

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO
MODELOVÁNÍ



PROBLEMATIKA VÝSKYTU FYTOPLANKTONU ŘAS A SINIC VE
VODNÍCH NÁDRŽÍCH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Petra Sychová, Ph.D.

Bakalant: Kristýna Brunátová

2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kristýna Brunátová

Krajinářství
Územní technická a správní služba

Název práce

Problematika výskytu fytoplanktonu řas a sinic ve vodních nádržích

Název anglicky

Occurrence of phytoplankton of algae and cyanobacteria in water reservoirs

Cíle práce

Předmětem bakalářské práce je popis problematiky výskytu fytoplanktonu řas a sinic ve vodních nádržích. Téma bude zpracováno formou literární rešerše i s ohledem na širší souvislosti se zvyšováním úživnosti vodních nádrží. V širším kontextu jsou tedy řešeny důvody rozvoje fytoplanktonu a dále i důsledky extrémního růstu fytoplanktonu (kolísání koncentrace rozpuštěného kyslíku, produkce toxinů).

Dílčím cílem práce je charakteristika sezónní periodicity (a ekologie) řas a sinic, zejména s ohledem na měnící se klimatické podmínky s výkyvy vodnosti nebo možného prodloužení vegetační sezóny.

Zjištěné teoretické poznatky budou následně využity pro popis a interpretaci dat, získaných z Povodí Vltavy, s. p., o biomase řas, resp. koncentraci chlorofylu a, ve Slapské přehradě, kde probíhá dlouhodobý monitoring výskytu fytoplanktonu.

Metodika

- literární rešerše dotčené problematiky
- popis studijního území
- zpracování dat
- shrnutí zjištěných informací

Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčová slova

eutrofizace, sinice, řasy, kvalita vody, Slapská nádrž

Doporučené zdroje informací

- AMBROŽOVÁ J. (2003): Aplikovaná a technická hydrobiologie. VŠCHT v Praze, Praha, 226 s.
- DIEHL, S., BERGER, S., PTACNIK, R. & WILD, A. (2002): Phytoplankton, light and nutrients in a gradient of mixing depths: Field experiments. Ecology, 83(2): 399-411.
- DIEHL, S. (2002): Phytoplankton, light and nutrients in a gradient of mixing depths: Theory. Ecology, 83(2): 386-398.
- FOTT B. (1967): Sinice a řasy. Academia, Praha, 517 s.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Petra Sychová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2021

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2021

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Problematika výskytu fytoplanktonu řas a sinic ve vodních nádržích vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 31. 3. 2021

.....

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí práce Ing. Petře Sychové, Ph.D. za ochotu, odborné rady a připomínky, kterými přispěla k vypracování této bakalářské práce. Dále panu Mgr. Jakobovi Dobiášovi za odborné poradenství a Povodí Vltavy, s. p. za poskytnutá data a informace. Nakonec své rodině za psychickou podporu při psaní této práce.

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce je problematika výskytu fytoplanktonu řas a sinic ve vodních nádržích. V první části je charakterizována eutrofizace a skupina *Cyanobacterie*, její vývoj, výskyt a problémy, které způsobuje. Druhá část je zaměřena na odběr sinic a řas z vodní nádrže Slapy. Vzorky byly odebrány v průběhu vegetačních sezón v letech 2017-2019 s cílem zjistit aktuální diverzitu sinic a řas jednotlivých typů. Byly odebrány vzorky fytoplanktonu. Během odběru byla měřena teplota vody, průhlednost a chlorofyl-*a*.

Klíčová slova: eutrofizace, sinice, řasy, kvalita vody, Slapská nádrž

Abstract

This bachelor's thesis examines the occurrence of phytoplankton of algae and *cyanobacteria* in water reservoirs. The first part of the thesis defines eutrophication and addresses the group of *Cyanobacteria*, its development, occurrence and the problems it causes. The second part of the thesis focuses on *cyanobacteria* and algae collected from Slapy Water Reservoir. The samples were collected during the growing seasons from 2017 to 2019 with the intention to learn about the current diversity of various types of *cyanobacteria* and algae. Samples of phytoplankton were collected. In the course of the sample collection the temperature of the water, transparency as well as the chlorophyll were measured.

Keywords: eutrophication, *cyanobacteria*, algae, water quality, Slapy Water Reservoir

Obsah

1. Úvod	1
1.1 Cíl práce.....	2
2. Eutrofizace a sinice	3
2.1 Výskyt fosforu.....	4
2.1.1 Zdroje fosforečnanů	4
2.2 Výskyt dusíku.....	4
2.3 Důsledky eutrofizace vodního prostředí.....	5
2.4 Eutrofizace ve světě	6
2.5 Možnosti omezení eutrofizace	6
3. Celková charakteristika sinic.....	7
3.1 Stavba buňky	7
3.1.1 Zásobní látky.....	8
3.2 Rozmnožování	8
3.3 Výskyt v přírodě.....	8
3.4 Vodní květ	9
3.5 Význam a užitek sinic	10
3.5.1 Algin a algináty.....	10
3.5.2 Agar	10
3.6 Toxiny sinic	11
3.6.1 Působení toxinů na člověka	11
3.7 Sinice na přírodních koupalištích.....	12
4. Legislativní opatření	13
4.1 Monitoring	18
4.1.1 Kyslík.....	18

4.1.2	pH.....	18
4.1.3	Chlorofyl- <i>a</i>	18
4.1.4	Teplota.....	18
4.1.5	Průhlednost.....	19
4.1.6	Rozpustnost.....	19
4.1.7	Konduktivita.....	19
5.	Popis zájmového území.....	21
5.1	Metodika.....	22
5.2	Výsledky.....	23
5.3	Sezónní dynamika.....	24
5.3.1	Lokalita č. 1 – Slapy hráz.....	24
5.3.2	Lokalita č. 2 – Slapy Živohošť.....	27
5.3.3	Sezónní vývoj průhlednosti a koncentrace chlorofylu- <i>a</i>	31
5.3.4	Hodnota teploty povrchové vody.....	33
6.	Diskuze.....	34
7.	Závěr.....	36
8.	Literatura.....	37
8.1	Odborné zdroje.....	37
8.2	Internetové zdroje.....	41
8.3	Legislativa.....	42
8.4	Seznam tabulek.....	43
8.5	Seznam obrázků.....	43
8.6	Přílohy.....	44

1. Úvod

Sinice, známé také pod názvem cyanobakterie patří spolu s řasami mezi nižší rostliny. Jedná se o jednobuněčné i mnohobuněčné organismy. Sinice mají buňku na úrovni bakterií, zatímco řasové buňky jsou spíše stavěné jako buňky vyšších rostlin. Mají schopnost osídlvat různá extrémní prostředí, která jsou pro jiné skupiny organismů nehostinná.

Sinice jsou součástí planktonu, některé druhy mají schopnost fixovat dusík a jsou pro člověka důležitými indikátory vody. Dále jsou také důležité pro lidstvo např. ve farmaceutickém průmyslu (antibiotika, potravinové doplňky atd.). Dalším zásadním faktorem je, že sinice jsou základem potravního řetězce pro mořské i sladkovodní živočichy.

Sinice však mají také mnoho negativních aspektů. Produkují velké množství biologicky aktivních látek, které mají negativní vliv na vodní prostředí. V důsledku přemnožení planktonu a sinic dochází k chemickým i fyzikálním změnám vlastností vodního prostředí, zejména dochází ke změnám pH nebo se projeví nedostatek kyslíku ve vodě, který způsobuje vymírání řady vodních organismů, převážně se jedná o rybí populace. Mezi nejznámější biologicky aktivní látky produkované sinicemi patří toxiny - cyanotoxiny. Právě kvůli cyanotoxinům, masivnímu rozvoji sinic a eutrofizaci jsou sinice v posledních letech zvláště řešeným tématem. V České republice je tato problematika rozebírána, protože zde nalezneme několik lokalit, kde byl výskyt toxických sinic prokázán na základě dlouhodobého monitorování. Tato situace se ale nadále postupně zhoršuje.

1.1 Cíl práce

Předmětem bakalářské práce je popis problematiky výskytu fytoplanktonu řas a sinic ve vodních nádržích. Téma bude zpracováno formou literární rešerše i s ohledem na širší souvislosti se zvyšováním úživnosti vodních nádrží. V širším kontextu jsou tedy řešeny důvody rozvoje fytoplanktonu a dále i důsledky extrémního růstu fytoplanktonu (kolísání koncentrace rozpuštěného kyslíku, produkce toxinů).

Dílčím cílem práce je charakteristika sezónní periodicity (a ekologie) řas a sinic, zejména s ohledem na měnící se klimatické podmínky s výkyvy vodnosti nebo možného prodloužení vegetační sezóny.

Zjištěné teoretické poznatky budou následně využity pro popis a interpretaci dat, získaných z Povodí Vltavy, s. p., o biomase řas, resp. koncentraci chlorofylu-*a*, ve Slapské přehradě, kde probíhá dlouhodobý monitoring výskytu fytoplanktonu.

2. Eutrofizace a sinice

Eutrofizace je řecké slovo, které vzniklo spojením slov "eu" (hojný) a slova "trophí" (živná látka či potrava), což tedy znamená hojnou potravu, živnou látku nebo zvyšování úživnosti (Holas & Hrnčířová, 2010). V praxi se eutrofizace označuje jako proces znehodnocování a zhoršování kvality povrchové vody vlivem zvyšování její úživnosti (Ambrožová, 2003).

Eutrofizace je již několik let považována za celosvětový problém znečištění. Jedná se o proces přírodních a uměle vyvolaných jevů, které vedou ke zvýšení obsahu anorganických živin ve stojatých a tekoucích vodách, jenž je způsobený nadměrným vypouštěním živin ve vodním systému (Kočí et al., 2000). Přísun těchto anorganických živin ve vodě má za následek sekundární znečištění vody organickými látkami vznikajícími životní činností rozrostlého planktonu. Tím dochází ke zhoršení vlastností vody, jako je barva, průhlednost, zákal, pach, pH vody aj. (Pertile, 2002). Za příčinu eutrofizace je považována zejména zvýšená koncentrace sloučenin dusíku a fosforu v jezerech, ústí řek a v pomalu se pohybujících proudech (Goel et al., 2014).

Rozeznáváme eutrofizaci přírodní a umělou. Přírodní je zapříčiněna uvolňováním dusíku a fosforu, uvolňováním silikátů z půdy, sedimentů a odumřelých vodních organismů. Umělá eutrofizace je způsobena intenzivní zemědělskou výrobou, některými druhy průmyslových odpadních vod, zesílenou produkcí komunálních odpadních vod a odpadů fekálního typu nebo používáním polyfosforečnanů v čistících nebo pracích prostředcích (Kočí et al., 2000).

Eutrofizace se stává vážným problémem, pokud je pozorován jeden nebo více z těchto příznaků: toxické druhy řas se množí ve velkém počtu, únik škodlivých pachů, vznik a hromadění škodlivých plynů, pokud se voda velmi zakalí (tím se snižuje průhlednost vody), vyčerpání rozpuštěného kyslíku a úhyn ryb. (Cardoso et al., 2009).

2.1 Výskyt fosforu

Fosfor je biogenní prvek, jenž ovlivňuje primární produkci zelených rostlin. Společně s dusíkem tvoří základní prvek pro výživu sinic a řas. Pro optimální růst organismů je potřeba poměr dusíku (N) a fosforu (P) 100 : 1. Podle Liebigova zákona minima to znamená, že fosfor hraje zásadní roli jako limitující prvek v nárůstu řasové biomasy, což znamená, že čím více je fosforu v povrchových vodách, tím dochází k větší produkci sinic a řas (Kočí et al., 2000). Pro rozvoj biomasy musí být také splněn stechiometrický poměr C: N: P = 106: 16: 1. Pokud je tedy poměr N:P větší než 16, je limitující prvek fosfor. Naopak pokud ve vodě dojde k poměru N:P menšímu než 16, stává se limitujícím faktorem dusík (Oppeltová et al., 2012).

Fosfor spolu s kyslíkem tvoří fosforečnany, ty jsou přítomny v litosféře, biosféře, hydrosféře nebo atmosféře. Rozpuštěný anorganicky vázaný fosfor se může objevovat i ve vodách. Mezi formy organicky vázaného rozpuštěného fosforu spadají fosfolipidy, fosfoproteiny, koenzymy ADP a ATP, nukleové kyseliny atd. Z biologického hlediska je důležitá ta část rozpuštěného fosforu, která je využitelná řasami. Jedná se o biologicky využitelný a dostupný fosfor (Kočí et al., 2000).

2.1.1 Zdroje fosforečnanů

Minerální apatit je přírodním zdrojem fosforečnanů. Do vodního prostředí se fosfor dostává z biologické hmoty. Za antropogenní zdroje fosforečnanů považujeme hlavně odpadní vody z prádelen a textilního průmyslu, dále pak komunální odpadní vody a užívání fosforečných hnojiv v zemědělství, které se dostávají do povrchových toků erozními splachy z polí. Ročně se do našich vod dostane obrovské množství polyfosforečnanů, odhaduje se na 10 000 až 20 000 tun (Kočí et al., 2000).

2.2 Výskyt dusíku

Dusík spolu s kyslíkem, uhlíkem a vodíkem tvoří kvantitativně zásadní biogenní prvek. V přírodě se nachází v podobě atmosférické molekuly dusíku, anorganických sloučenin (amoniaku a dusičnanů) a organických sloučenin (nukleových kyselin, bílkovin a močoviny). Do okolního prostředí je uvolňován pomocí metabolismu či rozkladem uhynulých částí. Uvolněný amoniak jsou schopny dále využívat bakterie a řasy.

Dusík se podílí také v ekosystému, při zvýšeném používání dusíkatých hnojiv v zemědělství a spalováním fosilních paliv. V nádržích s vodním květem jsou zpozorovány maxima koncentrace dusíku (Ambrožová, 2007).

