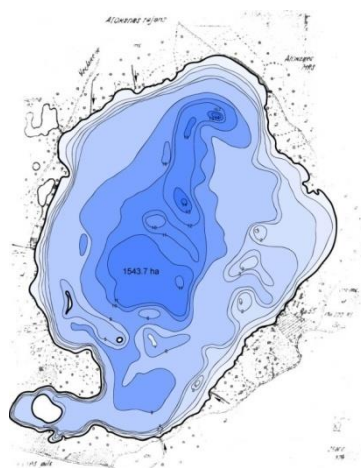
Pētījums tiek veikts Alūksnes novadā, Alūksnes ezerā (3. attēls). Ezers atrodas Alūksnes pilsētas un Jaunalūksnes pagasta robežās (Anonymous 2013<sub>1</sub>).



3. attēls. Alūksnes ezera atrašanās vieta Latvijā kartē.

Figure 3. Lake Aluksne location in map of Latvia.

Alūksnes ezers ilgi ir bijis oligotrofs, bet 20. gs 60. gados sācis eitrofizēties, ezeru piesārņojot ar notekūdeņiem (Tidriķis 1994). Pašlaik to klasificē kā mezotrofu, tomēr fitoplanktona biomasas ir nelielas, gandrīz oligotrofu ezeru līmenī. Alūksnes ezera vidējais dziļums ir 7.1 m (maksimālais – 15.2 m) (4. attēls), tas ir vienpadsmitais lielākais Latvijas ezers pēc virsmas platības – 1543.7 ha. Ezerā atrodas 4 salas – Pilssala jeb Marijas sala, Garā sala jeb Līgavas plīvurs, Ceperīte, Mazā jeb Tīklu sala (Anonymous 2013<sub>1</sub>).



4. attēls. Alūksnes ezera dziļuma karte (Anonymous 1975).

Figure 4. Depth map of Lake Aluksne (Anonymous 1975).

Paraugu ņemšanai tiek izvēlētas 10 vietas: četras vietas iekšezērā, četras vietas izkārtotas transektē virzienā no iekšezera uz atklāto ezeru un divas vietas atklātajā Alūksnes ezerā (5. attēls). Paraugu ņemšanas vietu koordinātas attēlotas 2. tabulā.



5. attēls. Paraugu ņemšanas vietas Alūksnes ezerā.

Figure 5. Sampling points in Lake Aluksne

2. tabula  
Paraugu ņemšanas vietu koordinātas.

Table 2  
Coordinates of sampling points.

<b>Vietas nr.</b>	<b>Z platums</b>	<b>A garums</b>
<b>1.</b>	57° 25'' 866	27° 03'' 896
<b>2.</b>	57° 25'' 866	27° 02'' 896
<b>3.</b>	57° 25'' 682	27° 02'' 856
<b>4.</b>	57° 25'' 514	27° 03'' 377
<b>TRA1</b>	57° 25'' 619	27° 03'' 542
<b>TRA2</b>	57° 25'' 704	27° 03'' 806
<b>TRA3</b>	57° 25'' 746	27° 04'' 097
<b>TRA4</b>	57° 25'' 790	27° 04'' 389
<b>6.</b>	57° 27'' 843	27° 05'' 929
<b>8.</b>	57° 26'' 671	27° 05'' 360

Fitoplanktona paraugi, lai noteiktu biomasu, tiek ņemti 3. stacijā iekšezērā un 6. un 8. stacijā atklātajā ezerā. 3. un 8. stacijā tiek ņemti četras reizes – 13.05., 25.06., 30.07. un 02.09.14. 6. stacijā paraugi tiek paņemti tikai pavasara mērījumos – 13.05.14.

Hlorofils a, kopējais fosfors un slāpeklis tiek noteikts 1., 3., 4., 6. un 8. stacijā tajos pašos datumos, kad fitoplanktons, kā arī papildus 08.10.14.

Tā kā *Gleotrichia echinulata* netiek konstatēta, izmantojot tradicionālo fitoplanktona noteikšanas metodi, to konstatēšanai Alūksnes ezerā tiek skatīti sedimenti. Tas, ka Alūksnes ezera ziedēšanu izraisa zilaļģe *Gleotrichia echinulata*, tiek konstatēts tikai 31.07.14. Nākamajā Alūksnes ezera apsekošanas reizē *Gleotrichia echinulata* kolonijas vairs netika konstatētas ūdens virsējā slāni, tās bija nogrimušas. Tāpēc tika ņemti sedimentu paraugi. Sedimentu paraugi ņemti tajās pat stacijās, kur fitoplanktons, bet vairāk koncentrējoties uz iekšezeru. Balstoties uz hipotēzi, ka iekšezerā ir lielāks barības vielu daudzums un *Gleotrichia echinulata* masveida savairošanās sākas no iekšezera. Tiek izmantota transektes metode, kurā iekļauj četras paraugu ņemšanas vietas (TRA1, TRA2, TRA3, TRA4), lai novērotu, kā izmainās koloniju skaits virzienā uz atklāto ezeru. Lai *Gleotrichia echinulata* varētu attīstīties, gultnē jābūt dūņu kārtai, jo smiltīs tās nevar pārziemot un uzsākt jaunu attīstības ciklu.

## 2.2. Metodes

Fitoplanktona paraugi tiek ņemti iesmeļot ezera ūdeni no ūdens virskārtas un, fiksējot ar etiķskābā lugola šķīdumu. Fitoplanktona paraugs tiek skatīts invertētajā mikroskopā LEICA 2000, tiek noteikts sugu sastāvs un biomasas.

Ūdens hlorofila a analīzēm tiek filtrēts uz Whatmann GF/C 47mm filtra. Hlorofils a tiek ekstrahēts ar 96% etanolu, veicot ekstrakciju 24h un noteikts spektrofotometriski pie 665 un 750 nm viļņu garumiem (Lorenzen 1967).

Sedimentu paraugs tiek ņemts ar Ponara tipa bentosa kausu (U. S. EPA. 2001), sedimentu ķīmijas noteikšanai tiek paņemts sedimentu paraugs, bet *Gleotrichia echinulata* koloniju skaitīšanai tiek paņemts paraugs ar sedimentu virsējo kārtu kopā ar ezera ūdeni.

Kopējais fosfora un slāpekļa daudzums epilimnija slānī tika noteikts ar standartmetodēm (Grashoff 1976) Latvijas Hidroekoloģijas institūta laboratorijā.

*Gleotrichia echinulata* skaitīšanai tiek pielāgota zooplanktona skaitīšanas kamera. Skatot piecus gramus sedimentu virskārtas, ko, lai vieglāk ieraudzītu *Gleotrichia echinulata* kolonijas, vēl atšķaida ar ūdeni. Rezultātā iegūst *Gleotrichia echinulata* skaitu uz pieciem gramam sedimentu.

Kopējais fosfora daudzums sedimentos noteikts ar spektrofotometrijas metodi, skatot šķīduma gaismas absorbciju pie viļņu garuma 855 nm. Jo labāk šķīdums absorbē gaismas viļņus (jo lielāka absorbcija), jo lielāka ir kopējā fosfora koncentrācija. Gala rezultātā iegūst

kopējo fosfora daudzumu uz vienu gramu sedimentu, izteiktu mikrogramos (Froelich *et al.* 1988).

### 2.3. Datu apstrāde

Iegūtie rezultāti tiek apstrādāti programmās MS Excel un PAST. Rezultāti vizuāli tiek parādīti izmantojot MS Excel programmā veidotos grafikus un diagrammas.

Lai noteiktu Alūksnes ezera iedalījumu pēc trofijas, tiek izmantots Trofiskā Stāvokļa Indekss (TSI) pēc Karlsona, kuram par pamatu ņem hlorofilu a (Chla) un kopējo fosfora daudzumu (TP) µg/l. Izmantojot sekojošas formulas:

$$TSI(Chla) = 10 \left( 6 - \frac{2.04 - 0.695 \ln Chla}{\ln 2} \right)$$

$$TSI(TP) = 10 \left( 6 - \frac{\ln \left( \frac{80.32}{TP} \right)}{\ln 2} \right)$$

TSI vērtības attiecināmas:

TSI < 44 – oligotrofs;

44 < TSI < 54 – mezotrofs;

TSI > 54 – eitrofs (Carlson 1977 cit. pēc Molisani *et al.* 2010).

Balstoties uz Carey 2013 pētījuma, tiek noteikta fitoplanktona sugu daudzveidība – pēc Šenona daudzveidības indeksa, tas tiek veikts programmā PAST un attēlojot iegūtos indeksus grafiski programmā MS Excel.