2.3 Důsledky eutrofizace vodního prostředí

Velmi známým projevem eutrofizace je stálý masový rozvoj vodního květu sinic či vegetačního zabarvení, který je tvořen zelenými řasami, rozsivkami nebo některými druhy vyšších rostlin (Maršálek, 2009).

Nadměrný nárůst fytoplanktonu nastává v letních měsících při dostatku tepla a slunečního světla, kdy způsobuje problémy vyšším rostlinám nebo dokonce dochází k jejich úbytku. Jedním z dopadů je pak snížená samočistící schopnost jezer a řek, jelikož sinice a řasy se shromažďují u hladiny, kde vytvářejí bariéru slunečním paprskům a ty se nedostanou k organismům ve větší hloubce. Nadměrný nárůst řas také brání rozvoji jiným vodním živočichům (Kočí et al., 2000).

Jako dalším negativním faktorem zvýšeného výskytu sinic a řas je narušení kyslíkového režimu. Při hladině se fotosyntetickou činností utvářejí podmínky s přesyceným kyslíkem a narůstajícím pH. Přes den produkuje autotrofní fytoplankton kyslík, ale v nočních hodinách dochází k úbytku rozpuštěného kyslíku, což znamená, že ve vodě zejména v ranních hodinách vzniká anoxické prostředí nepříjemné pro ostatní organizmy.

Komplikace způsobuje i zvýšený obsah fosforečnanů ve vodárnách, neboť zhoršuje upravitelnost vody. To je závažný problém, jelikož zhruba 60 % zdrojů pitné vody je získáváno z povrchových zdrojů. Fosforečnany se významně sorbují na dnových sedimentech, při kterých může dojít za určitých podmínek k jejich uvolňování, což vede ke zvýšené koncentraci fosforečnanů ve vodách. Následkem je pak velká koncentrace řas a sinic ve zdrojích pitné vody způsobující problémy vodárenským provozům. Tím dochází k ucpávání filtrů, zhoršení organoleptických vlastností upravené vody, vzniku sekundárního mikrobiálního znečištění či k uvolňování hygienicky nepříjemných látek do vody (Kočí et al., 2000 & Maršálek, 2009).

2.4 Eutrofizace ve světě

Eutrofizace se netýká jen naší republiky, ale jde o celosvětový problém, jenž začal zhruba v 50. letech 20. století kvůli intenzivnímu a velkoplošnému hnojení zemědělských ploch a díky nárůstu množství lidské populace. Týká se všech velkých evropských řek: Labe, Dunaje, Seiny a Taja (Kočí et al., 2000).

V Anglii je to 84% vodních ploch, které jeví příznaky eutrofizace. Velmi silně zasažený je i Balaton. Dále eutrofizace postihuje německé jezero Arendsee, jezero Loosdrecht v Nizozemí, Travis v Texasu aj. (Chorus et Bartram, 1999).

Ve Švédsku je zvyšování úživnosti druhým nejzávažnějším problémem hned po acidifikaci jezer, 14 000 z 90 000 švédských jezer je eutrofních (Kočí et al., 2000).

V Evropě je eutrofizováno 53% jezer, v Severní Americe 48% a v Jižní 41%, Afrika se pohybuje kolem 28% a v asijsko-tichomořské oblasti je to 54% (Chorus et Bartram, 1999).

2.5 Možnosti omezení eutrofizace

Eutrofizace povrchových vod je velkým problémem a jeho řešení není vůbec jednoduché. Jednou z účinných možností snižování eutrofizace v rámci povodí je snížení přísunu živin. Schopnost rozlišit individuální a kumulativní účinky fyzikálních, chemických a biotických kontrol produktivity a složení fytoplanktonu vedou k pochopení, předvídání a konečnému zvládnutí eutrofizace (Pearl, 2006).

Jediná účinná cesta k zabránění hromadnému nárůstu sinic a řas je tedy prevence. Je nezbytné předcházet znečišťování vod látkami, které podporují bujení sinic a řas. V případě, že je vodní plocha již ohrožena velkým nárůstem vodního květu, např. při rekreačním využívání, dojde k dočasnému uzavření lokality (nesnižuje se tím množství sinic, pouze se chrání zdraví osob), nebo se do vody dávkuje takové látky, které sinice a řasy hubí (Kočí et al., 2000).

Dodatečně by se měl odstraňovat fosfor z odpadních vod pomocí velkých čistíren odpadních vod. Mimo to jsou hledány i chemicko-fyzikální postupy, mezi moderní užití spadají polymerní iontoměniče (Kočí et al., 2000).

3. Celková charakteristika sinic

Sinice (*Cyanobacteria*) jsou mikroskopické a jednoduché autotrofní organismy, které mají prokaryotickou stavbu buňky (Pouličková et al., 2015). Termín sinice pochází ze slova „siný“, což znamená modrý (www.sinice.cz). Zařazujeme je na začátek rostlinného systému. Obsahují speciální asimilační modré barvivo (fykocyanin), které spolu s ostatními asimilačními barvivy barví stélky sinic na modrozelenou nebo sinou barvu (Fott, 1967). Proto je také někdy nazýváme jako modrozelené řasy (Formánková, 2010). Jsou to evolučně nesmírně staré organismy a jsou schopné žít téměř ve všech biotopech na zeměkouli. Důkazy o jejich existenci se objevují před 3,5 miliardami let. Označujeme je za významné producenty kyslíku, protože významně pomohly ke vzniku kyslíkaté atmosféry, čímž přinesly příznivé podmínky pro vývoj dalších organismů (Pouličková et al., 2011).

3.1 Stavba buňky

Stélky buněk sinic mohou být jednobuněčné nebo vláknité a v obou případech se vyskytují v koloniích nebo žijí jednotlivě. Od eukaryotních buněk se buňky sinic liší tím, že neobsahují buněčné jádro ani buněčné organely např. chloroplasty, mitochondrie, vakuoly, Golgiho aparát, bičíky atd. Stavba buňky je tedy velmi jednoduchá. Sinice mají pevnou vícevrstevnou buněčnou stěnu, která zabraňuje svým složením, aby nedošlo k zabarvení protoplastu, řadíme je tedy mezi gramnegativní bakterie. Molekula DNA je uložena v cytoplazmě neboli v nukleoplazmatické oblasti (Kalina, 2005; www.sinicearasy.cz). V cytoplazmě se dále nachází thylakoidy, ploché měchýřky, ve kterých dochází k fotosyntéze. Thylakoidy obsahují fotosyntetické pigmenty: chlorofyl *a*, β -karoten a xanthofyly. Na povrchu thylakoidů se objevují malé útvary tzv. fykobilizomy, které obsahují modré barvivo (c-fykocyanin a allofykocyanin) a červené barvivo (c-fykoerythrin). Tato barviva mají funkci světlosběrné antény, to sinicím umožňuje vytvářet fotosyntézu i při velmi nízké hladině osvětlení. Poměr modrého a červeného barviva stanovuje konečné zbarvení sinicové buňky. Zbarvení může být zelené, červené, modré či ocelově šedé. Tuto vlastnost označujeme jako Chromatická adaptace (Kalina, 1994; Hindák, 2001).

Sinice jsou schopné sami si utvořit určitou strukturu, která je specifická jen pro ně. Jedná se o aerotopy, jsou to jednotlivé měchýřky válcovitého tvaru, které propouštějí plyny. Jejich hlavní účel je snižovat hmotnost buněk a umožnit vznášení na hladině vody (Šmarda, 2009). Heterocyty se tvoří z vegetativních buněk. Úkol těchto buněk je vázat na sebe plynný dusík. Akinety mají velmi pevnou buněčnou stěnu a slouží k přečkání nepříznivých podmínek (Kalina, 1994; Kaštovský & Juráň, 2016).

3.1.1 Zásobní látky

Základní zásobní látkou u většiny sinic je sinicový škrob. Jedná se o polysacharid, který spadá mezi α -1,4-glukany. Dusíkatou zásobní látku tvoří cyanofycinová zrnka (Kalina & Váňa, 2005). V buňce se dále nacházejí polyfosfátové granule, nazývány také jako volutin, které se v době přebytku fosforečanů v buňce nahromadí a využijí se jako zásoby ve fázi při jejich nedostatku (Kalina & Váňa, 2005; Šejnohová & Maršálek, 2005).

3.2 Rozmnožování

U sinic dochází pouze k nepohlavnímu rozmnožování. Jedná se o dělení buněk zaškrcením plazmatické membrány a rozdělením na dvě dceřiné buňky (Šejnohová & Maršálek, 2005). U vláknitých sinic probíhá rozmnožování pomocí tzv. hormogonie, při které se rozpadnou na malé články, které jsou schopny vlastního pohybu a postupem času dorůstají (Pouličková, 2011).

3.3 Výskyt v přírodě

Sinice se v přírodě vyskytují po celém světě v různých prostředích, zejména ve vodním prostředí. Najít je můžeme také v místech se zvláštními až extrémními životními podmínkami, jako jsou skály, pouště, polární oblasti, jeskyně, minerální prameny, budovy atd. Dokáží přežít i v hlubokých jezerech s minimální intenzitou světla (Fott, 1967). Často se objevují také v různých symbiotických vztazích s houbami, lišejníky, vyššími rostlinami nebo s některými živočichy. V tomto oboustranně výhodném spojení zastupují sinice funkci tzv. fotobionta, společníka, který obstará fotosyntézou organické látky nebo napomáhá fixovat dusík. Druhý společník na oplátku poskytuje bezpečný prostor pro život a zdroj vody (www.sinice.cz).

3.4 Vodní květ

Některé druhy sinic a řas jsou lehčí než voda, proto se dokáží vznášet a nahromadovat se těsně u hladiny. Jedná se o tzv. vodní květ.

Vodní květ vzniká při přemnožení sinic ve vodách, které jsou schopné tvořit povlaky na hladině a obsahují nadbytek dusíkatých a fosforečnanových látek. Nejčastěji je tvořen sinicemi rodu *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis* a *Oscillatoria*. Kalina & Váňa (2005) dále zmiňují rod *Planktothrix*, který také může vytvářet na hladině vodní květ. V České republice se také nachází několik druhů sinic, jež utváří vodní květ, nejčastějším představitelem u nás je rod *Microcystis* (Kalina, 2005).

Zato vegetační zbarvení vody představuje zvýšenou produkci fytoplanktonu, jenž je rovnoměrně rozšířený v celém vodním sloupci, s nímž souvisí snížení průhlednosti a zvýšení zákalu (Kalina, 2005 & Pitter, 2015). Celkový objem biomasy dosahuje 10 cm³ biomasy na 1 m³ vody. Zatímco vegetační zbarvení je znatelné už při 5 cm³ biomasy na 1 m³ vody (Ambrožová, 2003).

Hlavní příčinou rozvoje vodního květu sinic je nadměrné množství živin ve vodě, tedy již zmíněná eutrofizace, která je hojným problémem většiny našich nádrží (Matušková, 2019).

K rozvoji vodního květu dochází zejména v letním období, kdy vytváří hygienické problémy na přehradách a koupalištích. K prvnímu rychlému rozvoji vodního květu dochází koncem jara. Do té doby se sinice nacházejí na dně nádrže, později se vynoří povlaky vodního květu, které jsou větrem rozptýleny po hladině, kde vytvářejí hustý koberec u břehů a v zálivech. K postupnému poklesu fytoplanktonu dochází koncem srpna a začátkem září. Maximální rozvoj však závisí především na klimatických podmínkách (Kalina, 2005; Pitter, 2015). Lee (2008) uvádí, že vodní květ se vyskytuje ve vodním prostředí celoročně, ale rozkvětu dosahuje pouze na konci léta a v brzkém podzimu.

Vodní květy sinic se obvykle vyskytují ve vodě s relativně vyšší koncentrací vápníku a s vyšším pH, nad zelenými řasami dominují při pH 7,5 - 9,0. U vod s nižším pH než 6,5 se vodní květy nevytvářejí. Sinice se vyskytují ve vodách s vyššími

teplotami, optimální teplota se pohybuje v rozmezí 25 °C až 35 °C. Vodní květ můžeme pozorovat při obsahu 10 000 jedinců v 1 ml vody (Ambrožová, 2003).

3.5 Význam a užitek sinic

V přírodě jsou sinice významnou potravou pro jiné živočišné organismy nebo výživovým základem pro bakterie. Kromě toho produkují kyslík, který je potřebný k dýchání všech živočichů a rostlin (Hindák, 2001). Řasy a sinice jsou také kvalitní potravou pro vodní živočišstvo, přímo i pro ryby. Dále se jejich účinek zkoumá a využívá v biotechnologii - bionafta, hlavním důvodem je jejich značný obsah proteinů (60-70%).

V hospodářském významu se užívají v Indii na zúrodnování rýžových polí. Uplatňují se ve výrobě léčiv a potravinových doplňků (např. *Chlorella*). Účastní se při zranění léčivých bahen a využívají se i při hojení těžkých zánětů. V USA se pěstuje *Arthrospira*, která se podává pacientům s vážnou dietou, protože je lehkou stravitelná (Fott, 1967; Kalina, 1994).

3.5.1 Algin a algináty

V lékařství se využívají algináty, ty se získávají z hnědých řas, které nahrazují přírodní gumu, která slouží jako spojovací materiál při výrobě pilulek. V zubním lékařství se k vyhotovení otisků zubů osvědčují plastické algináty a v chirurgii se uplatňují alginové nitě, krvácení zabraňuje alginová vata. Algináty lze využít ovšem i ve stavebnictví, kde se přidávají do betonu, cementu, asfaltu, aby se zvýšila nepropustnost. Dále v textilním průmyslu, papírenství, cukrářství, při výrobě mýdel, k výrobě nepromokavých tkanin, slouží jako příměs zubních past a barviv (Fott, 1967).