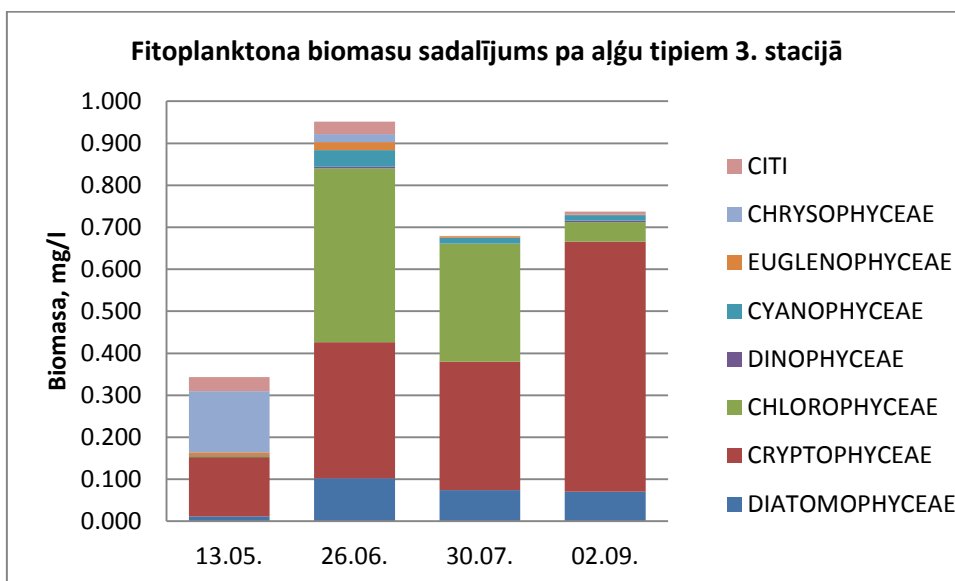
### 3. REZULTĀTI

#### 3.1. Fitoplanktona analīze Alūksnes ezerā

Fitoplanktona biomasas un sugu sastāvs tika noteikts 3., 6. un 8. stacijā. Apkopojot iegūtos rezultātus, tika noteikti dominējošie aļģu tipi katrā šajā stacijā.

Iekšezērā (3. stacijā) pavasarī (13.05.2014.) kopējā fitoplanktona biomasa ir 0.34 mg/l, pēc biomasām dominē hrizofītaļģes *Chrysophyceae* (0.146 mg/l) un kriptofītaļģes *Cryptophyceae* (0.141 mg/l). 25. jūnijā šajā stacijā ir sasniegta augstākā kopējā biomasa (0.95 mg/l), kā dominējošais aļģu tips ir zaļaļģes *Chlorophyceae* (0.414 mg/l), bet arī kriptofītaļģēm ir diezgan liels īpatsvars (0.325 mg/l). Arī 30. jūlijā dominē zaļaļģes un kriptofītaļģes, savukārt rudens sākumā (02.09.14.) novērojams, ka lielāko daļu no kopējās biomasas aizņem tieši kriptofītaļģes. Iekšezērā visu pētījuma laiku dominē kriptofītaļģes (6. attēls).

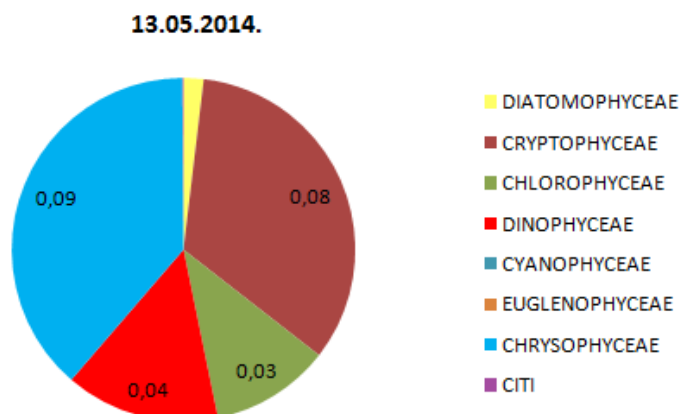
Atklātajā ezerā 13. maijā fitoplanktona biomasas tika noteiktas 6. un 8. stacijā. 6. stacijā kopējā fitoplanktona biomasa bija viszemākā visā pētījuma laikā – 0.24 mg/l, kā arī nav izteikta dominējošā aļģu tipa (lielākā biomasa hrizofītaļģēm – 0.09 mg/l) (7. attēls). Savukārt 8. stacijā hrizofītaļģu dominēšana ir daudz izteiktāka (0.70 mg/l no kopējās biomasas 0.98 mg/l). Turpmāk fitoplanktona biomasas tika noteiktas tikai 8. stacijā. 25. jūnijā izteikti dominē kramaļģes *Diatomophyceae* ar biomasu 0.522 mg/l (kopējā 0.90 mg/l), bet 30. jūlijā nav novērojama neviena aļģu tipa izteikta dominānce. Septembra sākumā (02.09.2014.) atkal dominē kramaļģes (8. attēls).



6. attēls. Fitoplanktona aļģu sadalījums pēc aļģu tipiem Alūksnes ezera 3. stacijā.

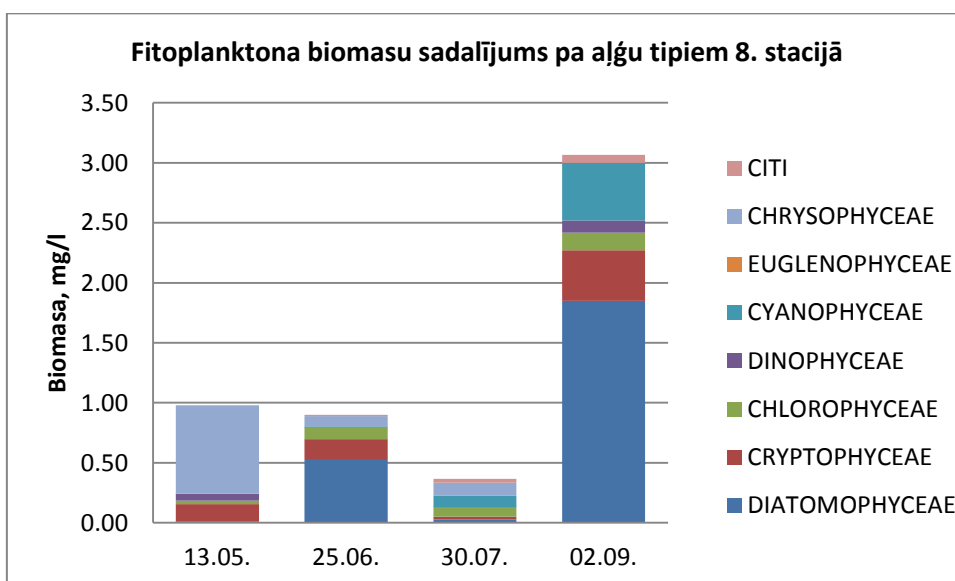
Figure 6. The distribution of phytoplankton by algae types in Lake Aluksne 3rd station.

## Fitoplanktona biomasu (mg/l) sadalījums pēc aļģu tipiem 6 . stacijā



7. attēls. Fitoplanktona aļģu sadalījums pēc aļģu tipiem Alūksnes ezera 6. stacijā.

Figure 7. The distribution of phytoplankton by algae types in Lake Aluksne 6th station.

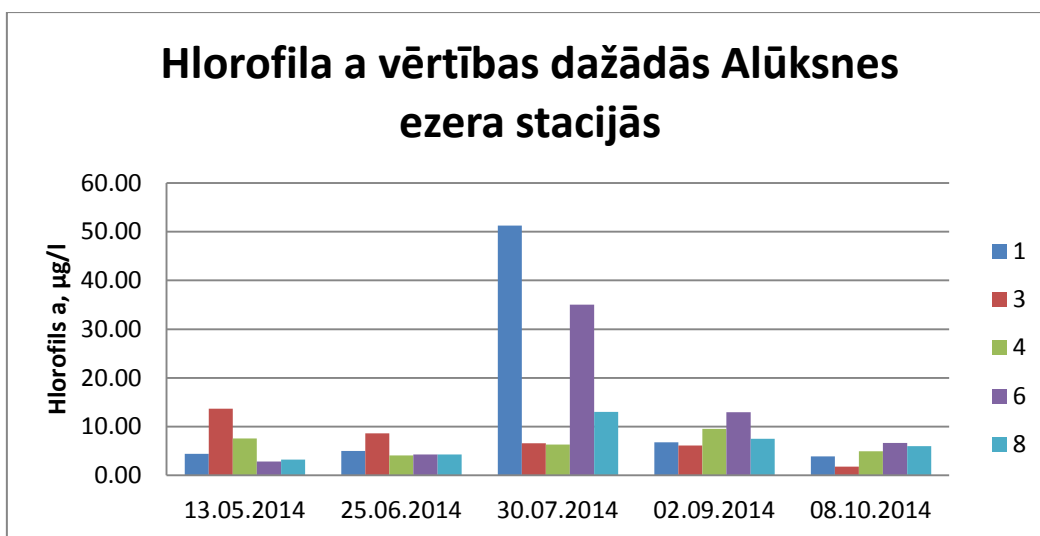


8. attēls. Fitoplanktona aļģu sadalījums pēc aļģu tipiem Alūksnes ezera 8. stacijā.

Figure 8. The distribution of phytoplankton by algae types in Lake Aluksne 8th station.

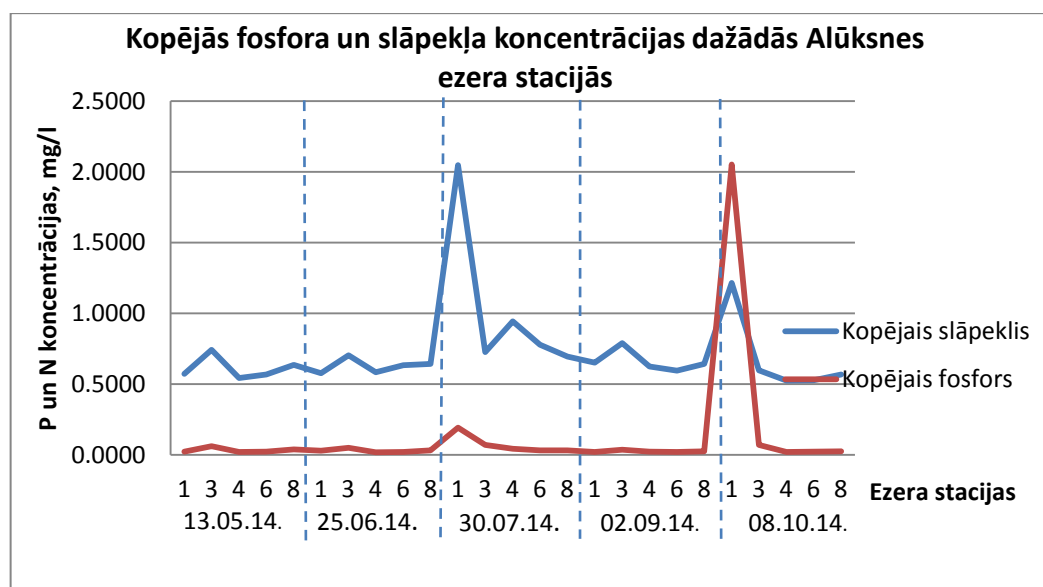
Hlorofils a, kopējais fosfors un slāpekļis tika noteikts 1., 3., 4., 6. un 8. stacijā. Tajos pašos datumos, kad ņemti fitoplanktona dati, kā arī pievienojot vēl vienu mērījumu – 8. oktobrī. Augstākās hlorofila a vērtības tiek konstatētas 30. jūlijā – 1. un 6. stacijā. 1. stacijā (iekšezerā) tā ir 51.23  $\mu\text{g/l}$ , bet 6. stacijā (atklātajā ezerā) 35.01  $\mu\text{g/l}$ . Fosfora un slāpekļa maksimālās vērtības ir 8. oktobrī, kad fosfors sasniedz 2.05 mg/l, bet slāpekļis 1.22 mg/l. Augsta slāpekļa vērtība ir arī 30. jūlijā – 2.05 mg/l, bet fosfors šajā datumā ir ļoti niecīgos

lielumos (0.19 mg/l). Pārējos datumos hlorofila a vērtības ir nelielas, nav novērojamas lielas izmaiņas, hlorofils a ir no 1.83 līdz 13.69 µg/l (9. attēls).



9. attēls. Hlorofila a vērtības dažādās Alūksnes ezera stacijās.

Figure 9. Chlorophyll a values in various Lake Aluksne stations.

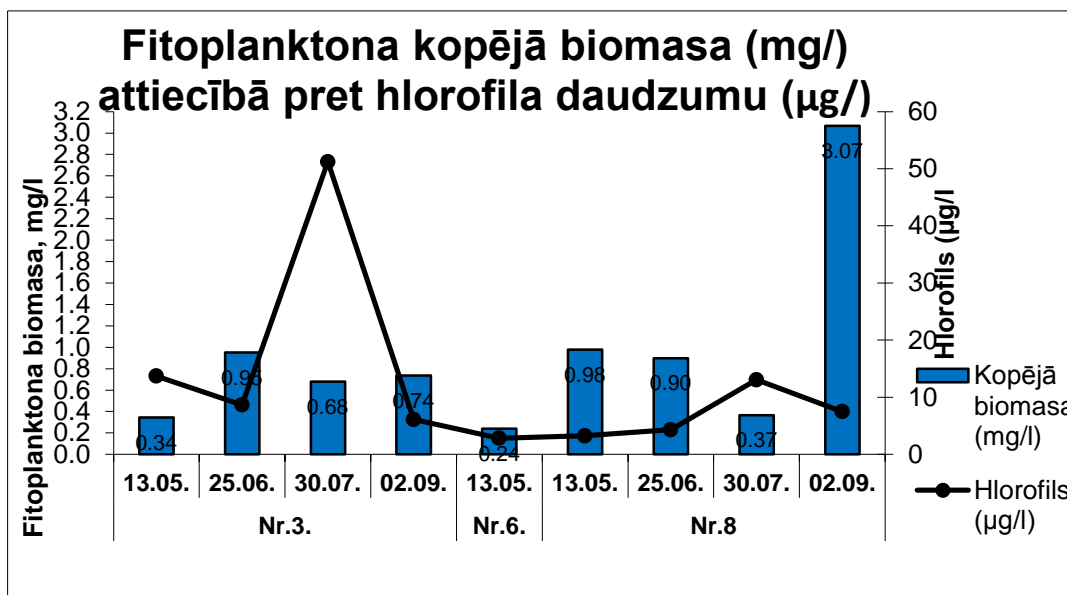


10. attēls. Kopējās fosfora un slāpekļa koncentrācijas (mg/l) dažādās Alūksnes ezera stacijās.

Figure 10. Total phosphorus and nitrogen concentrations (mg/l) in various Lake Aluksne stations.

Tomēr salīdzinot fitoplanktona kopējās biomasas ar hlorofila daudzumu, novēro, ka hlorofila daudzums gandrīz visās stacijās (3., 6. un 8. stacijā) ir augstāks nekā noteiktās fitoplanktona biomasas. Bet hlorofils a ir atkarīgs no fitoplanktona biomasas, tāpēc pie

hlorofila augstākajām vērtībām vajadzētu būt arī augstākajām fitoplanktona kopējās biomasas vērtībām (11. attēls).



11. attēls. Fitoplanktona kopējā biomasas (mg/l) attiecībā pret hlorofila daudzumu (µg/l) Alūksnes ezerā 3., 6. un 8. stacijā.

Figure 11. Phytoplankton total biomass (mg / l) relative to the chlorophyll content (mg / l) in Lake Aluksne 3rd, 6th and 8th station.

Izmantojot hlorofila a vērtības un kopējo fosfora daudzumu, var noteikt ezeru iedalījumu pēc trofijas (Carlson 1977 cit. pēc Molisani *et al.* 2010). Pēc hlorofila a Trofiskā Stāvokļa Indekss (TSI) ir 52.155, kas atbilst mezotrofiem apstākļiem. Bet pēc kopējā fosfora daudzuma Alūksnes ezers klasificējams kā eitrofs (TSI = 65.768), bet izdalot atsevišķi iekšezera teritoriju un atklāto teritoriju, var redzēt, ka iekšezers ir eitrofs (TSI = 92.932), bet atklātais ezers oligotrofs (TSI = 42.962). Tātad atklātajā ezera daļā ir ļoti maz barības vielu, kuras tik ļoti nepieciešamas fitoplanktona attīstībai.

30. jūlijā tiek noskaidrots, ka zilaļģe, kas izraisījusi Alūksnes ezera ziedēšanu ir *Gleotrichia echinulata*, bet fitoplanktona paraugos šī suga ir konstatēta tikai dažu pavedienu veidā (3. pielikums). Tas nozīmē, ka *Gleotrichia echinulata* kolonijas netika konstatētas fitoplanktona paraugos, un tām nepieciešama cita uzskaites metode. Pēc vizuāliem novērojumiem, lielākā aļģes ziedēšana ir tieši 30. jūlijā, kad arī novērota augstākā hlorofila a vērtība (9. attēls).

Nākamajā paraugu ņemšanas reizē *Gleotrichia echinulata* kolonijas jau bija nogrimušas, tāpēc nācās izvēlēties citu metodi – uzskaiti sedimentos.

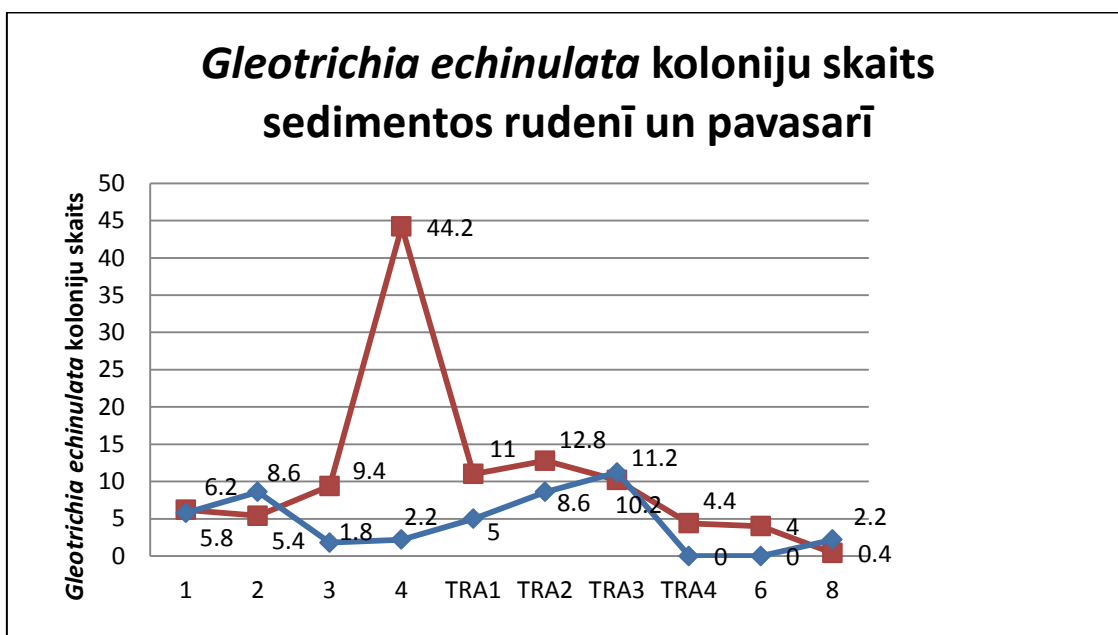
### 3.2. *Gleotrichia echinulata* daudzums sedimentos

Sedimentu paraugi tika ņemti rudens un pavasara sezonā – 2014. gada 10. septembrī un 2015. gada 21. aprīlī. Rudenī paraugi tika paņemti visās stacijās (5. attēls). Pavasarī paraugi netika ievākti TRA4 un 6. stacijā. TRA4 nav parauga, jo šajā apkārtnē nebija iespējams iegūt labu sedimentu paraugu, ar Ponara tipa bentosa kausu tika ievāktas tikai smiltis, ne dūņas.