3.5.2 Agar

Jedná se o suchou, beztvárovou hmotu, která je získávána z mořských ruduch. Velmi se podobá želatině. Uplatňuje se v biologii, lékařství, potravinářství, cukrářství, fotografickém průmyslu atd. Zahušťuje polévky a omáčky, zpevňuje zmrzliny, při výrobě léků a v kosmetice se používá společně s karagenem (Kalina, 1994; Hindák, 2001; Pouličková et al., 2015).

3.6 Toxiny sinic

O sinicích je známo, že produkují mnoho látek, které jsou toxické. Toxiny sinic se nazývají cyanotoxiny a jsou to produkty sekundárního metabolismu (O'Neil et al., 2012). Řadíme je mezi tzv. biologicky aktivní látky, které sinice uvolňují do vodního prostředí (Ambrožová, 2007). V roce 1878 poprvé popsal toxicitu vodního květu G. Francis. V tomto období se v Austrálii vytvořil na jezeře Alexandria vodní květ, který měl za následek obrovské onemocnění a velký úhyn dobytka při spásání biomasy. Toxiny rozdělujeme podle metody detekce na cytotoxiny (cytotoxické a cytostatické látky) a biotoxiny (neurotoxiny, hepatotoxiny, genotoxiny, imunotoxiny, embryotoxiny, mutageny, karcinogeny a tumor promoting factors), (Utkilen, 1992; Ambrožová, 2007).

3.6.1 Působení toxinů na člověka

Toxiny mohou ohrožovat i zdraví člověka a způsobit velké zdravotní problémy (Jančula et al., 2013). Nejčastěji se dostávají do lidského těla přes pitnou vodu, při konzumaci potravy ve větších dávkách, kdy může dojít k vážnému onemocnění nebo ke smrti, dále při rekreaci ve vodních nádržích. Způsobují bolest hlavy, malátnost, zvracení, průjemová onemocnění, ekzémy, alergie atd. (Maršálek, 2004). Kalina & Váňa (2005) ještě zmiňují, že se docela často objevují také záněty spojivek. Vodní květ ohrožuje také malé děti, nemocné a staré lidi, dokonce i těhotné ženy, u kterých by mohlo dojít k potratu nebo k zeslabení plodu (Ambrožová, 2003). Některé cyanotoxiny dokonce způsobují rakovinu, jsou tzv. karcinogenní (Chorus & Bartram, 1999).

Nejobávanějšími cyanotoxiny jsou hepatotoxiny, neurotoxiny (*anatoxin*, *microcystin*) a cytotoxiny (Ambrožová, 2007). Hepatotoxiny nejvíce poškozují játra, ale dokáží poškodit i ledviny, plíce a střeva (Chorus & Bertrám, 1999). Rod *microcystin* se objevuje ve vodách velmi často a je považována za jeden z nejnebezpečnějších rodů, kvůli jeho velkému rozšířenému výskytu ve světě (Popelářová, 2018).

3.7 Sinice na přírodních koupalištích

Z hlediska sledování jakosti vody jsou sinice velkým problémem. Hodnocení rizik sinic a cyanotoxinů na přírodních koupacích vodách je podle Světové zdravotnické organizace založeno zejména na přímém sledování sinic. Je ale několik důvodů, za jakých nelze sledovat cyanotoxiny. Například většina cyanotoxinů je vázána uvnitř buněk, proto není možný výskyt vysokých koncentrací cyanotoxinů, aniž by ve vodě nebyly sinice nalezeny. Dále je sledování sinic rychlejší a levnější možností než sledování toxinů. Mezi výjimku patří Německo, kde je sledování toxinů zahrnuto v běžném monitoringu koupacích vod.

V České republice se na sledování sinic využívá kombinace koncentrace chlorofylu-*a* s mikroskopickou kvantifikací, tím je zajištěna ochrana plavců a rekreujících se osob na přírodních koupalištích. V případě, že dojde k překročení hygienických limitů, jsou občané neprodleně informováni. Tyto informace o sledování kvality vody lze zjistit pomocí několika různých sdělovacích prostředků. V České republice bohužel nelze sledovat všechny nádrže, které jsou určeny ke koupání (Formánková, 2010).

4. Legislativní opatření

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/7/ES ze dne 15. února 2006 o řízení jakosti vod ke koupání a o zrušení směrnice 76/160/EHS.

Tato směrnice o jakosti vod ke koupání se snaží zajistit veřejnosti přístup k informacím, dále zajistit monitoring jakosti vod ke koupání a zavedení lepšího opatření na řízení jakosti vod (Směrnice 2006/7/ES).

Vyhláška č. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch ve znění vyhlášky č. 97/2014 Sb.

Vyhláška upravuje pravidla pro monitorování a posuzování jakosti vody v přírodních koupalištích, kritéria jejich klasifikace. Upravuje požadavky na vybavení a provoz přírodních či umělých koupališť, hygienické limity ukazatelů jakosti vody v umělých koupalištích a v saunách, hygienické požadavky na obměňování, úpravu a recirkulaci vody v saunách a bazénech umělých koupališť. Dále chemické, mikrobiologické a parazitologické hygienické limity znečištění písku v pískovištích na venkovních hracích plochách (Vyhláška 238/2011).

Jakost koupacích vod se od roku 2004 rozděluje do pěti skupin:

Voda vhodná ke koupání 😊

„Nezávadná voda s nízkou pravděpodobností vzniku zdravotních problémů při vodní rekreaci s vyhovujícími smyslově postižitelnými vlastnostmi“. Sinice nepřekračují limity I. stupně.

Voda vhodná ke koupání s mírně zhoršenými vlastnostmi 😐

„Nezávadná voda s nízkou pravděpodobností vzniku zdravotních problémů při vodní rekreaci především se zhoršenými smyslově postižitelnými vlastnostmi, v případě možnosti je vhodné se osprchovat“. Sinice nepřekračují limity I. stupně.

Zhoršená jakost vody 😞

„Mírně zvýšená pravděpodobnost vzniku zdravotních problémů při vodní rekreaci, u některých vnímavých jedinců by se již mohly vyskytnout zdravotní obtíže, po

koupání se doporučuje osprchovat”. Jestliže jsou důvodem k vyhlášení sinice, překračují limity I. stupně.

Voda nevhodná ke koupání 😞

„Voda neodpovídá hygienickým požadavkům a pro uživatele představuje zdravotní riziko, koupání nelze doporučit zejména pro citlivé jedince (tzn. zejména děti, těhotné ženy, osoby trpící alergií a osoby s oslabeným imunitním systémem)”. Jestliže jsou důvodem k vyhlášení sinice, překračují limity II. stupně.

Voda nebezpečná ke koupání 😞

„Voda neodpovídá hygienickým požadavkům a hrozí akutní poškození zdraví, vyhláší se zákaz koupání”. Jestliže jsou důvodem k vyhlášení sinice, překračují limity III. stupně (Vyhláška 238/2011 Sb.; Státní zdravotní ústav).

Překročení limitních hodnot I. stupně

Nastává, pokud je ve vodě obsaženo alespoň 20 000 buněk sinic/ml a zároveň je koncentrace chlorofylu-*a* alespoň 10 µg/l. Při překročení limitů I. stupně je vzorkování prováděno nejméně 1x týdně.

Při takovém výskytu sinic lze u citlivých jedinců očekávat zvýšený výskyt méně závažných zdravotních problémů, ale i akutních jako jsou např. různé alergické a dráždivé projevy, které však nejsou způsobeny známými toxiny.

Překročení limitních hodnot II. stupně

Nastává, pokud je ve vodě obsaženo alespoň 100 000 buněk sinic/ml a zároveň je koncentrace chlorofylu-*a* alespoň 50 µg/l. Tato hranice je stanovena na základě limitních hodnot pro microcystin-LR v pitné vodě (1 µg/l).

Při výskytu sinic překračující limitní hodnoty II. stupně je pravděpodobná koncentrace microcystinů (cca 20 µg/l), v případě dominance *Planktothrix agardhii* i více (50 - 100 µg/l). Pro hodnocení rizik musíme brát v úvahu zřetelně nižší příjem vody při koupání (100 - 200 ml), než jaký je u pitné vody.

Překročení limitních hodnot III. stupně

Nastává, pokud je ve vodě obsažen vodní květ sinic, který je ve vyhlášce popsán jako stav, při kterém můžeme vidět sluky sinic u hladiny nebo povlak sinic na hladině pouhým okem. Limity III. stupně považujeme také za překročené, pokud se ve vodě

nenachází přítomnost vodního květu, ale ve vzorcích jsou výrazně vyšší počty sinic, než udávají limity II. stupně. To se týká především nádrží, kde převažují vláknité sinice rodu *Planktothrix agardhii*, které vytvářejí spíše velmi silný vegetační zákal (Vyhláška 238/2011 Sb.; Státní zdravotní ústav).

Vyhláška č. 155/2011 Sb., o profilech povrchových vod využívaných ke koupání.

Vyhláška stanovuje obsah a způsob přípravy profilu povrchových vod využívaných ke koupání, podmínky přezkumu, aktualizace, rozsah a způsob předávání podkladů správcům povodí.

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví ve znění pozdějších předpisů (především zákona č. 151/2011 Sb.).

Zákon stanovuje hygienické požadavky na bazény, sauny, koupaliště ve volné přírodě a umělá koupaliště. Patří sem i povinnosti jejich provozovatelů. Také upravuje práva a povinnosti fyzických a právnických osob v oblasti ochrany a podpory veřejného zdraví (Zákon 258/2000 Sb.).

Zákon č. 254/2001 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu. A v neposlední řadě směrnici naplňuje zákon o hnojivech č. 156/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

„Zákon definuje profil vody ke koupání a stanovuje povinnost provádět opatření, pokud je jakost povrchové vody ke koupání nevyhovující. Dále je jeho účelem chránit povrchové a podzemní vody, vytvářet podmínky pro efektivní využívání vodních zdrojů, udržovat a zlepšovat kvalitu povrchových a podzemních vod, vytvořit podmínky pro snižování nepříznivých účinků povodní a sucha, zajistit bezpečnost vodních děl v souladu s právem Evropských společenství. Tento zákon přispívá k zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou a přispívá k ochraně vodních ekosystémů a na nich přímo závislých suchozemských ekosystémů“.

„Zákon upravuje právní vztahy k povrchovým a podzemním vodám, vztahy fyzických a právnických osob k využívání povrchových a podzemních vod, jakož i vztahy k pozemkům a stavbám, s nimiž výskyt těchto vod přímo souvisí. V rámci vztahů upravených tímto zákonem se bere v úvahu zásada návratnosti nákladů na

vodohospodářské služby, včetně nákladů na související ochranu životního prostředí a nákladů na využívané zdroje, v souladu se zásadou, že znečišťovatel platí” (Zákon 254/2001 Sb.).

Nitrátová směrnice – Směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním způsobeném dusičnany ze zemědělských zdrojů.

Účelem nitrátové směrnice je snížit znečištění vod, které je způsobené dusičnany ze zemědělských zdrojů a zabránit dalšímu znečištění. To je nejen nutné k zajištění dostatku kvalitní pitné vody, ale také kvůli eutrofizaci povrchových vod a oceánů.

Směrnice se vztahuje na zranitelné oblasti, které jsou vymezeny v hranicích katastrálních území. Tyto oblasti mají znečištěnou vodu dusičnany ze zemědělství.

V České republice je směrnice implementována do těchto národních předpisů:

- Zákon o hnojivech č.156/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- Nařízení vlády č.262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu (Směrnice Rady 91/676/EHS).

Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, v platném znění vymezuje zranitelné oblasti a používání hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech.

„Toto nařízení zapracovává příslušné předpisy Evropské unie a stanoví zranitelné oblasti a akční program pro tyto oblasti”.

„Zranitelné oblasti jsou územně vymezeny katastrálními územími, jejichž seznam je uveden v příloze č. 1 k tomuto nařízení. Přezkoumání vymezení zranitelných oblastí provádí Ministerstvo životního prostředí”.

„Akční program se vztahuje na fyzické nebo právnické osoby, které provozují zemědělskou výrobu ve zranitelných oblastech, používají a skladují hnojiva a jsou zapsány do evidence podle zákona o zemědělství” (Nařízení vlády 262/2012 Sb.).

Zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci), ve znění pozdějších předpisů.

„Účelem zákona je, v souladu s právem Evropské unie, dosáhnout vysoké úrovně ochrany životního prostředí jako celku uplatněním integrované prevence a omezování znečištění“.

„Tento zákon stanovuje povinnosti provozovatelů zařízení, stanovuje sankce za porušení povinností, upravuje a stanovuje obsah vedení informačního systému integrované, upravuje náležitosti systému výměny informací o nejlepších dostupných technikách, zřízení a činnost technických pracovních skupin a zveřejňování informací o nejlepších dostupných technikách“ (Zákon 76/2002 Sb.).

Směrnice Rady 91/271/EHS, o čištění městských odpadních vod – řeší problematiku splaškových odpadních vod. Celé území České republiky je vymezeno jako citlivá oblast, z čehož se odvíjí i vyšší nároky na čištění odpadních vod a požadavky na rekonstrukce a budování kanalizací ČOV.

Cílem této směrnice je ochrana životního prostředí před nepříznivými účinky vypouštění odpadních vod. Tato směrnice se zabývá odváděním, čištěním a vypouštěním městských vod a také čištěním a vypouštěním odpadních vod z určitých průmyslových odvětví (Směrnice Rady 91/271/EHS).

4.1 Monitoring

4.1.1 Kyslík

Kyslík řadíme mezi hlavní plyny ve vodě. Do vody vniká difuzí z ovzduší nebo se uvolňuje při fotosyntéze vodních rostlin. Vodní živočichové ke svému životu také potřebují kyslík, který se ve vodě rozpouští v relativně malém množství.

Kyslík je závislý na atmosférickém tlaku, teplotě, salinitě nebo na biologické aktivitě vod. Pokud dojde k tzv. kyslíkovému deficitu, jde o stav, kdy množství kyslíku klesne na nulu. Dochází k němu např. při přemnožení zooplanktonu, při náhlém masovém úhynu vodních organismů, nedostatku světla apod. (Sukop, 2006). Nedostatek kyslíku bývá spíše v hlubších vrstvách a přesycené kyslíkem bývají povrchové vrstvy díky asimilační činnosti fytoplanktonu (Žalud, 2008). Žalud (2008) dále dodává, že čím je voda bohatší na organizmy, tím je během 24 hodin zřetelnější kolísání obsahu kyslíku.

4.1.2 pH

Kyselost vodných roztoků je zapříčiněna nadbytkem vodíkových iontů (H^+) a zásaditost nadbytkem hydroxylových iontů (OH^-), (Pitter, 2015). Pokud jsou tyto ionty v rovnováze, znamená to, že reakce vody je neutrální a její hodnota pH je 7. V přírodních vodách často dochází ke kolísání pH, je-li hodnota pH větší než 7 voda vykazuje zásadité pH, při hodnotě pod 7 je pH kyselé (Sukop, 2006).

4.1.3 Chlorofyl-*a*

Chlorofyl-*a* je základní fotosyntetický pigment zelené barvy, který je obsažen ve všech zelených rostlinách, sinicích a řasách. Toto barvivo se uplatňuje při fotosyntéze. V čistých povrchových vodách koncentrace chlorofylu nepřesahuje $10\mu g.l^{-1}$ (LE & Salcedo, 2012).

4.1.4 Teplota

Nejvýznamnější fyzikální vlastnost vody je teplota. V průběhu celého roku se teplota povrchových vod velmi často mění (Pitter, 2015). Závisí zejména na počasí, slunečním záření, míchání vody, charakteru vodní nádrže, barvě a dalších činitelích. Ve vodě je za zdroj tepla považována sluneční energie, teplo z ovzduší, a také v malé míře dochází k přesunu tepla z vodoteče nebo ze dna nádrže (Žalud, 2008).

4.1.5 Průhlednost

Průhlednost je ovlivněna barvou a zákalem. Zvýšený abiotický zákal snižuje pronikání světla, řasovou biomasu a sedimentované živiny, ale zvyšuje rozpuštěné a celkové živiny ve vodním sloupci (Diehl, 2002). Průhlednost udává pouze přibližnou informaci o jakosti vody a měří se pomocí Seccioho desky (kruh o průměru 30 cm rozdělený na 4 díly, které jsou střídavě bílé a černé barvy). Deska je na provázku spouštěna do hloubky tak dlouho, dokud je viditelná. Měření je prováděno třikrát a výsledkem je průměrná hodnota měření. Výsledky jsou uváděny v cm. V nádržích s početným výskytem sinic se může stát, že průhlednost vody bude nulová. V zimě je větší než v létě díky intenzitě rozvoje planktonu (Žalud, 2008).

4.1.6 Rozpustnost

Nejvýznamnějším rozpouštědlem v přírodě je voda. Jedná se o polární rozpouštědlo, které je tvořeno polárními molekulami. Ve vodě se alespoň částečně rozpouští každá látka, proto v ní nacházíme velké množství různých druhů látek. Vlivem různých mezimolekulových sil je rozpustnost kapalin ve vodě rozdílná. Dá se tedy říci, že rozpustnost dvou kapalin s podobnými vlastnostmi (polární kapaliny) je mnohem větší než rozpustnost dvou kapalin s odlišnými vlastnostmi (polární a nepolární kapaliny). Rozpustnost je závislá také na teplotě a tlaku. Je stanovena jeho parciálním tlakem na hladinu, chemickou povahou obou složek a teplotou. Rozpouštění plynu ve vodě a dosažení rovnovážného stavu je velmi pomalé. Každý pohyb vody, míchání, její proudění atd. zrychluje pronikání plynu do vody, a tím rozpouštění urychluje (Ilavský, 2008).

4.1.7 Konduktivita

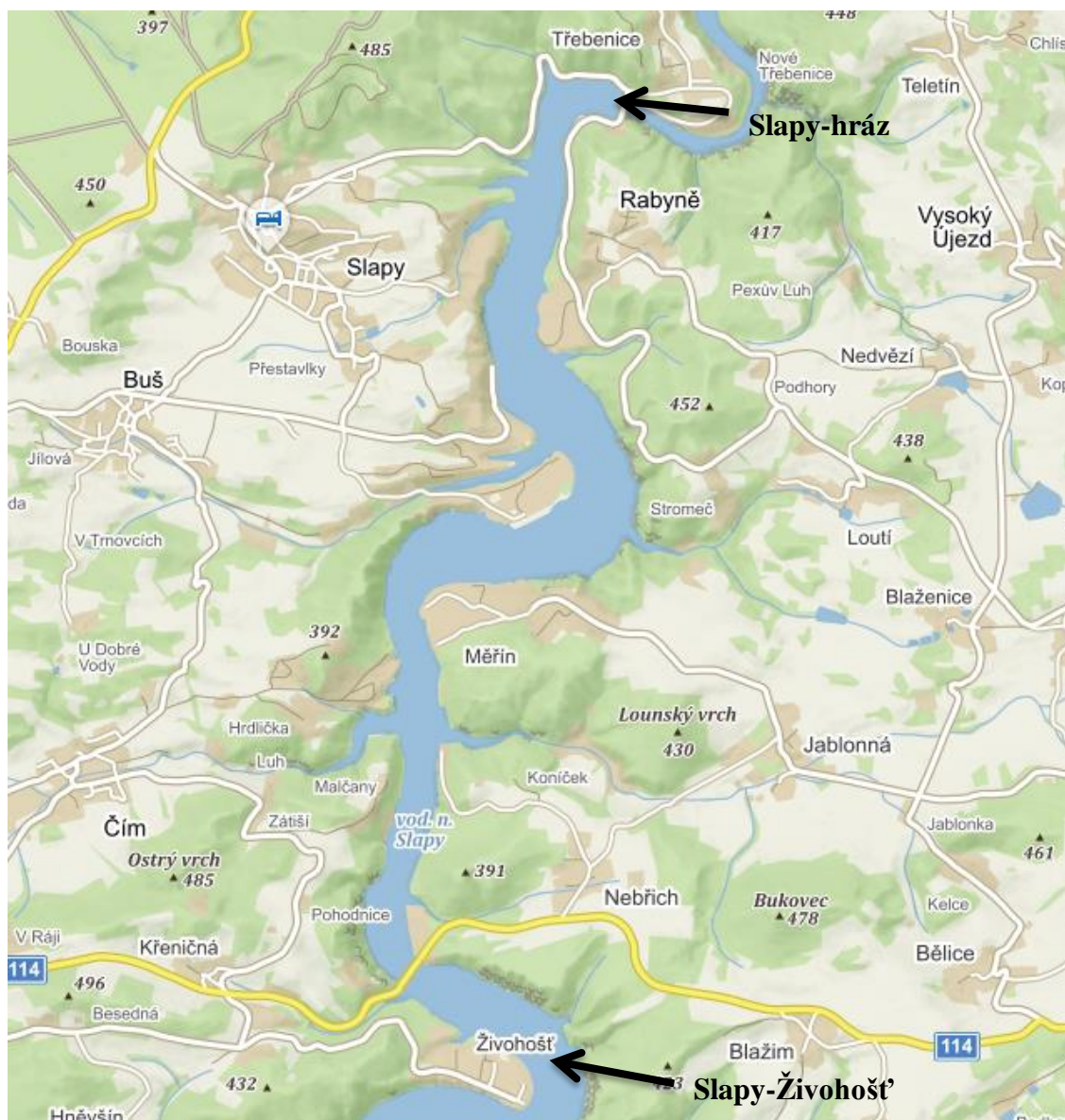
Konduktivita neboli elektrická vodivost vody je hodnota, která nám ukazuje, jak je voda schopna vést elektrický proud. Jedná se o převrácenou hodnotu odporu (Pitter, 2015).

V hydrochemii jde o fyzikálně-chemickou vlastnost vody, jelikož konduktivita vody je přímo úměrná obsahu iontů i koncentraci rozpuštěných disociovaných látek. Čím více je ve vodě iontů, tím vyšší je vodivost.

Pomocí konduktivity je také možné odhadnout stupeň mineralizace vody nebo její prospěšnost při dlouhodobém sledování určitého typu vody, neboť hodnoty vodivosti ukazují změny v koncentraci rozpuštěných látek. Jednotka konduktivity v hydrochemii se udává v $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Sukop, 2006).

5. Popis zájmového území

Vodní dílo Slapy (obr.č.1) se nachází na řece Vltavě (ř. km 91,7). Bylo postaveno mezi lety 1949-1955 v místě Svatojanských proudů a je součástí tzv. Vltavské kaskády. Stavba se nachází ve Středočeském kraji mezi okresy Praha-západ, Příbram a Benešov. Délka přehradního jezera je 44 km a rozloha vodní plochy 1392 ha. Jelikož se vodní dílo nachází blízko Prahy, jde o velmi často navštěvované rekreační místo, zejména v letních měsících. Hlavním účelem vodního díla je ale využití spádu a průtoku řeky, který slouží k výrobě elektřiny. Kolísání odtoku vody z elektrárny vyrovnává nádrž ve Štěchovicích a nádrž ve Vraném (Povodí Vltavy, skupina ČEZ).



Obrázek č. 1 - Mapa odběrných míst (www.mapy.cz)

5.1 Metodika

Teoretické informace pro rešeršní část bakalářské práce byly získány z odborných knih a časopisů, včetně zahraniční literatury a v menší míře i z internetových zdrojů. Pro zpracování praktické části na základě žádosti o poskytnutí dat z Povodí Vltavy, s.p., bylo vybráno období 2017–2019 a dvě odběrná místa (Slapy – hráz, Slapy – Živohošť), v rámci kterého byly zpracovány informace o biomase řas, resp. koncentrace chlorofylu-*a* ve Slapské přehradě.

Na vybraných lokalitách probíhá během vegetačního období dlouhodobý monitoring výskytu fytoplanktonu, zahrnující odběry vod ke koupání, který se provádí z horizontu 0 - 30 cm z nejméně tří dílčích vzorků, rovněž měření teploty, průhlednosti a obsahu chlorofylu-*a* v povrchové vodě. Získaná data o odběrech vzorků (průhlednost, teplota, chlorofyl-*a*) od dubna do září (2017), resp. října (2018–2019) byla zpracována v programu Microsoft Excel v podobě tabulek a grafů.

5.2 Výsledky

V letech 2017-2019 bylo na odběrném místě č. 1 (Slapy hráz) nalezeno celkem 12 tříd sinic a řas a jejich 49 rodů (tab.č.1). Na odběrném místě č. 2 (Slapy Živohošť) bylo nalezeno celkem 13 tříd řas a sinic a jejich 54 rodů (tab.č.2).

	Třídy	Počet rodů		
		2017	2018	2019
Slapy hráz	<i>Bacillariophyceae</i>	7	5	7
	<i>Cryptophyceae</i>	3	2	3
	<i>Cyanophyceae</i>	7	10	10
	<i>Dinophyceae</i>	2	2	3
	<i>Euglenophyceae</i>	0	0	1
	<i>Chlorophyceae</i>	13	14	12
	<i>Klebsormidiophyceae</i>	1	1	0
	<i>Synurophyceae</i>	0	1	1
	<i>Trebouxiophyceae</i>	3	4	3
	<i>Zygnematophyceae</i>	2	3	3
	<i>Chrysophyceae</i>	0	1	0
	<i>Ulvophyceae</i>	0	1	0
	<i>Xanthophyceae</i>	0	0	0

Tabulka č. 1: Celkový počet tříd řas a sinic a jejich rodů v průběhu vegetační sezóny 2017-2019, Slapy hráz (zdroj: upraveno dle dat poskytnutých z PVL, s.p.)

	Třídy	Počet rodů		
		2017	2018	2019
Slapy Živohošť	<i>Bacillariophyceae</i>	5	4	8
	<i>Cryptophyceae</i>	3	3	3
	<i>Cyanophyceae</i>	6	8	11
	<i>Dinophyceae</i>	3	2	3
	<i>Euglenophyceae</i>	1	1	2
	<i>Chlorophyceae</i>	12	13	14
	<i>Klebsormidiophyceae</i>	1	1	1
	<i>Synurophyceae</i>	0	1	1
	<i>Trebouxiophyceae</i>	3	5	4
	<i>Zygnematophyceae</i>	2	3	2
	<i>Chrysophyceae</i>	1	0	0
	<i>Ulvophyceae</i>	0	1	0
	<i>Xanthophyceae</i>	1	0	0

Tabulka č. 2: Celkový počet tříd řas a sinic a jejich rodů v průběhu vegetační sezóny 2017-2019, Slapy Živohošť (zdroj: upraveno dle dat poskytnutých z PVL, s.p.)