Rudens paraugos novērojams, ka augstākie rādītāji ir 9. stacijā - 221 kolonija uz 5 gramam sedimentu (kol/5g). Transektu paraugos ir novērojama *Gleotrichia echinulata* koloniju samazināšanās virzienā no iekšezera uz atklāto ezeru. Paraugā TRA2 tās ir 64 kolonijas uz 5 g sedimentu, bet TRA4 tās ir jau tikai 22 kolonijas uz 5 g sedimentu. Savukārt atklātajā ezerā (6. un 8. stacija) koloniju skaits ir vēl mazāks – 20 kolonijas 6. stacijā un 2 kolonijas 8. stacijā (12. attēls).

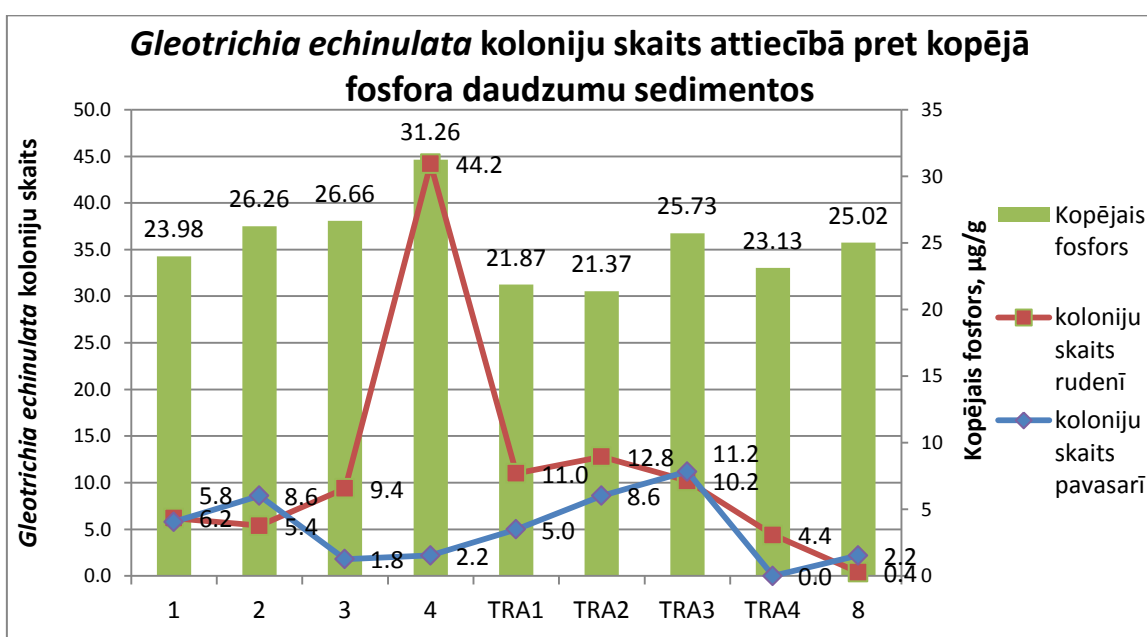
Pavasara paraugos augstākie rādītāji ir TRA3 stacijā – 56 kolonijas piecos gramos sedimentu. Pavasara sezonā novērojams, ka koloniju skaits tieši pieaug virzienā no iekšezera uz atklāto ezeru. TRA1 tās ir 25 kolonijas uz 5 gramam sedimentu, bet TRA3 tās ir jau 56 kolonijas piecos gramos sedimentu. Tomēr koloniju skaits pēc ziemas ir līdzīgs visos parauglaukumos, saglabājot mazāko koloniju skaitu atklātajā ezerā – 8. stacijā – 11 kolonijas uz pieciem gramam sedimentu. Vienīgā lielā atšķirība ir novērojama 4. stacijā, kur rudenī tika atrasts lielākais skaits koloniju, bet pavasara rezultātos tik pat, cik atklātā ezerā, tikai 11 kolonijas piecos gramos sedimentu. Šajā stacijā pavasarī sedimentu paraugs sastāvēja pārsvarā no zālēm, ne no dūņām, kurās var uzkrāties *Gleotrichia echinulata* kolonijas (12. attēls).

Nosakot kopējo fosfora daudzumu uz vienu gramu sedimentu, tika iegūts, ka vislielākā vērtība ir 4. stacijā – iekšezērā. Ceturtajā stacijā kopējais fosfora daudzums ir 31.26 µg/g. Šajā stacijā attiecīgi ir arī augstākais skaits *Gleotrichia echinulata* koloniju – vidēji 44 kolonijas uz gramu. Pārējās ezera stacijās kopējās fosfora vērtības svārstās no 21.37 µg/g līdz 26.66 µg/g. Nav novērojamas izteiktas atšķirības starp pārējo staciju fosfora daudzumu sedimentos (13. attēls).



12. attēls. *Gleotrichia echinulata* koloniju skaits sedimentos rudenī un pavasarī.

Figure 12. The amount of *Gleotrichia echinulata* colonies in sediments in autumn and spring.



13. attēls. *Gleotrichia echinulata* koloniju skaits attiecībā pret kopējā fosfora daudzumu (µg/g) sedimentos.

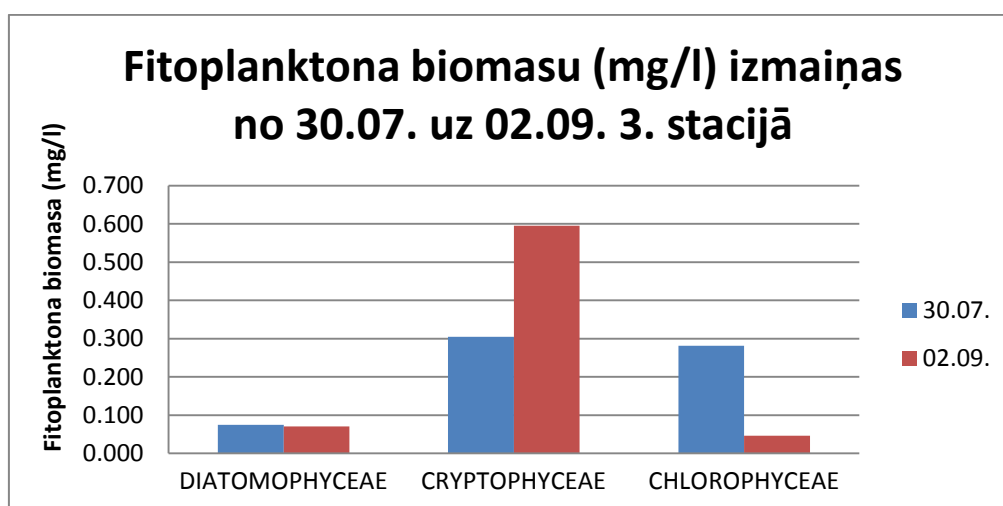
Figure 13. *Gleotrichia echinulata* colony count in relation to the total amount of phosphorus (mg / g) in sediments.

### 3.3. *Gleotrichia echinulata* ietekme uz pārējo fitoplanktonu

*Gleotrichia echinulata* uzpeldot no sedimentiem uz ūdens virsējo kārtu nogādā arī barības vielas. Šīs barības vielas kļūst pieejamas arī pārējam fitoplanktonam, kad *Gleotrichia*

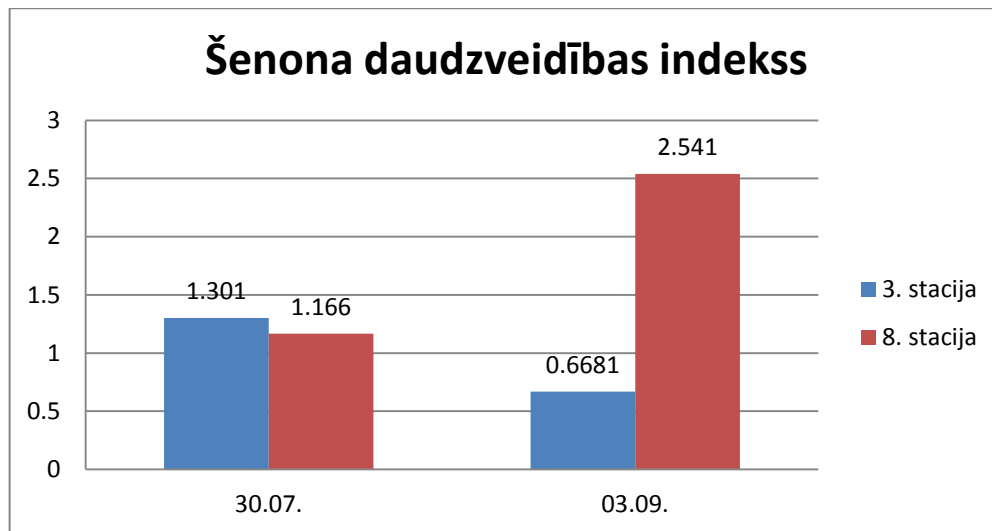
*echinulata* beidz savu dzīves cikla daļu epilimnija slānī un atkal nogrimst sedimentos. Tāpēc tiek apskatīts, kā izmainās fitoplanktona biomasas (dominējošiem aļģu tipiem) un sugu daudzveidība pēc *Gleotrichia echinulata* ziedēšanas.

Iekšezērā (3. stacijā) 30. jūlijā dominējošie aļģu tipi ir kriptofītaļģes un zaļaļģes, kuru biomasas ir ļoti līdzīgas – attiecīgi 0.31 mg/l un 0.28 mg/l. 2. septembrī savukārt novērojams, ka pieaugusi kriptofītaļģu biomasa, bet samazinājusies zaļaļģu, šajā datumā kramaļģu biomasas pat ir lielākas par zaļaļģu biomasām (14. attēls). Fitoplanktona sugu daudzveidība, pēc Šenona daudzveidības indeksa, ir samazinājusies. 30. jūlijā indekss ir 1.301, bet 2. septembrī – 0.668 (15. attēls). Jo lielāka ir Šenona daudzveidības indeksa vērtība, jo lielāka daudzveidība, tas norāda arī, ka starp sugām ir arī mazāka konkurence (Southwood *et al.* 2000).



14. attēls. Fitoplanktona biomasu (mg/l) izmaiņas no 30.07.2014. uz 02.09.2014. 3. stacijā.

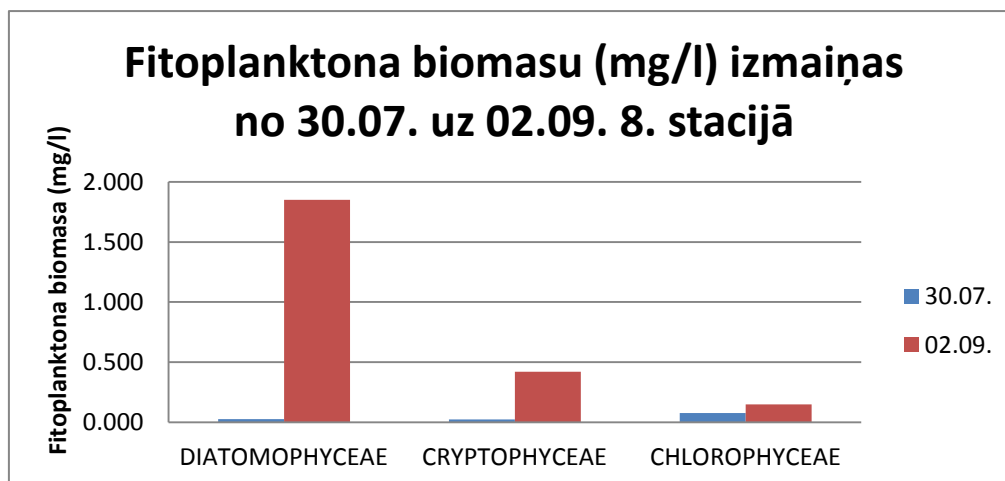
Figure 14. Phytoplankton biomass (mg / l) changes in 3rd station from 30.07.2014. to 02.09.2014.



15. attēls. Fitoplanktona sugu Šenona daudzveidības indekss Alūksnes ezera 3. un 8. stacijā.

Figure 15. Shannon diversity index for phytoplankton species in Lake Aluksne 3rd and 8th station.

Alūksnes ezera atklātajā daļā (8. stacijā) šajos datumos lielākās izmaiņas novērojamas kramaļģu un kriptofītaļģu biomasās. 30. jūlijā atklātajā ezerā fitoplanktona biomasas ir ļoti mazas, kopā tā ir 0.37 mg/l (11. attēls). Kramaļģes aizņem 0.027 mg/l, bet kriptofītaļģes – 0.025 mg/l. Savukārt 3. septembrī kopējā fitoplanktona biomasa ir sasniegusi 3.07 mg/l. Lielākais pieaugums ir kramaļģēm – 1.851 mg/l, tas ir par 68 reizēm vairāk nekā 30. jūlijā. Ievērojams biomasas pieaugums novērojams arī kriptofītaļģēm – 0.420 mg/l, par 16 reizēm vairāk nekā 30. jūlijā (16. attēls). Kā arī ievērojami pieaudzis Šenona daudzveidības koeficients fitoplanktonam, 30. jūlijā tas ir 1.166, bet 2. septembrī 2.541 (17. attēls).



16. attēls. Fitoplanktona biomasu (mg/l) izmaiņas no 30.07.2014. uz 02.09.2014. Alūksnes ezera 8. stacijā

Figure 16. Phytoplankton biomass (mg / l) changes in 8th station from 30.07.2014. to 02.09.2014.

## 4. DISKUSIJA

Iekšezērā (3. stacijā) visu pētījuma periodu (gan vasaras sākumā, gan vasaras vidū un rudens sākumā) fitoplanktonā dominē kriptofītaļģes *Cryptophyceae* (6. attēls). Mērenajā klimata joslā parasti novērojams, ka pavasarī dominē kramaļģes, zeltainās aļģes un kriptofītaļģes. Vasarā vēl joprojām saglabājas liels daudzums kramaļģu, bet tās parasti pārspēj zilaļģes un zaļaļģes (Šiliņš u.c. 2013). Iekšezērā arī novērojams, ka pavasarī (13.05.2014.) dominē zeltainās aļģes *Chrysophyceae* un kriptofītaļģes *Cryptophyceae*, savukārt vasarā (26.06.2014. un 30.07.2014.) lielu daļu no fitoplanktona biomasas aizņem arī zaļaļģes *Chlorophyceae* (6. attēls).

Arī atklātajā ezerā (6. un 8. stacijā) novērojamas mērenās joslas fitoplanktona attīstības tendences. Pavasarī (13.05.) dominē zeltainās aļģes *Chrysophyceae* un kriptofītaļģes *Cryptophyceae*, bet jūnijā un septembrī novērojams kramaļģu *Diatomophyceae* pieaugums. Jūlijā savukārt 8. stacijā novērojams zilaļģu *Cyanophyceae* biomasas pieaugums (7. un 8. attēls).

Fitoplanktona kopējās biomasas Alūksnes ezerā ir zemas, kas norāda, ka ūdenstilpei ir labs ekoloģiskais statuss (Lampert *et al.* 2007). Fitoplanktona biomasas ir robežās no 0.24 līdz 0.98 mg/l. Izņemot 2. septembrī 8. stacijā, kad fitoplanktona biomasas ievērojami atšķiras no pārējiem rādītājiem, sasniedzot 3.07 mg/l (11. attēls). Ezeru ekoloģisko kvalitāti, izmantojot fitoplanktonu, vērtē pēc šādiem parametriem: kopējais slāpeklis, kopējais fosfors, hlorofils a, fitoplanktona kopējā biomasas un dzidrūdens ezeriem arī pēc caurredzamības ar Seki disku (Anonymous 2004).

Parasti hlorofila a koncentrācijas ir daži mikrogrami uz litru ūdens. Ja hlorofila a koncentrācija pārsniedz 10 µg/l, var konstatēt, ka ir notikusi fitoplanktona masveida savairošanās (NYSFOLA 2009). Kopumā Alūksnes ezerā veiktajā pētījumā pieci iegūtie hlorofila a koncentrāciju rezultāti pārsniedz 10 µg/l. Pavasara mērījumos 13. maijā 3. stacijā, kas atrodas iekšezērā, hlorofila a koncentrācija ir 13.69 µg/l. Nedaudz augstāka par 10 µg/l hlorofila a koncentrācija ir arī 2. septembrī 6. stacijā – 13.00 µg/l. Pārējās trīs vērtības norāda uz fitoplanktona masveida savairošanos 30. jūlija mērījumos. 8. stacijā hlorofila a vērtība ir neliela – 13.05 µg/l, bet 6. un 1. stacijā tās jau ir ievērojami lielākas – attiecīgi 35.01 µg/l un 51.23 µg/l.

Pēc hlorofila a koncentrācijas 3. stacijā (iekšezerā) – 51.23 µg/l – var konstatēt, ka notiek aļģu ziedēšanas process (NYSFOLA 2009), bet fitoplanktona biomasas rādītāji ir ļoti nelieli – tikai 0.68 mg/l. Vizuāli novērtējot ezera virsējo kārtu tiek konstatēts, ka notiek zilaļģes *Gleotrichia echinulata* masveida savairošanās. Šī aļģe fitoplanktona paraugos ir konstatēta tikai 30. jūlijā un arī tikai dažu pavedienu veidā. Pēc literatūras datiem *Gleotrichia echinulata* fiksējot lugola šķīdumā, tā nenogrimst kā citas fitoplanktona sugas (Chorus *et al.* 1999). Tāpēc, lai novērtētu šīs aļģes biomasu ir jāizmanto citas uzskaites metodes.