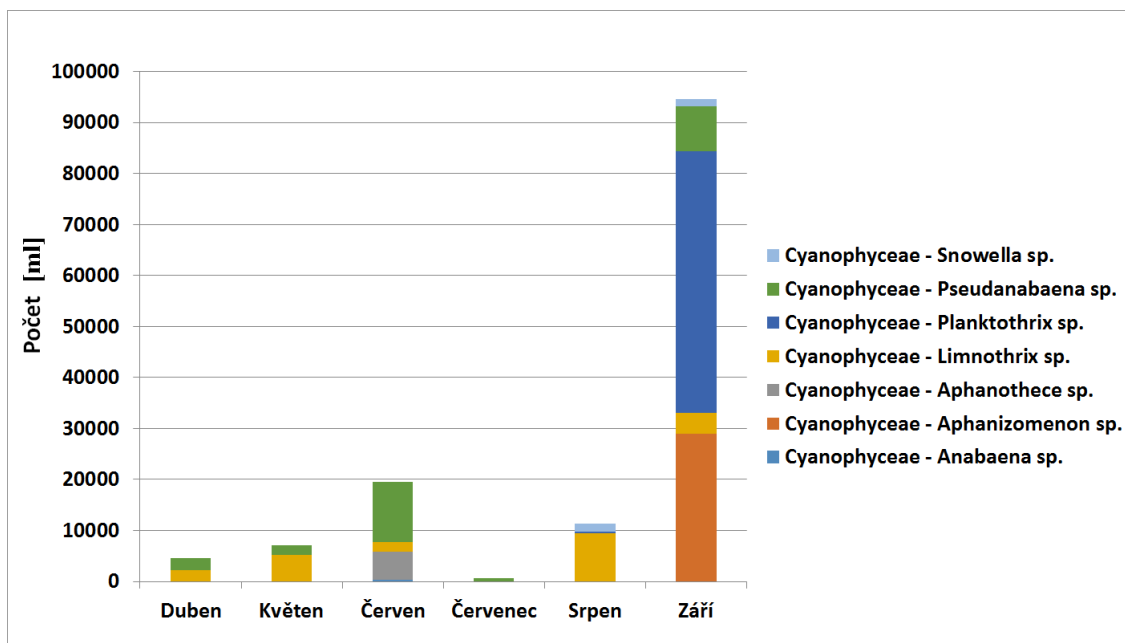
Nejpočetněji je zastoupena třída *Chlorophyceae* se 14 rody, dále třídy *Cyanophyceae* (11 rodů), *Bacillariophyceae* (8 rodů), *Trebouxiophyceae* (5 rodů), třída *Synurophyceae* (4 rody), *Cryptophyceae* (3 rody), *Dinophyceae* (3 rody), *Zygnematophyceae* (3 rody), *Euglenophyceae* (2 rody) a nakonec třídy *Klebsormidiophyceae*, *Chrysophyceae*, *Ulvophyceae* a *Xanthophyceae* po 1 rodě v každé skupině.

5.3 Sezónní dynamika

Na lokalitě č. 1 (Slapy hráz) bylo v roce 2017 nalezeno 8 tříd řas a sinic, v roce 2018 to bylo 11 tříd a v posledním zkoumaném roce, tedy v roce 2019 bylo pozorováno 9 tříd. Na lokalitě č. 2 (Slapy Živohošť) bylo v roce 2017 objeveno 11 tříd, v roce 2018 také 11 tříd a v roce 2019 bylo nalezeno 10 tříd sinic a řas.

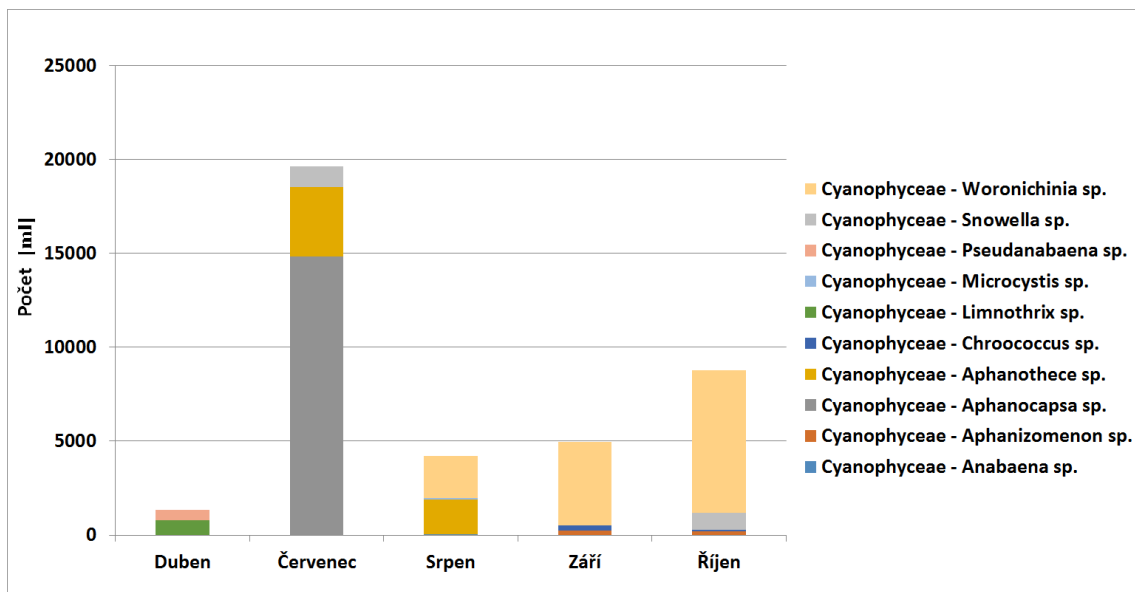
5.3.1 Lokalita č. 1 – Slapy hráz

Lokalitě č. 1 bylo v roce 2017 zkoumáno pouze v rozmezí dubna až září. V průběhu sezóny 2017 bylo na lokalitě č. 1 nalezeno 8 tříd sinic a řas. Nejvíce zastoupena byla třída *Cyanophyceae* (7 rodů: *Planktothrix sp.*, *Aphanizomenon sp.*, *Pseudanabaena sp.*, *Limnothrix sp.*, *Aphanothece sp.*, *Snowella sp.*, *Anabaena sp.*). V září bylo nalezeno nejvíce druhů třídy *Cyanophyceae* (5 rodů), v ostatních měsících byl počet nižší. Nejnižší stav byl v červenci (1 rod).



Obrázek č. 2: Rody třídy *Cyanophyceae* na lokalitě Slapy-hráz v průběhu vegetační sezóny 2017 (zdroj: vlastní zpracování)

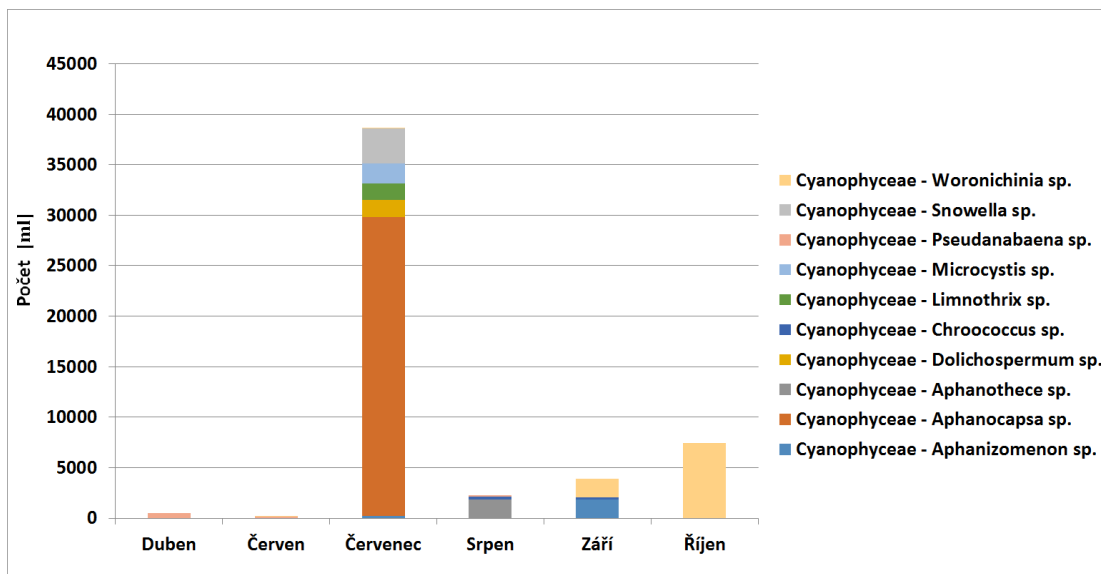
V roce 2018 probíhaly odběry na lokalitě č. 1 v období dubna až října. Na lokalitě č. 1 bylo nalezeno 11 tříd sinic a řas (příloha č. 2). Nejvíce vyskytující se třídou byla třída *Cyanophyceae* (10 rodů: *Aphanocapsa sp.*, *Woronichinia sp.*, *Aphanothece sp.*, *Snowella sp.*, *Limnothrix sp.*, *Pseudanabaena sp.*, *Aphanizomenon sp.*, *Chroococcus sp.*, *Microcystis sp.*, *Anabaena sp.*). Největší nárůst pozorujeme v červenci a v říjnu. Naopak v květnu a červnu se nevyskytl žádný rod třídy *Cyanophyceae*. Dále můžeme na obrázku č. 3 vidět větší nárůst u tříd *Cryptophyceae* (2 rody) a *Chlorophyceae* (10 rodů).



Obrázek č. 3: Rody třídy *Cyanophyceae* na lokalitě Slapy-hráz v průběhu vegetační sezóny 2018 (zdroj: vlastní zpracování)

V roce 2019 zpozorujeme 9 tříd sinic a řas (příloha č. 3). Nejrozšířenější skupina na lokalitě č. 1 byla opět třída *Cyanophyceae* (10 rodů: *Aphanocapsa sp.*, *Woronichinia sp.*, *Anabaena sp.*, *Snowella sp.*, *Aphanizomenon sp.*, *Microcystis sp.*, *Aphanothece sp.*, *Dolichospermum sp.*, *Limnothrix sp.*, *Pseudanabaena sp.*). Největší nárůst pozorujeme v letní sezóně (červenec), kde především dominuje rod *Aphanocapsa sp.* V srpnu dochází k obrovskému snížení množství sinic této třídy a postupem měsíců dochází k mírnému zvýšení. (obr.č.4).

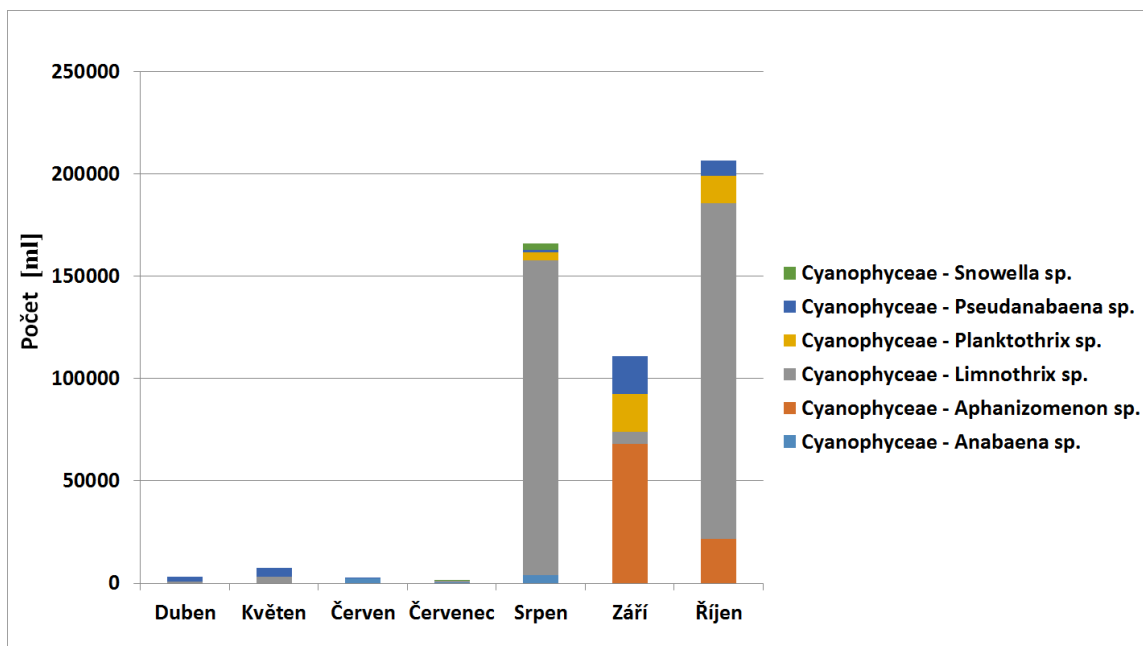
Další početnější třídy, které se v tomto období vyskytovaly: *Cryptophyceae* (3 rody), *Bacillariophyceae* (7 rodů) a v menším zastoupení třídy *Chlorophyceae* (12 rodů) a třída *Trebouxiophyceae* (3 rody).



Obrázek č. 4: Rody třídy *Cyanophyceae* na lokalitě Slapy-hráz v průběhu vegetační sezóny 2019 (zdroj: vlastní zpracování)

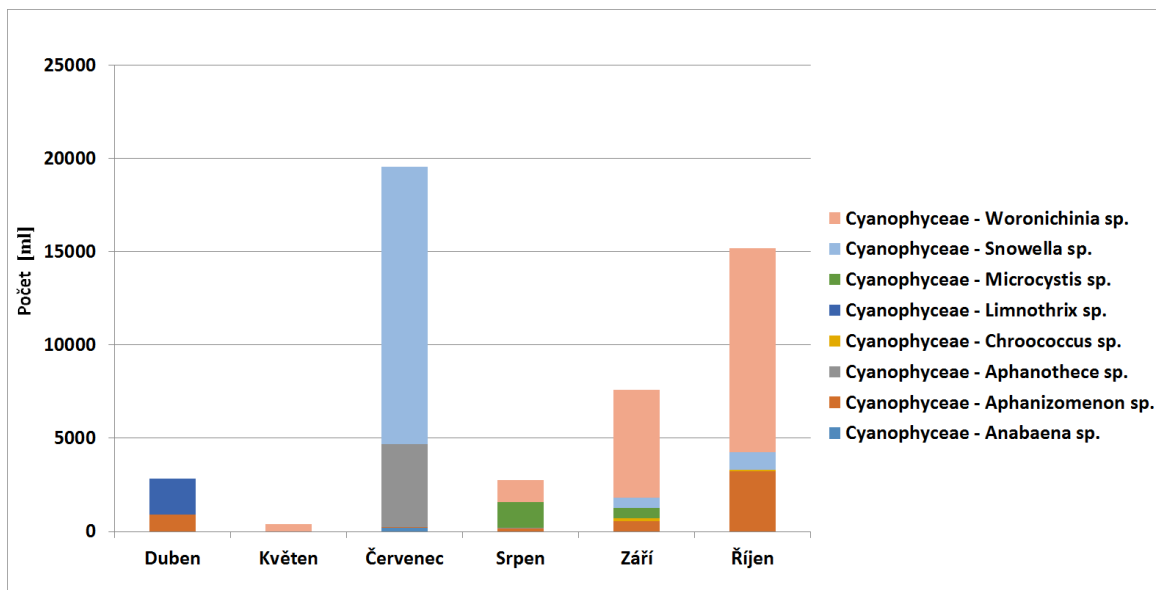
5.3.2 Lokalita č. 2 – Slapy Živohošť

V průběhu vegetační sezóny roku 2017 bylo na lokalitě č. 2 nalezeno 11 tříd řas a sinic. Nejrozšířenější byla opět třída *Cyanophyceae* (6 rodů: *Limnothrix sp.*, *Aphanizomenon sp.*, *Planktothrix sp.*, *Pseudanabaena sp.*, *Anabaena sp.*, *Snowella sp.*) Skupina *Cyanophyceae* během vegetační sezóny kolísala. Nejmenší nárůst byl nalezen v červenci (3 rody) a největší nárůst v říjnu (4 rody). Objevovala se zde v malém počtu také třída *Bacillariophyceae* (5 rodů) a ve stejném, poměrně nízkém počtu *Cryptophyceae* (3 rody) a třída *Chlorophyceae* (3 rody).



Obrázek č. 5: Rody třídy *Cyanophyceae* na lokalitě Slapy-Živohošť v průběhu vegetační sezóny 2017 (zdroj: vlastní zpracování)

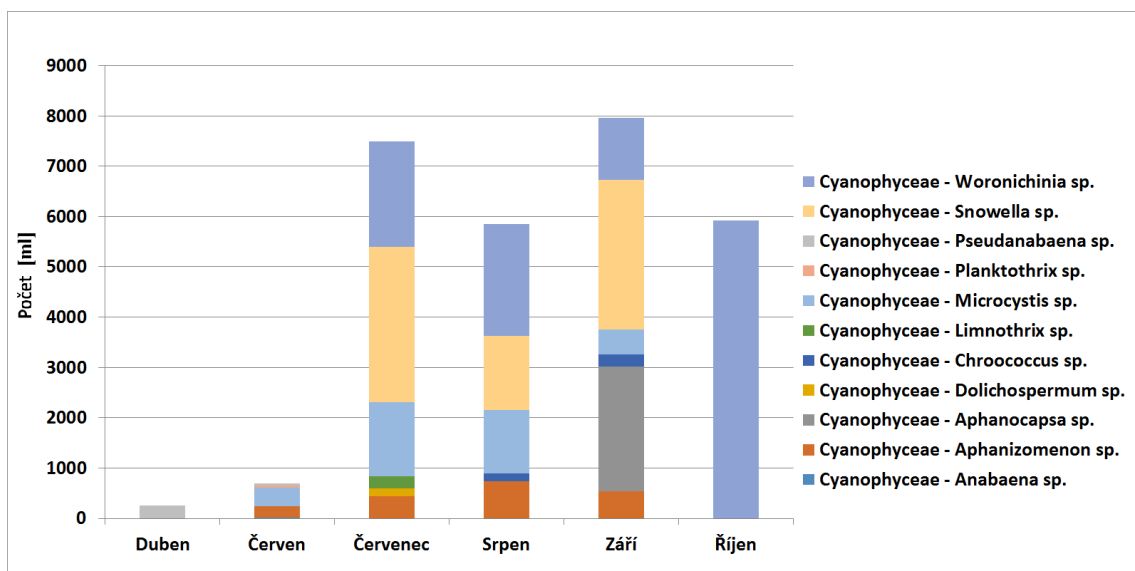
Nejvíce zastoupenou třídou v roce 2018 (příloha č. 5) byla třída *Cyanophyceae* (8 rodů: *Woronichinia sp.*, *Snowella sp.*, *Aphanizomenon sp.*, *Aphanothece sp.*, *Limnothrix sp.*, *Microcystis sp.*, *Chroococcus sp.*, *Anabaena sp.*), dále třídy *Chlorophyceae* (12 rodů), *Bacillariophyceae* (4 rody) a *Cryptophyceae* (3 rody). V tomto roce byla také nalezena třída *Trebouxiophyceae* (5 rodů). Třída *Cyanophyceae* byla v dubnu a květnu nízká, v červnu byl nárůst největší. Poté další dva měsíce došlo ke snížení a na začátku října došlo znovu k nárůstu (obr.č.6).



Obrázek č. 6: Rody třídy *Cyanophyceae* na lokalitě Slapy-Živohošť v průběhu vegetační sezóny 2018 (zdroj: vlastní zpracování)

V roce 2019 bylo nalezeno 11 tříd sinic a řas (příloha č. 6). Nedošlo k značným změnám, jelikož nejrozšířenější skupinou je třída *Cyanophyceae* (11 rodů: *Woronichinia sp.*, *Snowella sp.*, *Microcystis sp.*, *Aphanocapsa sp.*, *Aphanizomenon sp.*, *Chroococcus sp.*, *Pseudanabaena sp.*, *Limnothrix sp.*, *Dolichospermum sp.*, *Planktothrix sp.*, *Anabaena sp.*). Největší nárůst pozorujeme v červenci a září. Naopak velmi malé zastoupení bylo v dubnu a také v červnu. V tomto roce byl nejvíce zastoupen rod *Woronichinia sp.*

Nacházíme zde také v tomto roce stejné třídy jako v roce 2018. Jedná se tedy o třídu *Trebouxiophyceae* (4 rody), o třídy *Cryptophyceae* (3 rody) a *Chlorophyceae* (14 rodů) se stejným procentuálním zastoupením a o třídu *Bacillariophyceae* (8 rodů).

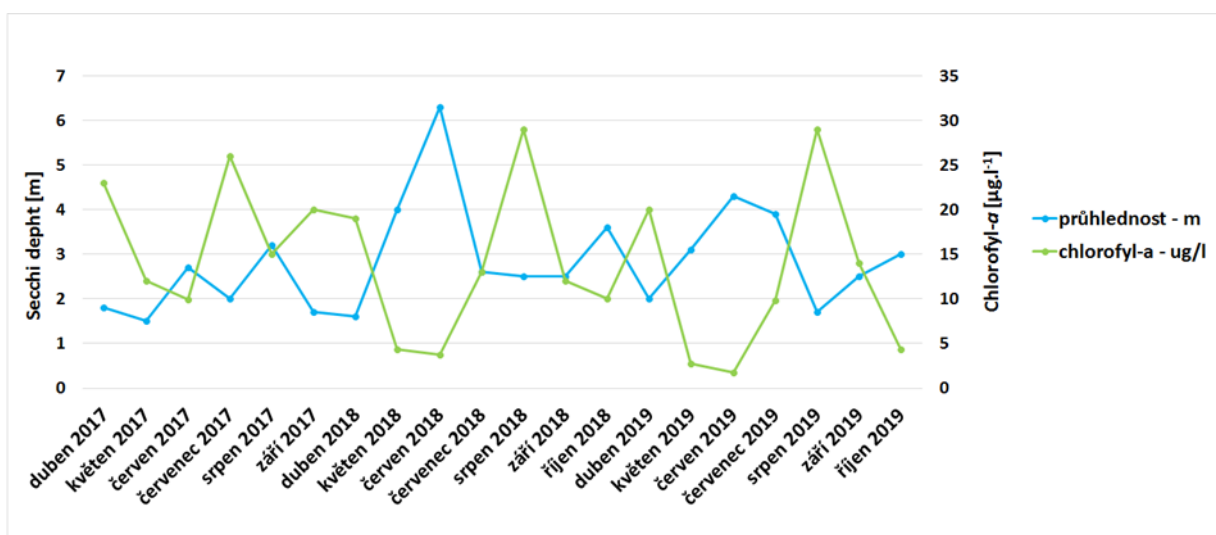


Obrázek č. 7: Rody třídy *Cyanophyceae* na lokalitě Slapy-Živohošť v průběhu vegetační sezóny 2019 (zdroj: vlastní zpracování)

5.3.3 Sezónní vývoj průhlednosti a koncentrace chlorofylu-*a*

Lokalita č. 1 – Slapy hráz

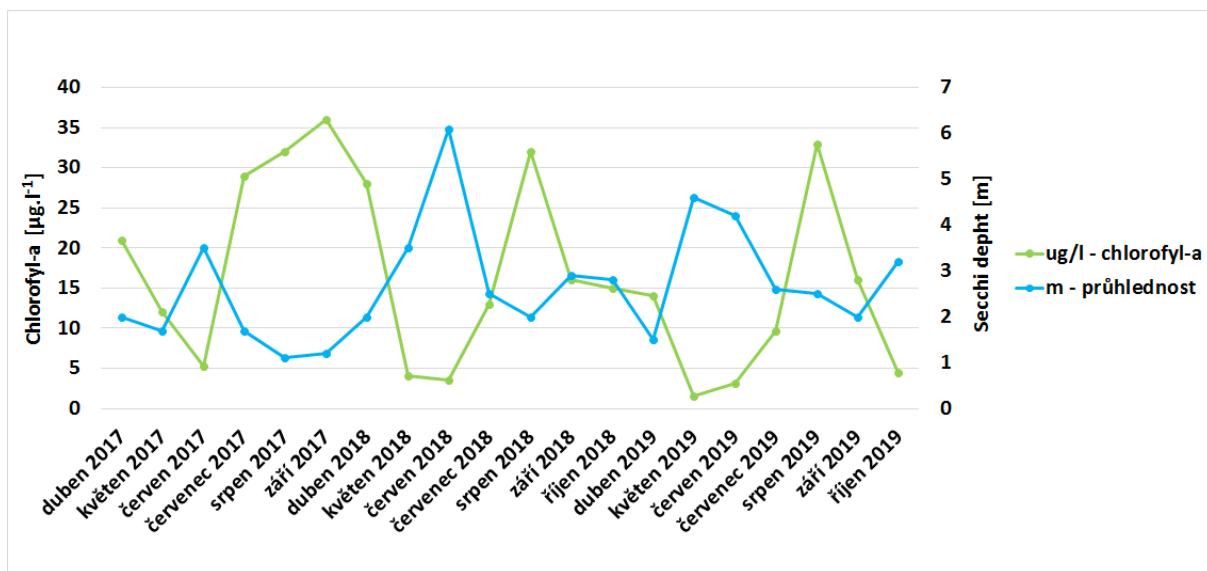
Hodnoty průhlednosti byly ve shodě s průběhem koncentrace chlorofylu-*a* jako míry biomasy fytoplanktonu, což je zachyceno na obr.č.8. Je zřejmé, že průhlednost dosáhla nejnižších hodnot v květnu 2017, dubnu 2018 a srpnu 2019. V průběhu sledované sezóny, kdy koncentrace chlorofylu-*a* v průměru nepřesáhla 15 $\mu\text{g.l}^{-1}$, byly hodnoty průhlednosti naměřené Secchiho deskou okolo 4 metrů. Největší průhlednost byla naměřena v období května a června 2018, kdy hodnota dosáhla 6,2 m. Poměrně prudký pokles průhlednosti pozorujeme vždy na přelomu srpna, který je pravděpodobně způsoben anorganickým zbarvením vody.



Obrázek č. 8: Sezónní průběh koncentrace chlorofylu-*a* [$\mu\text{g.l}^{-1}$] (zeleně) a průhlednosti [m] (modře) v letech 2017-2019 – Slapy hráz (zdroj: vlastní zpracování)

Lokalita č. 2 – Slapy Živohošť

Hodnoty průhlednosti byly ve shodě s průběhem koncentrace chlorofylu-*a* jako míry biomasy fytoplanktonu, což je zachyceno na obr.č.9. Pozorujeme, že průhlednost dosáhla nejnižších hodnot v srpnu 2017, srpnu 2018 a dubnu 2019. Největší průhlednost byla naměřena v období září a října 2017, kdy hodnota dosáhla 6 m.

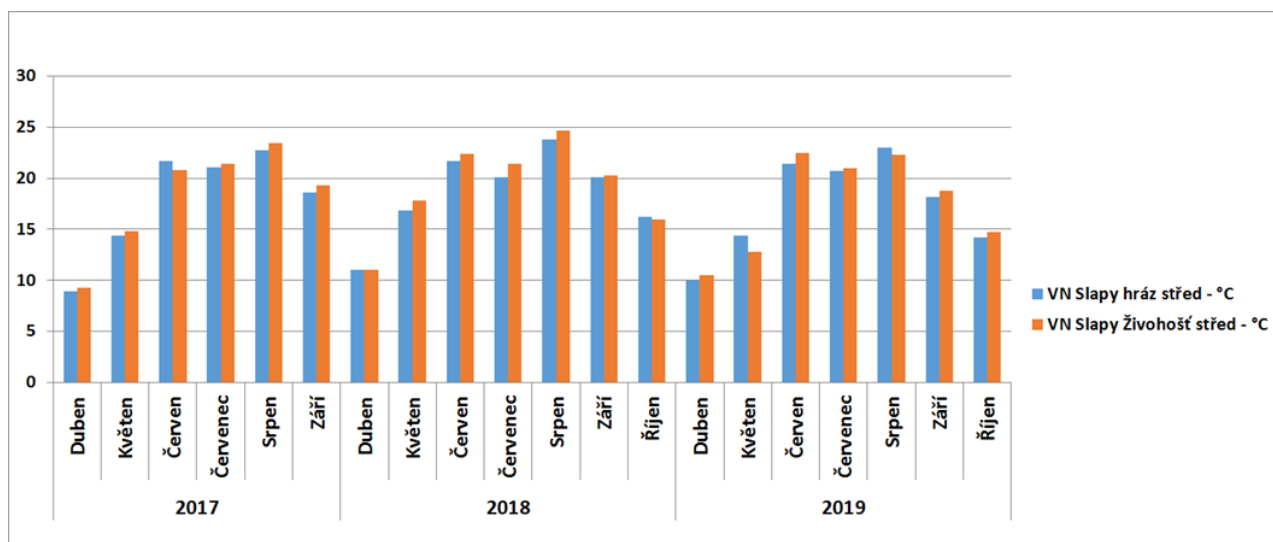


Obrázek č. 9: Sezónní průběh koncentrace chlorofylu-*a* [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$] (zeleně) a průhlednosti [m] (modře) v letech 2017-2019 – Slapy-Živohošť (zdroj: vlastní zpracování)

5.3.4 Hodnota teploty povrchové vody

Průběh povrchové teploty vody ve sledovaných částech vodní nádrže byl v každém roce na obou sledovaných lokalitách podobný. Nejnižší teploty byly naměřeny na Slapské hrázi v dubnu 2017 v hodnotě 9 °C a nejvyšší v srpnu v hodnotě 24,7 °C na Živohošti (obr.č.10).

Na 1. stanovišti byla v dubnu 2017 naměřena hodnota 9 °C, dále stoupala až do srpna (22,7 °C). V září klesla na 18,6 °C. V roce 2018 a 2019 se hodnoty lišily o 1-2 °C. Na stanovišti č. 2 stoupala teplota v roce 2017 až do srpnového měření na 23,5 °C, v září teplota klesala. V dalších letech se zvyšovala teplota vody do června, v červenci mírně klesla a v srpnu opět narostla. V srpnu 2018 byla na obou stanovištích největší naměřená teplota.



Obrázek č. 10: Hodnoty teploty povrchové vody zaznamenané na Slapské nádrži v průběhu vegetační sezóny 2017-2019 (zdroj: vlastní zpracování)

6. Diskuze

Při hodnocení vlivu sinic na přírodní ekosystém a na okolní organismy lze na tuto problematiku pohlížet z různých úhlů. Rozšíření sinic pomáhá světovému ekosystému svojí schopností fotosyntézy, tedy při zvýšení obsahu CO₂ v atmosféře a v době globálního oteplování přispívá ke snížení obsahu tohoto skleníkového plynu. Dalším pozitivem je fakt, že sinice i řasy, mohou být použity na výrobu biopaliv, což může v budoucnosti znamenat jednu z cest na výrobu energie. Sinice bohužel doprovází i několik negativních efektů (Kalina & Váňa, 2005). Jedním z nich jsou jejich toxiny-cyanotoxiny, které mohou způsobit člověku závažné problémy např. lehké otravy projevující se střevními a žaludečními potížemi, kožní alergie, jaterní problémy nebo v extrémním případě rakovinové bujení (Chorus & Bartram, 1999; www.sinicearasy.cz). Rozšíření sinic je též spojeno s procesem eutrofizace, který souvisí s různými činnostmi člověka (mytí nádobí, praní prádla, hnojení půd a splachy ze zemědělsky využívané půdy (Kočí et al., 2000; Maršálek, 2009).

Sezónní dynamika fytoplanktonu Slapské nádrže byla studována již od roku 1958. Javornický (1966) byl první, kdo popsal změny v počtech jednotlivých druhů v celé nádrži ve vrstvě 0 - 3 metrů. V třítydenních intervalech odebíral vzorky. V letech 1958 - 1960 pozoroval dvě roční maxima řas během vegetační sezóny. Skrytěnky (*Cryptophyceae*) tvořily první jarní maximum, které v létě vystřídaly sinice. Z tříd sinic se nejvíce objevovaly rody *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae* a rod *Anabaena*, především *Anabaena circinalis*. V létě, kde se v místě nádrže nevytvořil vodní květ, převažovaly ve fytoplanktonu rody z tříd *Bacillariophyceae* a *Chlorophyceae*. V letech 1958 - 1980 ve své rozsáhlé studii Desortová (1980) zjistila, že se v nádrži nachází celkem 200 druhů sinic a řas. Sezónní cyklus fytoplanktonu rozdělila na 3 až 4 období, která se skoro každý rok pravidelně opakovala. Příchod jarní biomasy v březnu byl tvořen druhy tříd *Bacillariophyceae*, *Cryptophyceae* a *Chryosophyceae*. Na přelomu dubna a května nastal největší nárůst jarního společenstva. V letech 1975 až 1980 byl jarní vrchol také ročním maximem biomasy fytoplanktonu (Desortová, 1980).

Složení společenstva fytoplanktonu a relativní počet jednotlivých druhů se postupně mění (Reynolds, 1984). Sezónní dynamika řas a sinic je ovlivněna fyzikálními a chemickými faktory vodního prostředí a interakcí mezi organismy (Anneville et al.,

2002). Mezi hlavní faktory, které určují výhody určitých řas v planktonu a jejich rychlost růstu, patří teplota, dostupnost živin nebo promíchávání vodního sloupce, světelné podmínky (Richardson et al., 2000).

Ze zpracovaných dat vyplývá největší dominance sinic rodu *Limnithrix sp.* na stanovišti Slapy - Živohošť v období září-října roku 2017 (obr.č.5). Na stanovišti Slapy - hráz se tak dominantní výskyt tohoto rodu neprojevil. Teplota na obou stanovištích (Slapy hráz a Slapy Živohošť) se pohybovala od 8 do 24,5 °C, přičemž teplotní optimum sinic vodního květu se pohybuje okolo 20 - 35 °C (Maršálek & Keršner, 1996). Spodní hranice teplotního optima bylo dosaženo na obou stanovištích v dubnu 2017. Teplota také úzce souvisí s jarní a podzimní cirkulací a letní a zimní stagnací vody, které ovlivňují výskyt organismů a také pohyb důležitých živin pro jejich růst (Pitter, 2015). Minimální teplota vody působí na rychlost růstu řas a sinic, a tím pádem dochází se střídáním ročních období k nahrazování jednoho společenstva jiným společenstvem. Sinice a řasy převažují v letním období.

Nezbytné pro planktonní řasy je zůstat ve vodním sloupci, aby byly splněny světelné požadavky fotosyntézy a byly získány potřebné živiny pro dosažení řádné funkce buněčného metabolismu (Sommer, 1989).

S abundancí fytoplanktonu, ale také s klimatickými podmínkami, souvisí i průhlednost vody (Pouličková, 2011). Ta se během výzkumu velice měnila a pohybovala se v rozmezí 1 - 6,2 m na obou stanovištích. Průhlednost byla nejnižší na stanovišti Slapy Živohošť, což bylo zřejmě způsobeno nejvyšším počtem buněk fytoplanktonu a vyšším pohybem vody, který mohl vířit dno. Vířením dna se uvolňují sedimenty, které zhoršují průhlednost, ale také živiny, které přispívají rozvoji fytoplanktonu, a tím dochází k ještě většímu zhoršení průhlednosti vody. Průhlednost se značně snižovala s nepříznivým počasím, především silným větrem způsobujícím víření vody. Naopak nejvyšší průhlednost byla naměřena na stanovišti Slapy hráz, kde je také více písčité a kamenité dno, na rozdíl od bahnitého dna na stanovišti Slapy Živohošť.

7. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala výzkumem složení fytoplanktonu, především sinicemi vodního květu ve vodní nádrži Slapy. Terénní výzkum probíhal v letech 2017, 2018 a 2019.

Vzorky fytoplanktonu byly odebírány během vegetační sezóny od dubna 2017 do října 2019 vždy na obou odběrových místech. Odběry proběhly v intervalech jednoho měsíce. Během vegetační sezóny v letech 2017 - 2019 bylo ve vodní nádrži Slapy zjištěno celkem 13 tříd sinic a řas. Konkrétně na Slapské hrázi bylo nalezeno 12 tříd a na Živohošti 13 tříd.

Sinice vodního květu byly poprvé odebrány v dubnu 2017, teplota vody při tomto odběru byla okolo 9 °C. V roce 2018 se teplota pohybovala okolo 11 °C a v roce 2019 byla teplota cca 10 °C. Teplota povrchové vody byla na obou stanovištích podobná, rozdíl byl maximálně 1 °C. Dále byly sinice vodního květu zaznamenány při všech následujících odběrech. Nejvyšší abundance jedinců sinic vodního květu byla zjištěna v říjnu 2019, kdy byla naměřena teplota vody 14,5 °C. Po celou vegetační sezónu ve vzorcích převažovala třída *Cyanophyceae* a její rod *Limnothrix sp.*

Zelenivky (*Chlorophyceae*), skrytěnky (*Cryptophyceae*) a rozsivky (*Bacillariophyceae*) se také hojně vyskytovaly při všech odběrech provedených ve vodní nádrži Slapy během vegetační sezóny 2017 - 2019.

Boj proti sinicím je důležitý, protože jejich masový rozvoj a produkce jejich toxinů zhoršuje ekologickou stabilitu nádrže, mění věkovou a druhovou strukturu fytoplanktonu, zooplanktonu, přirozenou produkci ryb a obojživelníků a také snižuje biodiverzitu vodního ekosystému. Dále také sinice ovlivňují rekreační využití nádrží.

8. Literatura

8.1 Odborné zdroje

Ambrožová J., 2003: Aplikovaná a technická hydrobiologie. VŠCHT v Praze, Praha, 226 s. ISBN 80-7080-521-8.

Anneville O., Ginot V., Druart J.-C., Angeli, N., 2002: Long-term study (1974-1998) of seasonal changes in the phytoplankton in Lake Geneva: a multi-table approach. *Journal of Plankton Research*, 24: P. 993–1008.

Cardoso A. C., Free G., Nõges P., Kaste Ø., Poikane S., Lyche Solheim A., 2009: Lake Management, Criteria. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences - Encyclopedia of Inland Waters, P. 310-331.

Desortová B., 1980: Fytoplankton Slapské údolní nádrže. Sborník vlastivědných prací z Podblanicka, 21. 33–50 s.

Diehl S. (2002): Phytoplankton, light and nutrients in a gradient of mixing depths: Theory. *Ecology*, 83. P. 386–398.

Formánková, M., 2010: Možnosti omezení četnosti výskytu sinic v Brněnské údolní nádrži. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, katedra vodního hospodářství, Praha. 58 s. (bakalářská práce).

Fott B., 1967: Sinice a řasy. Academia, Praha, 517 s.

Goel, R. K., Motlagh, A. M., 2014: Biological Phosphorus Removal. *Comprehensive Water Quality and Purification* 3. P. 150-162.

Hindák F., 2001: Fotografický atlas mikroskopických sinic. VEDA, Bratislava, 127 s. ISBN 8022406589.

Holas J., Hrnčířová M., 2010: Výskyt a omezování eutrofizace v povodí vodárenské nádrže Švihov. *NIKA* číslo 9. 24-27 s.

Chorus I., Bartram J., 1999: Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. World Health Organization, 416s. ISBN 0419-23930-8.

Ilavský J., Barloková D., Biskupic F., 2008: Chémia vody a hydrobiológia. Slovenská technická univerzita, Bratislava, 304 s. ISBN 978-80-227-2930-7.

Jančula D., Babica P., Straková L., Sadílek J., Maršálek B., 2013: Saxitoxin – neurotoxin produkovaný sinicemi v povrchových vodách České republiky. Vodní hospodářství číslo 12. 406-409 s.

Javornický P., 1966: Seasonal dynamics of the phytoplankton of Slapy Reservoir 1958–1960. Hydrobiological Studies, Academia, Praha, 155–163 s.

Kalina T., 1994: Systém a vývoj sinic a řas. Univerzita Karlova, Praha, 165 s. ISBN 80-7066-854-7.

Kalina T., Váňa, J., 2005: Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii. Karolinum, Praha, 606 s. ISBN 80-246-1036-1.

Kaštovský J., Juráň J., 2016: Evoluce sinic a řas v moderním pojetí. Živa číslo 6. 133-136 s.

Kočí V., Burkhard J., Maršálek B., 2000: Eutrofizace na přelomu tisíciletí. In: Eutrofizace 2000, Praha, 3-13 s.

Le H., Salcedo E., 2012: Chlorophyll: Structure, Production and Medicinal Uses. Nova Biomedical. 206 s. ISBN 978-1614709749.

Lee R. E., 2008: Phycology. Cambridge University Press, New York, 547 s. ISBN 978-0-511-38669-5.

Maršálek B., 2004: Vliv toxinů sinic na teplokrevné obratlovce a člověka. Živa 52. 198-199 s.

Maršálek B., 2009: Trofie a trofizace: Příčiny, důsledky a terminologie - úvod do problematiky. In: Maršálek, B. (eds.): Znečištění povrchových vod živinami: Příčiny, důsledky a možnosti řešení (eu)trofizace. Český svaz vědeckotechnických společností, Praha, 7-18 s.

Maršálek B., Keršner V., 1996: Možnosti omezení rozvoje vodních květů sinic v údolních nádržích. In: Maršálek B. (eds.): Vodní květy sinic. *Nadatio flos-aquae*, Brno, 125 – 135 s.

Matušková L., 2019: VODA: měnicí se místo k životu. *A/Věda a výzkum* 1/2019. 15-17 s.

O'Neil J. M., Davis T. W., Burford M., Gobler C. J., 2012: The rise of harmful cyanobacteria blooms: The potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful Algae* 14. P. 313-334.

Oppeltová P., Novák J., Kotovicová J., 2012: Vzdělávací modul Ochrana životního prostředí voda. ZERA, Náměšť nad Oslavou, 164 s. ISBN 978-80-87226-12-4.

Pearl Hans W., 2006: Assessing and managing nutrient-enhanced eutrophication in estuarine and coastal waters: Interactive effects of human and climatic perturbations. *Ecological Engineering* 26. P 40-54.

Pitter P., 2015: Hydrochemie. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 792 s. ISBN 978-80-7080-928-0.

Popelářová, R., 2018: Možná toxicita sinic a jejich možný vliv na zdraví zvířat a člověka. Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta, Katedra biologie, Hradec Králové. 51 s. (bakalářská práce).

Pouličková A., 2011: Základy ekologie sinic a řas. Univerzita Palackého, Olomouc, 91 s. ISBN 978-80-244-2751-5.

Pouličková A., Dvořák P., Hašler P., 2015: Průvodce mikrosvětlem sinic a řas. Univerzita Palackého, Olomouc, 48 s. ISBN 978-80-244-4408-6.

Reynolds C. S., 1984: *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*, Cambridge University Press. 384 p.

Richardson T. L., Gibson C. E., Heaney S. I., 2000: Temperature, growth and seasonal succession of phytoplankton in Lake Baikal, Siberia. *Freshwater Biology* 44. P 431–440.

Sommer U. (ed.), 1989: *Plankton Ecology. Succession in Plankton Communities*. Springer Verlag, Berlin. 369 p.

Sukop I., 2006: *Ekologie vodního prostředí*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 199 s. ISBN 80-7157-923-8.

Šejnohová L., Maršálek B., 2005: Pohled do mikroskopického světa sinic. *Živa* 52. 105-108 s.

Šmarda J., 2009: (Ze současné medicíny) O sinicích. *Časopis, Universitas - revue Masarykovy univerzity číslo 1 2009*. 3-10 s.

Utkilen H., Gjølme N., 1992: Toxin Production by *Microcystis aeruginosa* as a Function of Light in Continuous Cultures and Its Ecological Significance. *Applied and environmental mikrobiology* 58. P 1321-1325.

Žalud Z., 2008: *Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu metodiky stanovení indikátorů ekosystémových služeb*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 176 s. ISBN 978-80-7375-221-7.

8.2 Internetové zdroje

Ambrožová, J., 2007: Cyanotoxiny (online) [cit. 2020.10.9.], dostupné z <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=C024>.

Ambrožová, J., 2007: Vodní květ (online) [cit. 2020.10.9.], dostupné z <http://147.33.74.135/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=V009>.

Maršálek, B., 2009: Obnova ekologické stability na Brněnské přehradě. Universitas-revue Masarykovy univerzity (online) [cit. 2021.03.08.], dostupné z <<https://journals.muni.cz/universitas/article/view/565/565>>.

Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny: Když se řekne "sinice"... (online) [2020. 10. 16.], dostupné z <<http://www.sinice.cz/index.php?pg=o-sinicich>>.

ČEZ, a.s. ©2021: Vodní elektrárna Slapy (online) [cit. 2020.10.20.], dostupné z <<https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektrarny/ceska-republika/vodni-elektrarna-slapy-58142>>.

Pertile, E., 2002: Ekologický monitoring zvodnělých poklesových kotlin v OKR (online) [cit. 2020.10.16.], dostupné z <https://slon.diamo.cz/hpvt/2002/sekce/zahlazovani/Z04/P_04.htm>.

Povodí Vltavy, ©2013: Vodní dílo Slapy (online) [cit. 2020.10.20.], dostupné z <<http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vodni-dila/vltavska-vodni-cesta/vodni-dilo-slapy>>.

Přírodovědecká fakulta JU, © 2003-2020 : Oddělení Cyanobacteria – sinice (online) [cit. 2020.10.15.], dostupné z <<http://www.sinicearasy.cz/pokr/sinice>>.

Říhová Ambrožová, J., 2007: Koloběh dusíku (online) [cit. 2020.10.16.], dostupné z <http://147.33.74.135/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=K006>.

Státní zdravotní ústav: Způsob hodnocení jakosti vody (online) [cit. 2021.02.12.], dostupné z <<http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/koupani-ve-volne-prirode/zpusob-hodnoceni-jakosti-vody>>.

8.3 Legislativa

Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, v platném znění vymezuje zranitelné oblasti a používání hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech.

Nitrátová směrnice – Směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním způsobeném dusičnany ze zemědělských zdrojů.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/7/ES ze dne 15. února 2006 o řízení jakosti vod ke koupání a o zrušení směrnice 76/160/EHS.

Směrnice Rady 91/271/EHS, o čištění městských odpadních vod – řeší problematiku splaškových odpadních vod. Celé území České republiky je vymezeno jako citlivá oblast, z čehož se odvíjí i vyšší nároky na čištění odpadních vod a požadavky na rekonstrukce a budování kanalizací ČOV.

Vyhláška č. 155/2011 Sb., o profilech povrchových vod využívaných ke koupání.

Vyhláška č. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch ve znění vyhlášky č. 97/2014 Sb.

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) (ve znění zákona č. 151/2011 Sb.).

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví ve znění pozdějších předpisů (především zákona č. 151/2011 Sb.).

Zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci), ve znění pozdějších předpisů.

8.4 Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Celkový počet tříd řas a sinic a jejich rodů v průběhu vegetační sezóny 2017-2019, Slapy hráz23

Tabulka č. 2: Celkový počet tříd řas a sinic a jejich rodů v průběhu vegetační sezóny 2017-2019, Slapy Živohošť23

8.5 Seznam obrázků

Obrázek č. 1 - Mapa odběrných míst21

Obrázek č. 2: Rody třídy *Cyanophyceae* na lokalitě Slapy-hráz v průběhu vegetační sezóny 201725

Obrázek č. 3: Rody třídy *Cyanophyceae* na lokalitě Slapy-hráz v průběhu vegetační sezóny 201826

Obrázek č. 4: Rody třídy *Cyanophyceae* na lokalitě Slapy-hráz v průběhu vegetační sezóny 201927

Obrázek č. 5: Rody třídy *Cyanophyceae* na lokalitě Slapy-Živohošť v průběhu vegetační sezóny 201728

Obrázek č. 6: Rody třídy *Cyanophyceae* na lokalitě Slapy-Živohošť v průběhu vegetační sezóny 201829

Obrázek č. 7: Rody třídy *Cyanophyceae* na lokalitě Slapy-Živohošť v průběhu vegetační sezóny 201930

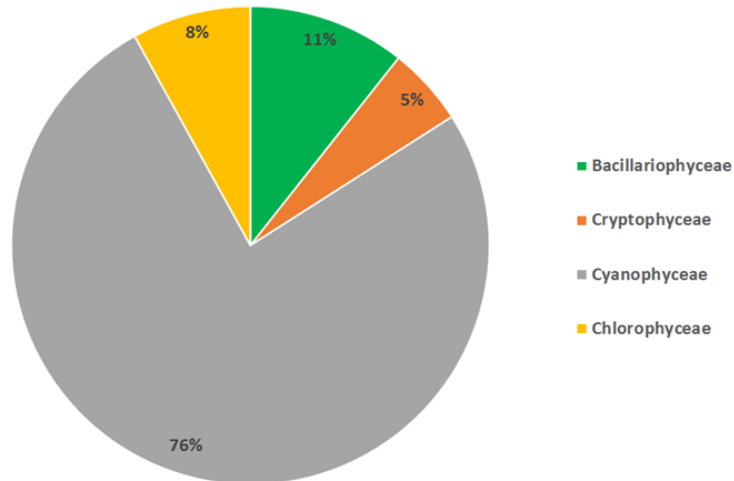
Obrázek č. 8: Sezónní průběh koncentrace chlorofylu-a a průhlednosti v letech 2017-2019 – Slapy hráz31

Obrázek č. 9: Sezónní průběh koncentrace chlorofylu-a a průhlednosti v letech 2017-2019 – Slapy-Živohošť32

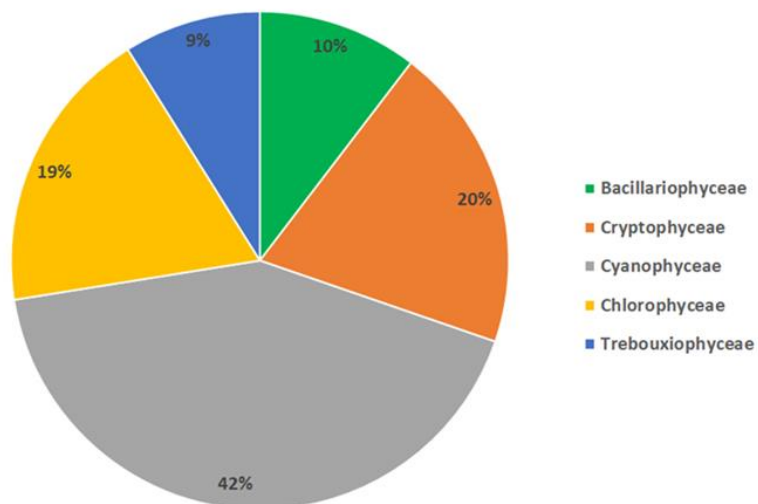
Obrázek č. 10: Hodnoty teploty povrchové vody zaznamenané na Slapské nádrži v průběhu vegetační sezóny 2017-201933

8.6 Přílohy

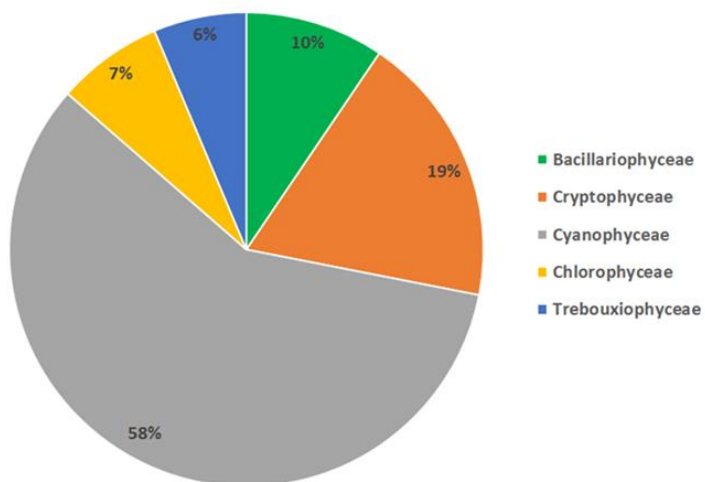
Příloha č. 1: Nejpočetnější třídy na lokalitě Slapy-hráz v průběhu vegetační sezóny 2017 (zdroj: vlastní zpracování)



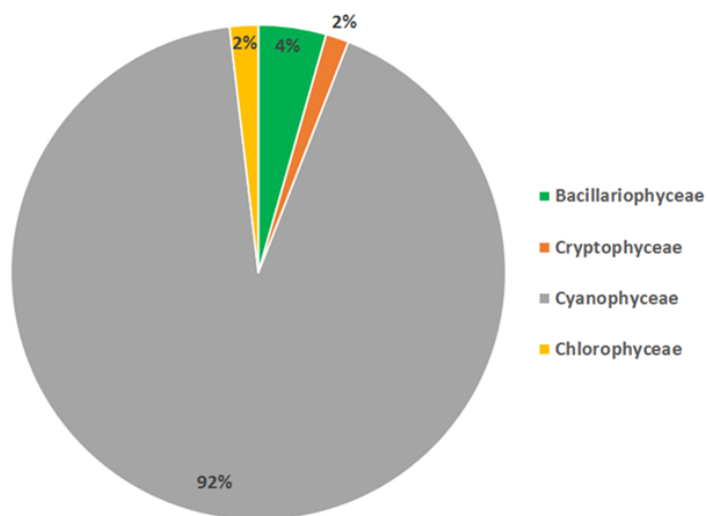
Příloha č. 2: Nejpočetnější třídy na lokalitě Slapy-hráz v průběhu vegetační sezóny 2018 (zdroj: vlastní zpracování)



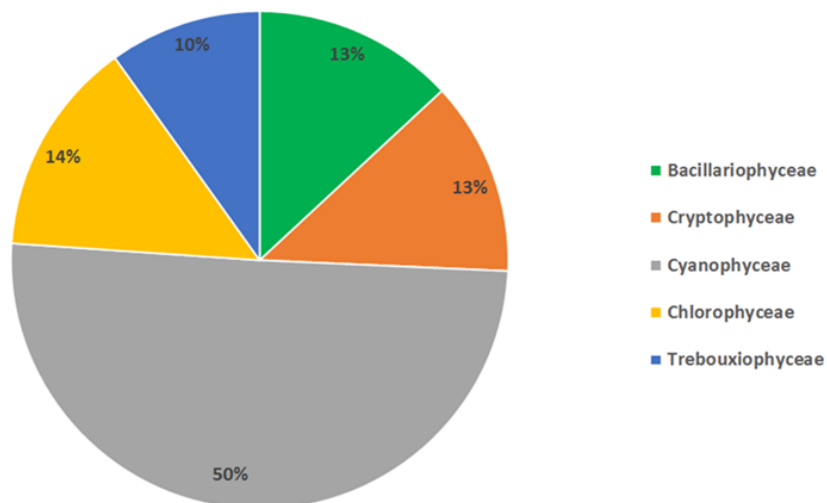
Příloha č. 3: Nejpočetnější třídy na lokalitě Slapy-hráz v průběhu vegetační sezóny 2019 (zdroj: vlastní zpracování)



Příloha č. 4: Nejpočetnější třídy na lokalitě Slapy-Živohošť v průběhu vegetační sezóny 2017 (zdroj: vlastní zpracování)



Příloha č. 5: Nejpočetnější třídy na lokalitě Slapy-Živohošť v průběhu vegetační sezóny 2018 (zdroj: vlastní zpracování)



Příloha č. 6: Nejpočetnější třídy na lokalitě Slapy-Živohošť v průběhu vegetační sezóny 2019 (zdroj: vlastní zpracování)