Tā kā *Gleotrichia echinulata* ūdens virskārtā ir sastopama tikai neilgu laiku, vasaras karstākajā laika posmā (Lampert *et al.* 2007), nākamajā paraugu ņemšanas reizē *Gleotrichia echinulata* kolonijas jau bija nogrimušas. Ņemot vērā *Gleotrichia echinulata* dzīves ciklu, ka tā daļu dzīves pavada ūdens virskārtā, bet pārziemo un uzņem barības vielas sedimentos (Carey 2006), tālākā pētīšana notiek izmantojot sedimentus. Pēc izvirzītās hipotēzes, lielāks *Gleotrichia echinulata* skaits būs iekšezerā, skaitam samazinoties virzienā no iekšezera uz atklāto Alūksnes ezeru. Kā arī tika izvirzīta hipotēze, ka *Gleotrichia echinulata* koloniju skaits būs lielāks stacijās ar augstāko kopējā fosfora daudzumu. Pētījuma rezultāti parāda, ka izteikti vairāk *Gleotrichia echinulata* koloniju ir 4. stacijā un arī lielākais fosfora daudzums ir iekšezerā – 4. stacijā. Sedimentu paraugos, kuri ievākti rudenī, novērojams, ka koloniju skaits samazinās virzienā no iekšezera uz atklāto ezeru (TRA1 – TRA4), savukārt pavasara sezonā šī sakarība nav novērojama. Arī kopējais fosfora daudzums virzienā uz atklāto ezeru ir svārstīgs, nav novērojama sakarība, ka tas samazinātos (13. attēls).

Izvirzītā hipotēze, ka vairāk *Gleotrichia echinulata* koloniju ir sedimentos ar augstāku kopējo fosfora daudzumu, apstiprinās. Kā arī noskaidrojās, ka augstākais barības daudzums ir iekšezerā - stacijā, kura ir seklā, lēzenā vietā, kurā var uzkrāties barības vielas un arī *Gleotrichia echinulata* kolonijas. Tomēr hipotēze, ka *Gleotrichia echinulata* koloniju skaits un arī kopējais fosfora daudzums samazinās virzienā no iekšezera uz atklāto ezeru pilnībā neapstiprinājās. Abi šie lielumi gan ir mazāki kā iekšezerā, tomēr nav novērojama tendence samazināties tieši dziļāk atklātajā ezerā, šie lielumi ir svārstīgi. Iespējams, tie ir atkarīgi no grunts sastāva un sedimentu daļiņu frakcijas.

Ja *Gleotrichia echinulata* ir sastopama ūdenstilpē lielos daudzumos, tas izraisa pozitīvu efektu uz pārējā fitoplanktona biomasu pieaugumu, pārsvarā izmēros mazam fitoplanktonam (<30 µm), kas ir tipiski izmantojams kā barība zooplanktonam. Zaļāļģēm un kramaļģēm novērots biomasas pieaugums pat par 5800% un 6400%. Ne tik ievērojami, tomēr biomasas pieaug arī kriptofītaļģēm un eiglēnaļģēm (Carey *et al.* 2013). Salīdzinot biomasas

lielumus 30. jūlijā iekšezērā 3. stacijā, kad tiek konstatēta *Gleotrichia echinulata* masveida savairošanās fitoplanktona kopējā biomasa ir 0.68 mg/l. Bet, kad *Gleotrichia echinulata* kolonijas jau nogrimušas – 3. septembrī, biomasa ir 0.74 mg/l, kopējais pieaugums ir neliels. Biomasa ir pieaugusi kriptofītaļģēm, bet samazinājusies zaļaļģu biomasa (14. attēls).

Savukārt atklātā ezerā 8. stacijā novērojams, ka 30. jūlijā kopējā fitoplanktona biomasa ir zema – 0.37 mg/l, bet 3. septembrī tā ir ievērojami pieaugusi - 3.07 mg/l (16. attēls). Ievērojami biomasas ir pieaugušas kramaļģēm, par 6755 %. Pieaugumi novērojami arī kriptofītaļģēm un zaļaļģēm – attiecīgi par 94 % un 47%. Eitrofos ezeros zilaļģēm ir negatīvs efekts uz pārējā fitoplanktona attīstību, jo tās savairojoties aiztur gaismu, galveno limitējošo faktoru nedzidros ūdeņos. Oligotrofos ezeros fitoplanktonu vairāk limitē barības vielu daudzums, ne gaisma. Tāpēc zilaļģes *Gleotrichia echinulata* ziedēšana var stimulēt arī pārējo fitoplanktonu, fiksējot slāpekli un transportējot fosforu no sedimentiem. Fitoplanktona biomasa pieaug, kad *Gleotrichia echinulata* kolonijas nogrimst un sāk sadalīties (Carey et al. 2013). Tā kā atklātā ezera daļa pēc fosfora daudzuma ir oligotrofā stāvoklī, barības vielu ir maz, fitoplanktona attīstībai ļoti nozīmīgas kļūst *Gleotrichia echinulata* transportētās barības vielas. Savukārt iekšezērā apstākļi ir eitrofi, zilaļģes ziedēšana nenodrošina gaismas piekļuvi un fitoplanktons nespēj attīstīties.

*Gleotrichia echinulata* kolonijām novecojot un nogrimstot, palielinās arī fitoplanktona sugu daudzveidība. Oligotrofā Sunapee ezerā ASV (Lake Sunapee) fitoplanktona sugu daudzveidība pieauga par vidēji 26 %, pēc *Gleotrichia echinulata* koloniju nogrimšanas. Šenona daudzveidības indekss bija 0.82, bet pēc *Gleotrichia echinulata* laika, ko tā pavada epilimnija slānī un atkal nogrimst, indekss bija 1.11 (Carey et al. 2013). Salīdzinot Alūksnes ezera Šenona daudzveidības indeksus fitoplanktonam redzams, ka tas ir pieaudzis atklātajā ezerā (8. stacijā) (15. attēls). Tas nozīmē, ka arī Alūksnes ezerā *Gleotrichia echinulata* nodrošina ūdens stabu ar fitoplanktonam tik nepieciešamajām barības vielām, starp sugām vairs nav tik lielas konkurences par barību. Tas rezultējas fitoplanktona daudzveidības pieaugumā.

Tātad, ja *Gleotrichia echinulata* savairošanās pieaug gadu no gada, tas varētu ierosināt arī pārējā fitoplanktona masveida savairošanos tieši atklātajā ezerā, kurš aktīvi tiek izmantots Alūksnes iedzīvotāju un viesu atpūtai. Svarīgi ir attīrīt iekšezēru, no kura arī rodas problēmas pārējā ezerā.

Šī pētījuma laikā iegūts priekšstats par turpmāk izmantojamo metodoloģiju un arī tālākiem pētījuma virzieniem. Pētījumu būtu nepieciešams turpināt, lai noskaidrotu *Gleotrichia echinulata* ietekmi uz Alūksnes ezera barības ķēdēm. Alūksnes novada pašvaldības aģentūra „ALJA” par vienu no saviem mērķiem ir izvirzījusi Alūksnes ezera

attīrīšanu. Lai varētu izstrādāt rekomendācijas ezera apsaimniekošanas uzlabošanai, nepieciešams noteikt fosfora ieplūžu avotus ezerā, noteikt fosfora plūsmu no sedimentiem uz ūdens slāni, nepieciešams uzlabot *Gleotrichia echinulata* kvantitatīvās analīzes (biomasas noteikšana). Tā kā *Gleotrichia echinulata* ir potenciāli toksiska zilaļģe, svarīgi ir noteikt iespējamo toksīnu saturu Alūksnes ezerā, to koncentrācijas un ietekmi uz barības ķēdēm.

## 5. SECINĀJUMI

- Pēc zemajām fitoplanktona biomasām – Alūksnes ezers ir labā ekoloģiskajā stāvoklī.
- Pēc hlorofila a Alūksnes ezers ir mezotrofs, pēc fosfora koncentrācijām - eitrofs iekšezērā, bet oligotrofs atklātajā daļā.
- Lai novērtētu *Gleotrichia echinulata* biomasas virsējā slānī nevar izmantot fitoplanktona metodes.
- Maksimālais *Gleotrichia echinulata* daudzums Alūksnes ezerā novērots 2014. gada 30. jūlijā.
- Sedimentos lielākais daudzums *Gleotrichia echinulata* koloniju konstatēts 4. stacijā (iekšezērā).
- *Gleotrichia echinulata* daudzums sedimentos ir atkarīgs no kopējā fosfora daudzuma.
- Iekšezērā sedimentos ir augstākais kopējais fosfora daudzums, tomēr nav novērojama sakarība fosfora daudzumam samazināties virzienā uz atklāto ezeru.
- *Gleotrichia echinulata* ar barības vielu pārnesi veicina pārejā fitoplanktona biomasu un daudzveidības pieaugumu.

## 6. PATEICĪBAS

Izsaku pateicību bakalaura darba vadītājam par nenovērtējamo atbalstu, konsultācijām un ieinteresētību darba tapšanas laikā. Paldies Allai Ivakinai par palīdzību ķīmijas datu apstrādē.

## 7. LITERATŪRAS SARAKSTS

Alja 2014. Alūksnes ezers tikai makšķerniekiem. <http://www.aluksnesezers.lv/lv/video>

Anonymous 1975. Alūksnes ezera dziļumu karte. Biedrības „Latvijas ezeri” datubāze. <http://www.ezeri.lv/database/1786/>

Anonymous 2004. Noteikumi par virszemes ūdensobjektu tipu raksturojumu, klasifikāciju, kvalitātes kritērijiem un antropogēno slodžu noteikšanas kārtību. Izdevējs: Ministru kabinets. Publicēts: „Latvijas Vēstnesis”, 168 (3116), 22.10.2004.

Anonymous 2013<sub>1</sub>. Alūksnes ezers, biedrības „Latvijas ezeri” datubāze. <http://www.ezeri.lv/database/>

Anonymous 2013<sub>2</sub>. Alūksnes novada pašvaldības aģentūras „ALJA” nolikums, Saistošie noteikumi Nr. 30/2013, izdoti saskaņā ar likuma „Par pašvaldībām” 43. panta trešo daļu un Publisko aģentūru likuma 2. panta otro daļu. 24.10.2013., precizēts 28.11.2013.

Anderson D.M., Glibert P.M., Burkholder J.M. 2002. Harmful Algal Blooms and Eutrophication: Nutrient Sources, Composition, and Consequences – Estuaries, Vol. 25, No. 4b: 704 – 726.

Carey C. 2006. *Gloeotrichia echinulata*: an alga blooming in Lake Sunapee. <http://lakesunapee.org/templates/details.html?x=39>

Carey C.C., Cottingham K.L., Weathers K.C., Brentrup J.A., Ruppertsberger N.M., Ewing H.A., Hairston Jr N.G. 2013. Experimental blooms of the cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata* increase phytoplankton biomass, richness and diversity in an oligotrophic lake – Journal of Plankton Research, Volume 36, Issue 2: 364 -377.

Carey C., Haney J., Cottingham K. 2007. First Report of Microcystin-LR in the Cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata* – Environmental Toxicology, Volume 22, Issue 3: 337 – 339.

Carey C.C., Ewing H.A., Cottingham K.L., Weathers K.C., Quinn T.R., Haney J.F. 2012. Occurrence and toxicity of the cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata* in low-nutrient lakes in the northeastern United States – Aquatic Ecology, Volume 46, Issue 4: 395 – 409.

Carey C.C., Weathers K.C., Cottingham K.L. 2008. *Gloeotrichia echinulata* blooms in an oligotrophic lake: helpful insights from eutrophic lakes – Journal of Plankton Research, Volume 30, Number 8: 893 – 904.

Chorus I., Bartram J. 1999. Toxic cyanobacteria in water; A guide to their public health consequences, monitoring and management. London: E & FN Spon, 416 pp.

Conley D.J., Paerl H.W., Howarth R.W., Boesch D.F., Seitzinger S.P., Havens K.E., Lancelot C., Likens G.E. 2009. Controlling Eutrophication: Nitrogen and Phosphorus – Science, Vol. 323: 1014 – 1015.

Corell D.L. 1998. The Role of Phosphorus in the Eutrophications of Receiving Waters: A Review – Journal of Environmental Quality, Vol. 27, No. 2: 261 – 266.

- Crayton M.A. 2004. Toxic cyanobacteria blooms. Tacoma, Washington: Pacific Lutheran University, Biology Department, 18 pp.
- Dobson M., Frid C. 2009. Ecology of aquatic systems. Oxford, New York: Oxford University Press, 321 pp.
- Doods W.K. 2002. Freshwater ecology : concepts and environmental applications. San Diego: Academic Press, 569 pp.
- Grashoff H. 1976. Methods of seawater analysis. Weinheim: Verlag Chemie, 317 pp.
- Gromov B.V., Verpitsky A.A., Mamkaeva K.A., Voloshko L.N. 1996. A survey of toxicity of cyanobacteria blooms in Lake Ladoga and adjacent water bodies– Hydrobiologia 322: 149-151.
- Honkanen R.E., Zwiller J., Moore R.E., Daily S.L., Kathra B.S., Dukelow M., Boynton A.L. 1990. Characterization of Microcystin-LR, a Potent Inhibitor of Type 1 and Type 2A Protein Phosphatases – The Journal of Biological Chemistry, Vol. 265, No. 32: 19401 – 19404.
- Huisman J., Matthijs H.C.P., Visser P.M. 2005. Harmful Cyanobacteria. Dordrecht: Springer, 241 pp.
- Iesalniece I., Cēdere D. 2009. Veselībai kaitīgās vielas. Rīga: Latvijas Universitāte, Ķīmijas didaktikas centrs, 7 lpp.
- Froelich P.N., Arthur M.A., Burnett W.C., Deakin M., Hensley V., Jahne R., Kaul L., Kim K.H., Roe K., Soutar A., Vathakanon C. 1988. Early diagenesis of organic matter in Peru continental margin sediments: Phosphorite precipitation – Marine Geology, 80: 309-343.
- Karlsson-Elfgren I., Rengefors K., Gustafsson S. 2004. Factors regulating recruitment from the sediment to the water column in the bloom-forming cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata* – Freshwater Biology 49: 265-273.
- Tidriķis A. 1994. Alūksnes ezers - Latvijas daba: enciklopēdija, 1. sējums. Rīga: izdevniecība „Latvijas enciklopēdija”, 255 lpp.
- Kļaviņš M., Zicmanis M. 1998. Ūdeņu ķīmija. Rīga: Latvijas Universitāte, 192 lpp.
- Lampert W., Sommer U. 2007. Limnoecology. Oxford, New York: Oxford University Press Inc., 324 pp.
- Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs 2001. Daugavas baseina ūdeņu kvalitātes vērtējums 2001. gadā. Rīga: LVĢMC, 21 lpp.
- Lorenzen C.J. 1967. Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations – Limnology and Oceanography, Volume 12, Issue 2: 343-346.
- Lozko D. 2013. Alūksnes ezerā zied ūdens. <http://aluksniesiem.diena.lv/vietejas-zinas/aluksnes-ezera-zied-udens-67354>
- Lozko D. 2014. Cik tīrs ir Alūksnes ezers? <http://aluksniesiem.diena.lv/vietejas-zinas/cik-tirs-ir-aluksnes-ezers-83619>

Molisani M.M., de Sousa Barroso H., Becker H., Moreira M.O.P., Hijo C.A.G., do Monte T.M., Vasconcellos G.H. 2010. Trophic state, phytoplankton assemblages and limnological diagnosis of the Castanhao Reservoir, CE, Brasil – Acta Limnologica Brasiliensa, Vol. 22., No. 1: 1 – 12.

NYSFOLA 2009. Diet for a Small Lake: The Expanded Guide to New York State Lake and Watershed Management. New York: New York State Federation of Lake Associations, Inc., 313 pp.

O'Sullivan P.E., Reynolds C.S. 2004. The lakes handbook. Malden: Blackwell Science, 697 pp.

Pettersson K., Herlitz E., Istvanovics V. 1993. The role of *Gloeotrichia echinulata* in the transfer of phosphorus from sediments to water in Lake Erken – Hydrobiologia 253: 123 – 129.

Pratt A., Holme C., Lowell P. 2013. *Gloeotrichia echinulata* populations in selected western Maine Lakes. Maine: Lakes Environmental Association, 17 pp.

Rawson D.S. 1956. Algal Indicators of Trophic Lake Types – Limnology and Oceanography, Volume 1, Issue 1: 18 – 25.

Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton – Journal of Plankton Research, Volume 24, Issue 5: 417 – 428.

Roelofs T.D., Oglesley R.T. 1970. Ecological observations on the planktonic cyanophyte *Gleotrichia echinulata* – Limnology and Oceanography, Volume 15, Issue 2: 224-229.

Shannon M. 2013. Gleotrichia Facts. <http://mainelakessociety.org/gleotrichia-facts-3/>

Sigee D.C. 2005. Freshwater microbiology : biodiversity and dynamic interactions of microorganisms in the aquatic environment. Chichester : Wiley, 524 pp.

Southwood T.R.E, Henderson P.A. 2000. Ecological methods. Oxford : Blackwell Science, 575 pp.

Svensson E.P. 2008. Aquatic toxicology research focus. New York: Nova Science Publishers, 204 pp.

Šiliņš R., Druvietis I., Poppels A. 2013. Engures ezera planktona un zoobentosa sabiedrību sezonālā izpēte (2011 – 2012). – Grām.: V. Melecis, I. Grīne (red.), konferences „Cilvēks un daba: Engures ekoreģions” tēzes, Rīga, 12. aprīlis, 2013, Rīga, Latvijas Universitāte: 22 – 23.

U. S. EPA. 2001. Methods for Collection, Storage and Manipulation of sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual - EPA 823-B-01-002. U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.: 3-5 – 3-7.

Vides Konsultāciju Birojs 2009. Rīgas teritorijas plānojuma 2006. – 2018. gadam grozījumu stratēģiskās ietekmes uz vidi novērtējums, Vides pārskats. Rīga, 511 lpp.

Western Washington University, 2007.  
[http://diatom.huxley.wvu.edu/algae\\_images/Bluegreen Algae](http://diatom.huxley.wvu.edu/algae_images/Bluegreen_Algae)

Algae Images

## PIELIKUMI

## 1. pielikums

Fitoplanktona sugu sastāvs ar tam atbilstošajām biomasu vērtībām (mg/l) Alūksnes ezera 3. stacijā.

## Annex 1

Phytoplankton species composition with the corresponding biomass values (mg / l) in Lake Alūksne 3rd station.

<b>Suga</b>	<b>13.05.</b>	<b>25.06.</b>	<b>30.07.</b>	<b>02.09.</b>
Anabaena		0.01681	0.00127	
Anabaena circinalis			0.00507	
Asterionella formosa	0.00593			
Aulacoseira		0.00484		
Carteria		0.01582	0.00709	
Chlamydomonas	0.00041			
Chrysophyceae	0.14573			
Cocconeis pediculus				0.00893
Cocconeis placentula v. placentula		0.04257	0.04257	0.04257
Coelastrum microporum				0.00071
Cosmarium			0.00044	
Cryptomonas	0.05705	0.21582	0.25917	0.31661
Cryptomonas curvata	0.03081	0.02115	0.04335	0.03919
Cryptomonas marssonii	0.01078	0.0222	0.01409	0.00788
Cyclotella	0.00126	0.00762		0.02186
Desmodesmus armatus v. armatus	0.00027			
Desmodesmus bicaudatus			0.00038	
Desmodesmus communis	0.00075	0.00112		0.00075
Diatoma tenuis		0.00228		
Dictyosphaerium ehrenbergianum				0.01811
Dictyosphaerium pulchellum			0.00345	
Dinobryon divergens		0.01922		
Elakatothrix genevensis			0.00007	
Euglena	0.00471	0.01576		
Flagellates	0.0284	0.01574		
Fragilaria			0.00034	
Fragilaria crotonensis		0.02297		0.00234
Gonium		0.0011	0.0022	0.0022
Gymnodinium	0.0011	0.0011		0.00397
Katablepharis		0.00633		0.00723
Keratococcus		0.0002	0.00007	

Fitoplanktona sugu sastāvs ar tam atbilstošajām biomasu vērtībām (mg/l) Alūksnes ezera 3. stacijā.

Annex 1-1

Phytoplankton species composition with the corresponding biomass values (mg / l) in Lake Alūksne 3rd station.

<b>Suga</b>	<b>13.05.</b>	<b>25.06.</b>	<b>30.07.</b>	<b>02.09.</b>
Mallomonas	0.00031	0.02943		
Mallomonas akrokomos	0.00009			
Meridion circulare v. circulare		0.00172	0.00031	0.00092
Micractinium	0.00004			
Microcystis wesenbergii		0.00017		
Monoraphidium	0.00017			
Monoraphidium contortum	0.00008			0.00014
Monoraphidium griffithii			0.00004	
Monoraphidium komarkovae			0.00005	
Monoraphidium minutum		0.00015		
Navicula cryptocephala				0.00073
Nitzschia	0.00086	0.00389	0.00004	0.00007
Nitzschia acicularis v. acicularis	0.00303	0.00135		0.0004
Oocystis				0.00114
Oocystis lacustris		0.00861		
Oscillatoria limosa				0.01256
Pandorina morum			0.06538	
Pediastrum duplex v. duplex		0.03153		
Pediastrum tetras	0.00048		0.00119	
Phacus pyrum	0.00221			
Planktolyngbya limnetica				0.00025
Rhodomonas	0.04267	0.04267	0.04302	0.04302
Romeria		0.00035		
Scenedesmus acutiformis			0.00023	
Scenedesmus disciformis				0.00017
Scenedesmus ellipticus	0.00098	0.00143	0.00026	
Scenedesmus obliquus				0.00008
Snowella				0.00065
Synedra	0.00028			
Synedra acus v. acus				0.00073
Synura	0.00262			
Tetraedron caudatum	0.00033			
Tetraedron minimum	0.00188			
Trachelomonas		0.00315	0.00424	0.00071
Westella			0.00409	

2. pielikums

Fitoplanktona sugu sastāvs ar tam atbilstošajām biomasu vērtībām (mg/l) Alūksnes ezera 6. stacijā.

Annex 2

Phytoplankton species composition with the corresponding biomass values (mg / l) in Lake Alūksne 6th station.

<b>Suga</b>	<b>13.05.</b>
Asterionella formosa	0.0039
Chrysophyceae	0.0934
Cryptomonas	0.0114
Cryptomonas	0.0082
Cryptomonas curvata	0.0024
Cryptomonas marssonii	0.0046
Desmodesmus armatus v. armatus	0.0001
Dictyosphaerium ehrenbergianum	0.0272
Dinobryon	0.0000
Gymnodinium	0.0353
Mallomonas	0.0003
Nitzschia acicularis v. acicularis	0.0006
Rhodomonas	0.0633
Synedra	0.0001

## 3. pielikums

Fitoplanktona sugu sastāvs ar tam atbilstošajām biomasu vērtībām (mg/l) Alūksnes ezera 8. stacijā.

## Annex 3

Phytoplankton species composition with the corresponding biomass values (mg / l) in Lake Alūksne 8th station.

<b>Suga</b>	<b>13.05.</b>	<b>25.06.</b>	<b>30.07.</b>	<b>02.09.</b>
Anabaena			0.00466	
Anabaena crassa			0.01773	
Anabaena lemmermannii			0.01047	
Anabaena planctonica			0.03559	
Anabaena spiroides			0.00209	
Ankistrodesmus fusiformis				0.00014
Aphanizomenon flos-aquae				0.05255
Aphanocapsa		0.00016	0.0004	0.00047
Aphanothece clathrata		0.00673	0.00094	
Asterionella formosa	0.0020			0.07763
Aulacoseira		0.00484		
Aulacoseira granulata v. angustissima				0.07209
Aulacoseira granulata v. granulata	0.0014			0.22066
Aulacoseira islandica ssp. islandica				0.09043
Aulacoseira italica				0.15292
Ceratium hirundinella		0.00525		
Chroococcus dispersus				0.00084
Chroococcus limneticus	0.0009			
Chroococcus turgidus			0.0011	
Chrysophyceae	0.7324			
Cosmarium		0.00044		
Cryptomonas	0.0316	0.07733	0.00249	0.11923
Cryptomonas curvata		0.02332		0.18004
Cryptomonas marssonii	0.0058	0.00555	0.00041	0.00715
Cyanodictyon		0.00118	0.00034	
Cyclotella				0.95064
Desmodesmus armatus v. armatus				0.0005
Desmodesmus communis	0.0010			0.00364
Diatoma tenuis	0.0037			0.02056
Dictyosphaerium ehrenbergianum	0.0282			0.01816
Dinobryon cylindricum			0.0028	
Dinobryon divergens		0.08459		
Flagellates		0.00067		
Fragilaria		0.02209		
Fragilaria crotonensis		0.38716	0.01591	0.0355
Gleotrichia echinulata			0.01203	
Gonium		0.09262	0.07653	0.01842
Gymnodinium	0.0576			0.10014

## 3-1. pielikums

Fitoplanktona sugu sastāvs ar tam atbilstošajām biomasu vērtībām (mg/l) Alūksnes ezera 8. stacijā.

## Annex 3-1

Phytoplankton species composition with the corresponding biomass values (mg / l) in Lake Alūksne 8th station.

<b>Suga</b>	<b>13.05.</b>	<b>25.06.</b>	<b>30.07.</b>	<b>02.09.</b>
Katablepharis	0.0036			
Katablepharis		0.0009		0.00904
Mallomonas acaroides		0.00766		0.00191
Mallomonas caudata				0.03594
Micractinium pusillum				0.00653
Microcystis aeruginosa				0.04087
Monoraphidium		0.0006		
Monoraphidium griffithii			0.00038	
Monoraphidium minutum		0.00016		0.0006
Mougeotia			0.03317	0.01776
Nitzschia	0.0004	0.00072		0.01588
Nitzschia acicularis v. acicularis		0.00059	0.00026	0.02674
Nitzschia paleacea				0.03531
Oocystis borgei				0.00817
Oocystis lacustris			0.00045	
Pediastrum simplex				0.08828
Pediastrum tetras				0.00215
Peridinium			0.00188	
Planktolyngbya limnetica			0.00521	0.37441
Pseudanabaena limnetica				0.01167
Pseudosphaerocystis lacustris		0.00897		
Rhodomonas	0.1104	0.06955	0.00883	0.11388
Romeria			0.00007	0.00011
Scenedesmus ellipticus			0.00039	0.00114
Scenedesmus obliquus				0.00034
Snowella			0.00065	
Synedra acus v. acus				0.0976
Synedra acus v. angustissima				0.00643
Synedra ulna v. ulna			0.00099	0.0482
Tabellaria fenestrata		0.09788	0.01032	
Uroglena			0.10728	
Vacuolaria				0.00187

4. pielikums  
Alūksnes ezers 2012. gada 22. augustā.

Annex 4  
Lake Aluksne in August 22, 2012.



5. pielikums  
Aļģu ziedēšana Alūksnes ezerā 2012. gada 22. augustā.

Annex 5  
Algal bloom in Lake Aluksne in August 22, 2012.



Bakalaura darbs „Potenciāli toksiskās zilaļģes *Gleotrichia echinulata* masveida savairošanās fenomens Alūksnes ezerā” izstrādāts LU Bioloģijas fakultātē un Latvijas Hidroekoloģijas institūtā.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autore: Evija Keserovska

27.05.2015.

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītāja: Dr. biol. Ingrīda Puriņa

27.05.2015.

Recenzents: Dr. biol. Ivars Druvietis

Darbs iesniegts Bioloģijas fakultātē 27.05.2015.

Saņēma:

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

01.06.2015. prot. Nr.

vērtējums:

Komisijas sekretārs: