Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí

Habitatové preference vláknitých sinic

Bc. Eliška Obrková

Diplomová práce
předložená
na Katedře ekologie a životního prostředí
Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků
na získání titulu Mgr. v oboru
Ekologie a ochrana životního prostředí

Vedoucí práce: doc. RNDr. Petr Hašler, Ph.D.

Olomouc 2023

© Bc. Eliška Obrková, 2023

Bibliografická identifikace

Obrková E. (2023): Habitatové preference vláknitých sinic. Diplomová práce, Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 42pp, v češtině.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vláknitými sinicemi a jejich výskytem v nejrůznějších habitatech města Štramberk. Lokalita je charakteristická svou geologickou stavbou. Štramberské vápence pocházejí z mladších třetihor z velkého korálového útesu, který vzrostl na rozhraní jury a křídy. Tato práce navazuje na bakalářskou práci, jejímž předmětem byla determinace druhů sinic, vyskytujících se na krasové jeskyni Šipka. V této práci je výzkum rozšířen o habitaty typu vodních ploch, jako je přehrada a potok, také půdní substrát a kůry stromů. Druhy a rody sinic jsou determinovány a následně je má práce zaměřená na zkoumání vlivu habitatu na jejich distribuci.

Klíčová slova: sinice, Štramberk, vápenec, habitat

Bibliographical identification

Obrková E. (2023): Habitat preferences of filamentous cyanobacteria. Diploma thesis, Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University of Olomouc, 42pp, in Czech.

Abstract

The diploma thesis deals with the topic of filamentous cyanobacteria and their occurrence in various habitats of the city Štramberk. The location is characterized by its geological structure. The limestones of Štramberk go back to the younger Tertiary period and come from a large coral reef that grew at the interface of the Jurassic and the Cretaceous period. This thesis follows up the research of the bachelor's thesis, the subject of which was the determination of the species of cyanobacteria occurring in the Šipka karst cave. In this thesis, the research is extended to water type habitats, such as dam and streams, as well as soil substrate and tree bark. The species and genera of cyanobacteria are determined and then the work is focused on investigating the influence of the habitat on their distribution.

Keywords: cyanobacteria, Štramberk, limestone, habitat

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením doc. RNDr. Petra Hašlera, Ph.D., a s použitím citované literatury.

V Olomouci ....

podpis

Obsah

Seznam tabulek I
Seznam obrázků II
Poděkování III
1. Úvod 1
1.1. Historie 1
1.2. Ekologie sinic 2
1.2.1. Diverzita a rozmístění 2
1.2.2. Vodní květ 7
1.2.3. Toxicita 9
1.2.4. Symbióza 10
1.2.5. Konkurence 11
2. Cíle práce 13
3. Materiál a metody 14
3.1. Popis lokality 14
3.2. Sběr vzorků v terénu 15
3.3. Práce v laboratoři 18
4. Výsledky 20
4.1. Zástupci vláknitých sinic 20
5. Diskuze 33
6. Závěr 36
7. Literatura 37

Seznam tabulek

Tabulka 1: Souřadnice míst sběru vzorků 18
Tabulka 2: Složení a dávkování média 19

Seznam obrázků

Obrázek 1: Mapa zájmové lokality (povodňový plán města Štramberk). 15
Obrázek 2: Přehrada Štramberk. 16
Obrázek 3: Přehrada Štramberk. 16
Obrázek 4: Přehrada Štramberk. 17
Obrázek 5: Potok Sedlnice. 17
Obrázek 6: Kamptonema animale. Nález v potoku Sedlnice. 21
Obrázek 7: Kamptonema animale. Nález v půdě. 21
Obrázek 8: Nodosilinea sp. Nález na kůře stromu. 22
Obrázek 9: Nodosilinea sp. Nález na kůře stromu. 23
Obrázek 10: Pseudanabaena galeata. Nález v potoku Sedlnice. 24
Obrázek 11: Pseudanabaena galeata. Nález v potoku Sedlnice. 24
Obrázek 12: Calothrix sp. Nález v přehradě. 25
Obrázek 13: Calothrix sp. Nález v potoku Libotínka. 26
Obrázek 14: Anagnostidinema carotinosum. Nález v půdě. 27
Obrázek 15: Anagnostidinema carotinosum. Nález na kůře stromu. 27
Obrázek 16: Microcoleus autumnalis. Nález v půdě. 28
Obrázek 17: Microcoleus autumnalis. Nález v přehradě. 29
Obrázek 18: Leptolyngbya boryana. Nález v potoku Sedlnice. 30
Obrázek 19: Leptolyngbya boryana. Nález v potoku Sedlnice. 30
Obrázek 20: Leptolyngbya fragilis. Nález v potoku Sedlnice. 31
Obrázek 21: Leptolyngbya fragilis. Nález v potoku Sedlnice. 31

Poděkování

Ráda bych poděkovala doc. RNDr. Petru Hašlerovi, Ph.D. za vedení, odbornou pomoc v rámci determinace a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce.

1. Úvod

Sinice jsou všudypřítomné organismy, obývající jak vodní, tak i terestrické prostředí. Úspěšně kolonizovaly téměř jakýkoli habitat na Zemi a hrají významnou roli na mnoha extrémních stanovištích. Svou přítomností mají značný vliv na životní prostředí jako primární producenti spolu se zelenými řasami nebo producenti toxických metabolitů (Komárek 2013).

Ve své diplomové práci se zabývám vlivem prostředí na distribuci sinic vláknitých druhů. Tento výzkum navazuje na výsledky získané v rámci bakalářské práce, ve které jsem se zabývala charakteristikou a determinací aerofytických sinic na štramberském vápenci, konkrétně v jeskyni Šipce. Aerofytické sinice, tedy ty druhy, které se vyskytují mimo vodní prostředí, získávají vodu pouze ve formě deště nebo mlhy. Lze je nalézt na různých horninách, ovšem na vápencích mají sinice o poznání mohutnější biomasu než na jiných podkladech (Komárek a Anagnostidis 2005). Vzorky společenstev sinic jsem v rámci své diplomové práce odebírala z různých habitatů, jako je perifyton, subaerofytická a aerofytická stanoviště. Lokalitu průzkumu představuje Štramberk a jeho blízké okolí. Vzorky jsem ze stanovišť sbírala pravidelně během roku a následně je determinovala a izolovala významné zástupce sinic v laboratoři. Sinice jsou velice odolné mikroorganismy, které umožňují nejdůležitější biochemické procesy na Zemi, proto je nezbytné pochopení a určení jejich vztahu k přirozeným podmínkám prostředí. To je charakterizováno především teplotou, vlhkostí, světelnými podmínkami a působením větru (Whitton a Potts 2000).

1.1. Historie

Sinice jsou známé velmi dlouhou evoluční historií, která je stará přibližně 3,5 miliardy let. Ovšem nejvíce dokladů, prokazující jejich abundanci na Zemi pochází z geologické éry Proterozoikum (před 2,5 miliardami – 570 milióny let). Právě z této éry máme nejvíce fosilních dokladů o jejich existenci (Whitton a Potts 2012). Vývoj sinic v brzkém Proterozoiku vedl ke vzniku atmosférického kyslíku, což umožnilo utváření vhodných podmínek pro život aerobních mikroorganismů. Dalším důležitým přínosem sinic k vývoji biosféry je také vznik rostlinných plastidů. Sinice obecně obývají téměř všechny ekosystémy na Zemi a podílejí se v základních biogeochemických cyklech uhlíku, dusíku síry, fosforu a dalších prvků v primární produkci (Shestakov a Karbysheva 2017).

Období mezi 2,5 a 0,6 miliardami let je označováno jako „věk sinic“ (Age of Cyanobacteria). Právě v tomto období sinice dominovaly na Zemi jako hlavní fototrofové a postupně a pomalu zvyšovaly koncentraci kyslíku v atmosféře. Charakteristickými útvary pro

tuto dobu jsou fosilní stromatolity. Což jsou vrstevnaté horniny ve tvaru velkých kup, které vznikly dlouhodobým růstem sinic. Tyto útvary téměř vymizely zhruba před 5 miliony let. Příčinou mohl být tlak herbivorních měkkýšů. Živé stromatolity se zachovaly například v zálivu Shark Bay v západní Austrálii (Kalina a Váňa 2005).

Schopnost sinic provádět fotosyntézu, tedy využívat vodu jako „palivo“ za vzniku kyslíku jako odpadního produktu, představuje základ pro život na Zemi. Vědci předpokládají, že hladiny kyslíku uvolněného do mořské vody sinicemi se v průběhu času postupně zvyšovaly a že během 200–300 miliónů let byl kyslík produkován rychleji, než by mohl reagovat s jinými molekulami. Kyslík uvolňovaný sinicemi se neustále hromadil nad rozsáhlými pásy oceánu a okysličoval vodu. Nahromaděný kyslík začal postupně unikat do atmosféry, kde reagoval s metanem. Výsledným produktem se stal oxid uhličitý a voda. Následně byl metan vytlačen a kyslík se stal hlavní složkou atmosféry. Tato událost je známá jako „velká kyslíková katastrofa“ a došlo k ní někdy před 2,4 - 2,1 miliardami let. Výsledkem této katastrofy byla proměna redukční atmosféry, která neobsahovala téměř žádný kyslík na atmosféru oxidační s velkým množstvím kyslíku. Tato změna způsobila zánik většiny anaerobních druhů, které se tehdy na Zemi vyskytovaly (Aiyer 2022).

1.2. Ekologie sinic

1.2.1. Diverzita a rozmístění

Sinice jsou schopny kolonizace nejrůznějších stanovišť po celém světě s velkým spektrem klimatických podmínek. Ať už se jedná o sladkou, braktickou či slanou vodu, dokáží v těchto podmínkách vytvářet vodní květy a rozmnožovat se (Humbert a Fastner 2017). Jsou schopny také přežívat nejrůznější environmentální extrémy, jako velmi nízké či velmi vysoké teploty, silně zasolené vody, a také velké hloubky vod, jako jsou například „brine pools“. Jedná se o podvodní jezírka s vysokou koncentrací soli. Ta může být až osmkrát větší než koncentrace nacházející se v oceánu, který jezírko obklopuje (Zhang a kol. 2022).

Sinice vodních biotopů

Sinice jsou velmi běžnými organismy vyskytující se ve sladkých i slaných vodách. Druhy vznášející se ve vodním sloupci jsou součástí fytoplanktonu a druhy rostoucí na sedimentech jsou součástí fytobentosu. Při vhodných podmínkách, jako je dostatek živin a slunečního záření, se mohou sinice namnožit do vysokých hustot (Bartram a kol. 1999). V takovém případě nastávají problémy s výskytem CyanoHABs (Cyanobacterial Harmful Algal Blooms),

tedy vodního květu. Každý druh má své specifické vlastnosti. V závislosti na kombinaci těchto vlastností s podmínkami prostředí má proto každý druh odlišné načasování a velikost vodního květu. Účelem většiny studií sinic ve vodním prostředí je právě pochopení vztahu daných druhů a prostředí na výskyt toxických vodních květů a jejich eliminaci, případně redukci (Rousso a Bertone 2022).

Sinice terestrických biotopů

Tyto druhy se vyskytují převážně na vlhkých stanovištích, jako je zem, skály, střechy, kůry stromů nebo jeskyně. V sušších oblastech ožívají při občasné vlhkosti. Často mívají vzhled dlouhých černých pruhů uložených ve směru stékající vody. Tento jev se běžně vyskytuje na vápencových skálách a tvoří jej druhy jako *Gloeocapsa* a *Scytonema*. Druhy nacházené v půdě jsou například *Nostoc*, *Anabaena*, *Lyngbya* a *Oscillatoria*. Jsou schopny vniknout hluboko pod povrch země a přežívat po velmi dlouhou dobu bez viditelné části záření (Fott 1967). V půdním prostředí sinice často tvoří symbiózu s jinými organismy. Běžně například s lišejníky. Symbiotický druh *Nostoc* poskytuje svým hostitelů fixovaný dusík, stejně jako je tomu ve všem rostlinných symbiózách, anebo může také přímo sloužit jako zdroj uhlíku a dusíku (Rikkinen 2017).

Sinice extrémních biotopů

Sinice lze nalézt téměř ve všech habitatech na Zemi, a to kvůli jejich speciální schopnosti adaptace. Tomuto vděčí své velmi dlouhé evoluční historii. Mezi jejich nejvýznamnější adaptační rysy patří tolerance nízkého obsahu kyslíku, schopnost využívat H_2S jako fotoreduktant místo H_2O, vysoká snášenlivost pro UV záření, tolerance vysokého obsahu soli na stanovišti nebo extrémní výkyvy ve vlhkosti.

Sinice často dominují v chladném polárním prostředí, kde nemají konkurenci jiných fotoautotrofů a snadněji snášejí stres abiotických podmínek. Lze je nalézt ve sněhu a zamrzlých jezerech, ledovcích nebo kryokonitu (Gaysina a kol. 2019). Rostou i mezi krystalky ledu na ledovém štítu Grónska a jsou primárními kolonizátory ledovcových morén. Na dně antarktických jezer tvoří sinice povlaky s tloušťkou až 90 cm. V tundře a polárních oblastech jsou hlavním zdrojem uhlíku a dusíku v letních měsících (Kalina a Váňa 2005). Studie kanadského ledovcového kryokonitu prokázaly například přítomnost sinice rodu *Chamaesiphon* (Zakhia a kol. 2017).

Dalším extrémním biotopem výskytu sinic jsou pouště. Tyto druhy tolerují vysoušení v důsledku akutního nedostatku vody. Jsou schopny akumulovat určité rozpuštěné látky, které vyrovnávají osmotický stres, který způsobuje mrznutí nebo vysoká salinita. Dále také shromažďují trehalózu, jako náhradu vody k udržení funkční integrity membrán během sucha. Sinice dominují mezi populacemi horkých pouští všude po světě, a to jak v komunitách na povrchu – epilitické, tak pod povrchem – endoitické. Dokáží ustát i letní teploty přesahující 60 °C (Wynn-Williams 2000), kdy jediným zdrojem vody jsou nepatrné horizontální srážky. Občas využívají spodní povrch průsvitných křemenů nebo skalních dutin. Byly zde nalezeny rody *Chroococcidiopsis*, *Aphanocapsa* a *Plectonema* (Kalina a Váňa 2005).

Sinice se vyznačují také schopností kolonizovat prostředí „bez života“, což může být například vulkanický popel, který postupně obrůstají. Důkazy o výskytu sinic na těchto stanovištích byly publikovány po erupci sopky Krakatau v roce 1883. Byly nalezeny druhy jako *Tolypothrix* a *Anabaena*, které na tomto stanovišti dominovaly (Gaysina a kol. 2019).

Epifytické druhy

Epifyty jsou charakterizovány tím, že žijí na ponořených částech rostlin, a to převážně na makrofytech. Nejedná se ovšem o žádnou formu parazitismu. Druh se vyživuje samostatně. Mají také možnost přichycení se na hostitelskou rostlinu dvěma způsoby. Využívají holoepifytismus, při čemž se váží pouze k vnější vrstvě buněk, anebo amfiepifytismus, kdy se druh zanoří hluboko do tkání hostitele (Ducker a Knox 1984).

Vytvoření epifytonu je zcela závislé na předchozím vývoji perifytonu, což představují populace sinic a řas na ponořených objektech vodního prostředí. Na začátku dochází k vytvoření a nárůstu organické hmoty, kterou mohou následně kolonizovat první sinice. Jsou označovány jako pionýrské druhy, a jakožto nenáročné organismy, často osidlují prostředí mezi prvními. V pozdějších stádiích mohou také následovat kolonizaci rozsivky. Působením tohoto společenstva dochází ke stabilizaci primární produkce a prostředí se vyvíjí do stavu vhodného pro osídlení zelených řas a vyšších rostlin, na které se epifytické druhy přichycují (Biggs 1996). Jedním z typických epifytických rodů sinic je *Pseudanabaena* a perifytickým hostitelem řasa *Cladophora*.

Epilitické a endolitické druhy

Epilit, také nazývaný saxikolní organismus, obývá skály, suti a jiné kamenité podloží. Tato skupina tedy zahrnuje terestricky se vyskytující sinice, které rovněž patří mezi pionýrské

druhy, protože mezi prvními kolonizují nově vzniklá stanoviště (Hauer a Pažoutová 2009). Epility se vyskytují na povrchu substrátu, kdežto endolity, jak název napovídá, pronikají dovnitř pod povrch kamene.

Perifyton na kamenitém podloží získává živiny buď z občasného zaplavení lokality, anebo díky vlastní mikrobiální regeneraci. Vzhledem k tomu, že jsou skalní povrchy většinou exponované, nenastává problém s prostupností světla. Pórovitost na hornině umožňuje vstup organismů do nitra horniny a také pronikání živin a vody z okolí (Burkholder 1996). Sinice jsou známe schopností srážet vápenec. K tomuto dochází na pochvách vláknitých sinic. Ovšem endolitické druhy působí opačně, a to tak, že vápenec perforují. Rozpouští ho a žijí tak těsně pod povrchem skal. Jsou schopny také perforovat vápenité schránky měkkýšů (Fott 1967). Na těchto stanovištích se nejvíce setkáváme s kokálními a vláknitými druhy sinic.

Sinice vápencových jeskyní

Sinice žijící v tomto prostředí představují unikátní skupinu mikroorganismů, které se adaptovaly na více či méně extrémní podmínky jejich biotopů. Hrají důležitou roli v několika aspektech životního prostředí, a to jako kolonizátoři, fixátoři dusíku či kořist pro mikrograzery. Jeskyně se vyznačují extrémními podmínkami a nabízejí také unikátní prostředí pro sinice. Kavernikolní druhy sinic nacházené na povrchu skal a kamenných stěn jsou většinou kokální s barevnými slizovými obaly a pochvami. Sinice hrají důležitou roli v druhové biodiverzitě jeskyní. Charakterizace biodiverzity jeskyní je většinou náročná, protože společenstva sinic zde mají často vysokou bohatost a obsahují četné druhy, které nebyly izolovány ani popsány pomocí tradičních kultivačních technik. Většina těchto kavernikolních druhů zde nejsou původní, ale jsou transportovány do jeskyní vodou, vzduchem, sedimenty a zvířaty.

Druhy vyskytující se v krasových jeskyních jsou také značně ovlivněny turistikou, a to v důsledku umělého osvětlení (tzv. lampenflora). Ta mění přirozený světelný gradient v jeskyních ekosystémech, což může mít značný dopad na složení společenstev sinic uvnitř jeskyní. Proto se lampenflora považuje za invazní. Turisté vstupující do vápencových jeskyní jsou zodpovědní za přenos sinic, což vede k neúmyslnému biologickému znečištění a zároveň podporuje kolonizaci dalších jeskynních mikroorganismů. V důsledku toho může změna přirozených podmínek prostředí v jeskyních také změnit společenstva sinic (Czerwik-Marcinkowska a Massalski 2018). Jedním z důležitých faktorů šíření lampenflory je lokální proudění vzduchu způsobené teplým vzduchem vznikajícím v blízkosti výkonnějších žárovek,

zejména halogenových žárovek (500-1000 W). Růst lampenflory byl dokonce pozorován ve vzdálenosti přes 10 m při použití lamp tohoto druhu (Estévez a kol. 2019), ovšem dosud bylo prokázáno, že lampenflora neroste v těsné blízkosti od žárovek kvůli vysoké teplotě. Umělé osvětlení však ovlivňuje také obsah vody v substrátu a vzduchu. Přítomnost turistů vede ke zvýšení teploty a koncentrace CO_2 uvnitř jeskyně, čímž se zintenzivňuje eroze stěny. Společenstva sinic v jeskyních se skládají převážně z kavernikolních druhů, které se obecně vyznačují malou velikostí, odolností vůči vysychání, specifickými preferencemi pH a tolerujícími nízké hladiny živin a vysokou vodivost. Jasné umělé světlo instalované v jeskyních pro zpříjemnění návštěvy turistů může nepříznivě ovlivnit vysychání povrchů a snižování relativní vlhkosti, což bývá pro jeskynní adaptované mikroorganismy smrtelné. Humidní podmínky podporují růst druhů na půdách a skalách, například kolonie rodu *Nostoc*, které obvykle rostou na vápencových půdách a skalách. Ve vápencových jeskyních se sinice vyskytují ve vodních plochách a v subaerofytických krasových biotopech. Kavernikolní sinice lze pozorovat u vchodu do jeskyně osvětleném přímým i nepřímým slunečním světlem a v jeskyních vybavených umělým osvětlením, jako součást společenstva lampenflory kolem lamp (Czerwik-Marcinkowska a Massalski 2018). Sinice jsou v mnoha drsných prostředích pionýrskými organismy, ovšem v komunitě lampenflory se jako první kolonizátoři objevují zelené řasy, a ty jsou později přerosteny sinicemi. Ze sinic se zde nejčastěji vyskytují rody *Aphanocapsa*, *Chroococcus*, *Gloeocapsa*, *Leptolyngbya* a *Phormidium*. Zelené řasy zase běžně zastupuje *Chlorella*, *Scenedesmus* a *Stichococcus* (Mulec 2019).

Vápencové jeskyně jsou zejména v posledních letech pod obrovským tlakem antropogenní činnosti. Jedním z navrhovaných postupů, jak snížit narušování biodiverzity jeskyní je omezit počet návštěvníků na základě nosné kapacity. Nosnost je definována jako maximální přijatelný počet návštěvníků za jednotku času, který může daný ekosystém unést, aniž by došlo k trvalé změně jeho nejdůležitějších environmentálních parametrů. To se provádí snížením počtu lidí nebo času, který uvnitř jeskyně stráví. Mezi další návrhy patří instalace dvoukřídlých dveří a vzduchových clon u vchodu do jeskyně s cílem chránit jeskyni před změnami mikroklimatických podmínek. Při návštěvách velmi unikátních jeskyní s vysokým stupněm ochrany se také doporučuje nosit ochranný oděv a obuv, případně i rukavice a masky, aby se zabránilo vdechování mikroorganismů přítomných ve vzduchu. Tato opatření už fungují například v jeskyních Castañar de Ibor a Altamira ve Španělsku (Estévez a kol. 2019).

Epipelické a epipsamické druhy

Tyto druhy žijí ve spojení s bahnitým nebo písčitým substrátem. Epipelické druhy mohou porůstat bahno na dně vodní nádrže, a epipsamické žijí ponořené hluboko v písku u břehu. Podmínky jsou poměrně extrémní, tudíž ne mnoho druhů je schopno se takovému životu přizpůsobit a dosud nejsou tak důkladně studovány. Běžně se vyskytují na březích podél jezer, potoků a nádrží, kde jsou pravidelně vystavovány zaplavování sedimentem. Nejčastěji se jedná o motilní druhy rozsivek, zelených řas a sinic, a také ty druhy, které jsou schopny rozrůstat se v podélné ose, což zabraňuje jejich trvalému pohřbení hluboko do substrátu. Patří zde například zelená řasa rodu *Oedogonium* a sinice rodu *Phormidium* (Burkholder 1996).

Epizoické druhy

Život těchto organismů je vázán na povrch těl živočichů. Důsledky epizoického vztahu se značně liší. Může se jednat o amenzalismus, komenzalismus či mutualismus. Tedy daný vztah buď prospívá oběma organismům, prospívá pouze jednomu, nebo prospívá jednomu, zatímco druhému škodí (Ziglar a Anderson 2011). Účinky epizoických sinic a řas na větší hostitelská zvířata, jako jsou plži a želvy, prozatím nejsou známé. Jedna z teorií je, že umožňují hostitele maskovat před možnými predátory. Ovšem u pelagického zooplanktonu bylo zjištěno, že tyto druhy sinic a řas ve skutečnosti brání zvířeti v pohybu a snižují jejich vztlak, což ztěžuje udržení polohy ve vodním sloupci, získávání potravy a vyhýbání se a únik predátorům, jako jsou planktožravé ryby (Burkholder 1996). Dle jednoho z mála průzkumů, který byl proveden v roce 2011 na Costa Rice a zabýval se identifikací a vztahem epizodických sinic a sekáčů čeledi *Sclerosomatidae*, bylo prokázáno, že tyto sekáče je velmi obtížné odchytit, právě kvůli velmi dobré kamufláži, kterou jim sinice poskytují. Z epizodických zástupců byla identifikována sinice *Oscillatoria* (Proud a kol. 2012).

1.2.2. Vodní květ

Tvorba vodního květu u sinic je ovlivněna řadou faktorů. Jeden z nejdůležitějších je intenzita světla. Hlavním pigmentem pro zachytávání světla a tvorbu fotosyntézy je u sinic, stejně jako u zelených řas, chlorofyl-*a*. Mezi další potřebné pigmenty patří fykobiliproteiny. Ty zahrnují modrý allofykocyanin, modrý fykocyanin a červený fykoerythrin. Tyto pigmenty zachycují světlo v zelené, žluté a oranžové části spektra (500-650 nm). Jiní zástupci fytoplanktonu tohle spektrum téměř nevyužívají (Mur a kol. 1999). Mezi další podstatné faktory, spolu s pH a množstvím živin, se řadí teplota prostředí. V oblastech s mírným klimatem dochází k rozkvětu většinou začátkem léta, z důvodu vysokých teplot a intenzity světla. Ovšem v tropických

oblastech, kde tyto podmínky panují po celý rok, může ke tvorbě květů dojít kdykoli a trvá následně po dobu několika týdnů (Niamien-Ebrottie a kol. 2015). Pobyt sinic u hladiny umožňují aerotopy, které se nacházejí u všech druhů vodních květů. V našich podmínkách se první náznaky květů sinic objevují koncem jara. Do té doby se sinice udržují na dně nádrže a na hladině pozorovatelné nejsou. Postupně se vynořují různě veliké obláčky vodního květu, které vítr průběžně rozptyluje po celé hladině. Když jsou sinice v plném rozvoji, vytváří hustý koberec z vodních květů u břehů. V průběhu noci se část květů ponoří do hloubky a příští den opět vyplave na hladinu (Kalina a Váňa 2005).

Sladkovodní eutrofní ekosystémy mohou v současnosti obsahovat velké množství biomasy sinic a řas. Eutrofizace je reakcí vodního tělesa na přidané živiny, jako jsou fosfáty a dusičnany. Hlavně v urbanizovaných oblastech je lidský faktor považován za hlavní příčinu zvyšující se frekvence a intenzity tvorby květu fytoplanktonu. Odtok hnojiva ze zemědělské činnosti, mytí aut a odpad z domácích zvířat vyhazovaný do kanalizace představují tři hlavní faktory působící změny, které narušují stávající ekvilibrium mezi fytoplanktonem a ostatními vodními organismy. Tyto faktory také eutrofizaci urychlují. Na hladině vzniká rohož, kterou tvoří sinice a řasy a ta následně brání pronikání slunečního záření do spodní části vody (Chu a Rienzo 2013). Eutrofizace spolu s klimatickými změnami také umožňuje sinicím množit se čím dál rychleji, což negativně ovlivňuje růst ostatních druhů na daném stanovišti (Hogfors 2014). Když teplota přesáhne 20 °C, růst a tvorba zelených řas se stabilizuje a začíná postupně klesat, čehož sinice využívají a jejich rozvoj postupně vzrůstá. Stále se zvyšující teplota následně mění přirozené vodní ekosystémy do stavu vyhovující spíše toxickým sinicím a může docházet k výrazné změně druhového složení na daném stanovišti.

Vyšší teploty například snižují viskozitu povrchové vody a zvyšují difúzi živin směrem k buněčnému povrchu, což je významný proces, pokud dochází ke konkurenci o živiny mezi druhy. A protože mnoho sinic dokáže regulovat vztlak, aby vykompenzovaly vlastní sedimentaci, snížení viskozity bude přednostně podporovat potopení většího, nepohyblivého fytoplanktonu se slabším mechanismem regulace vztlaku (např. rozsivky), což dává sinicím další výhodu. Dále izolační ohřev zvyšuje frekvenci, sílu a trvání stratifikace. Tento proces obecně snižuje dostupnost živin v povrchových vodách ve prospěch sinic, které dokáží regulovat vztlak, aby získaly živiny z hlubší vody. Typickým příkladem sinice, která splňuje výše uvedené parametry je *Anabaena* (O'Neil a kol. 2012).

1.2.3. Toxicita

Cyanotoxiny podporují chemické obranné mechanismy sinic a poskytují jim výhody v přežívání. Také odrazují možné predátory (Rastogi 2015). Tyto sinice ovšem neprodukují toxiny po celý rok. Pro identifikaci sinic produkujících toxiny je třeba specifických taxonomických a molekulárních analýz. Mezi toxické rody se řadí například *Nostoc*, *Nodularia*, *Anabaena*, *Oscillatoria* a *Microcystis*. Všechny je možno nalézt jak ve sladkých, braktických i slaných vodách. Nejběžnější toxické rody Evropy jsou *Microcystis* a *Planktothrix* (Niamien-Ebrottie a kol. 2015).

Toxiny sinic dělíme do dvou skupin. Neurotoxiny a hepatotoxiny, které způsobují smrtelné otravy a cytotoxiny, které nezpůsobují smrtelné otravy (Kalina a Váňa 2005).

V případě neurotoxinů se jedná o alkaloidy, které zabraňují přenosu signálu z neuronu do neuronu a následně z neuronu do svalu. Tyto toxiny mohou být ve velké koncentraci pro člověka dokonce smrtelné. Sinice produkují dva druhy neurotoxinů, anatoxin a saxitoxin. Při intoxikaci u člověka způsobují svalové křeče a potíže s dýcháním. Toxiny produkuje například sinice *Anabaena*, *Oscillatoria* a *Trichodesmium*. Hepatotoxiny jsou typické tím, že inhibují proteinovou fosfatázu a u živočichů mohou způsobit krvácení jater. Intoxikace se projevuje slabostí, zvracením a snížením teploty. U sinic dělíme dva typy hepatotoxinů, a to microcystin a nodularin. Microcystin je typický pro sinice *Microcistis*, *Anabaena*, *Nostoc* a *Nodularia*, ovšem nodularin produkuje jen *Nodularia* (Metcalf a Codd 2009).

Nejrozšířenější a nejstudovanější cyanotoxiny v životním prostředí jsou pravděpodobně mikrocystiny. Ve vysokém množství jsou nacházeny v biomase sinic (až 1% sušiny). Patří do skupiny monocyklických heptapeptidů a dosud bylo identifikováno více než 70 variant. Většina výzkumů související s mikrocystinem je zaměřena na toxicitu pro savce. Bylo prokázáno, že květy produkující tento toxin můžou za mnoho smrtelných otrav zvířat, jako ovcí, kuřat, prasat, koní, psů a volně žijících ptáků a ryb. Velké množství vodních organismů, například fytoplanktožravé ryby a zooplankton, je navíc přímo vystaveno mikrocystinu obsaženém v potravě a rozpuštěném ve vodě. V současnosti je tedy věnována velká pozornost zkoumání ekotoxicity microcystinů a jejich účinků na vodní biotu (Bláha 2009). U vodních živočichů dochází nejčastěji ke dvěma cestám otravy. Což je přímé požití cyanotoxinů z vody anebo konzumace živočichů, kteří sami před tím zkonzumovali toxické sinice (Chorus 1999).

Cyanotoxiny mají selektivní účinek na bakteriální, houbové a jiné buňky. Mohou působit chronické otravy a trvalé poškození organismu, ale mohou být také využity jako cytotoxická antibiotika s protinádorovými účinky. Potíže s otravou cyanotoxiny nejčastěji vznikají po vypití vody obsahující sinice nebo kontaktem při koupání (Kalina a Váňa 2005). Jsou ale i jiné cesty vedoucí k otravě toxiny. Používání vody ze zdrojů obsahujících květy sinic pro postřikové zavlažování plodin představuje potenciální zdravotní rizika prostřednictvím několika způsobů expozice, včetně přijmu do potravního řetězce. Farmáři a kolemjdoucí mohou také vdechovat toxiny v důsledku postřiku infikovanou vodou, případně může dojít i ke kontaktu kůže se sinicemi (Chorus 1999).

Při odstraňování toxických sinic z vody je nutné znát vzorce růstu a druhy sinic, které květ tvoří, a zda jsou produkované cyanotoxiny extracelulární nebo intracelulární. Jsou doporučovány tři hlavní formy managementu vedoucích k omezení expozice cyanotoxinů. Jedním je chlorace, která má schopnost vodu dezinfikovat a bylo také potvrzeno, že manganistan draselný účinně odstraňuje buňky microcystis bez uvolňování toxinu. Při odstraňování intracelulárních cyanotoxinů se osvědčily také standardní procesy úpravy pitné vody, jako je koagulace, flokulace, sedimentace a filtrace. Také mikrofiltrace a ultrafiltrace jsou vysoce účinně pro odstranění neporušených buněk sinic. Když dojde ke tvorbě květu a buňky projdou filtry, proplachování by mělo být prováděno častěji, aby se snížilo riziko uvolnění toxinů do vody (Niamien-Ebrottie a kol. 2015).

1.2.4. Symbióza

Sinice tvoří velkou skupinu mikroorganismů, z nichž pouze několik rodů má symbiotickou schopnost. Aby byly sinice v symbióze kompetentní, musí se vyznačovat vysokou adaptibilitou. Je nutné přizpůsobit se podmínkám nabízeným hostitelem a změnit svůj metabolismus do stavu, kdy je možné si s hostitelem vyměňovat metabolity. Měly by se také vyskytovat v bezprostřední blízkosti potenciálního hostitele (Rasmussen a Nilsson 2002). Sinice často k životu využívají symbiózy s vyššími rostlinami a lišejníky, protože jsou jedni z nejvýznamnějších primárních producentů aqatických stanovišť (Janson 2002). Nejvíce hojné jsou v oligotrofních vodách, kde fixace nebo rozložení organického uhlíku významně prospívá hostiteli. I když někdy se hojně vyskytují i v oblastech bohatých na živiny. V mořích se jedná o symbiózy hlavně s houbami, sumkami, s červi *Echiuroidea* a rozsivkami (Carpenter a Foster 2002).

Symbiotická interakce může představovat výhodu pro pouze jeden ze zúčastněných organismů (komensalizmus, parazitismus), nebo pro oba (mutualismus). Předností sinic je schopnost provádět fixaci vzdušného dusíku, čímž vytvářejí enzym fixace nitrogenázu, na čemž závisí celková interakce. Jejich produkty umožňují hostitelům snadněji kolonizovat stanoviště chudé na dusík. Cyanobakteriální symbionti (cyanobionti) jsou aktivními producenty sekundárních metabolitů a toxinů se schopností syntézy velkého množství bioaktivních molekul, jako jsou fotoprotektivní a antigrasincké sloučeniny (Mutalipassi a kol. 2021).

Jak již bylo zmíněno, sinice představují symbiotickou složku lišejníků. Jedná se o soužití mezi houbou a fotosyntetickým symbiontem, který má formu stabilní stélky se specifickou strukturou. Z 15-20 tisíc lišejníků pouze 8-15 % obsahuje sinici jako fotobionta. Podle průzkumů se jedná hlavně o rody *Nostoc*, *Scytonema*, *Calothrix* a *Fischerella* (Kalina a Váňa 2005). *Nostoc* je definitivně nejdominantnější rodem v suchozemských symbiotických systémech. Tvoří symbiózy s houbami, mechorosty, *Azollou*, cykasy a *Gunnerou* (Rasmussen a Nilsson 2002).

Z hlediska symbiózy je také důležité zmínit primární endosymbiotickou událost, kterou se rozumí časově náročný proces postupné inkorporace buňky sinice dovnitř eukaryotní buňky, nejspíše heterotrofního prvoka. Sinice nebyla strávena, ale naopak produkty jejího metabolismu byly využívány prvokem a ten na oplátku sinici poskytl stabilní prostředí. Takto vznikl chloroplast řas a rostlin (Poulíčková a kol. 2015). Organela byla následně vertikálně přenášena do dalších generací. S touto teorií poprvé přišel ruský biolog Konstantin Mereschkowski v roce 1905 (Chan a Bhattacharya 2010).

1.2.5. Konkurence

Konkurence jako prostředek, který určuje rozložení populace a taxonomické složení ekologických společenstvech je jedním z nejvíce studovaných a diskutovaných témat v ekologii. Ke konkurenci může dojít v případě, kdy se organismy spoléhají na stejný spotřební zdroj a tento zdroj je přítomen v omezeném množství. Za takových podmínek spotřeba zdroje jedním jednotlivcem účinně snižuje výkon ostatních. Může se jednat o přežívání či reprodukční schopnost. Když mezi druhy nastane konkurence, výsledkem často bývá snížení hustoty a případně i lokální vyhynutí jedné nebo více populací.

Dosavadní studie naznačují, že negativní mezidruhové interakce, jako je konkurence, jsou podstatným determinantem složení druhů ve společenstvech bentických řas. Jako skupina

mají řasy a sinice výjimečné schopnosti šíření. Na základě toho, by mělo existovat obrovské množství druhů vhodných pro kolonizaci většiny stanovišť. To také podporuje široká environmentální tolerance, kterou sinice a řasy vykazují. Ovšem ve skutečnosti na většině stanovišť dominuje relativně málo druhů k potenciálně velkému množství kolonistů. Tento fakt naznačuje, že hlavním faktorem určujícím druhové složení skladby sinicových a řasových kolonií jsou biotické interakce. Bentické sinice a řasy obvykle vytvářejí husté rohožovité porosty. Zdroje jsou v takových podmínkách většinou omezené, v důsledku výrazného snížení pronikání světla a živin, jak se rohož vyvíjí. Také dochází ke snížení fotosyntetické aktivity specifické pro biomasu. Snížená dostupnost zdrojů spolu s rozsáhlým překrýváním požadavků na výživu mezi druhy podporuje rozvoj intenzivní konkurence o zdroje (McCormick 1996).

Faktem, často uváděným ve většině literatury je, že sinice jsou lepšími konkurenty při nízké koncentraci CO_2 a vysokém pH ve srovnání se zelenými řasami. Důvodem je účinnější mechanismus koncentrace CO_2. Také schopnost sinic tolerovat větší rozmezí environmentálních podmínek než zelené řasy, podporuje tuto teorii. Problémem je, že dosud nebylo provedeno dostatek testů zabývajících se konkurenceschopností bentických organismů, takže téma konkurence sinic a zelených řas není dostatečně prozkoumáno, aby bylo možno mluvit jinak než teoreticky (Ji a kol. 2017).

2. Cíle práce

Předmětem diplomové práce je studium vláknitých druhů sinic na vybraných habitatech v oblasti města Štramberk. Výzkum zahrnuje kultivaci a izolaci jednotlivých kmenových kultur a determinaci vláknitých zástupců. Do práce je také začleněna rešerše z ekologie sinic.

- Studium druhové bohatosti vláknitých sinic na vybraných habitatech.
- Kultivace a izolace jednotlivých kmenových kultur.
- Determinace druhů sinic ve vzorcích.
- Příprava rešerše z ekologie sinic a taxonomické poznámky se zaměřením na zástupce vláknitých druhů sinic.

3. Materiál a metody

3.1. Popis lokality

Systém: Alpsko-himalájský

Subsystém: Karpaty

Provincie: Západní Karpaty

Soustava: Vnější Západní Karpaty

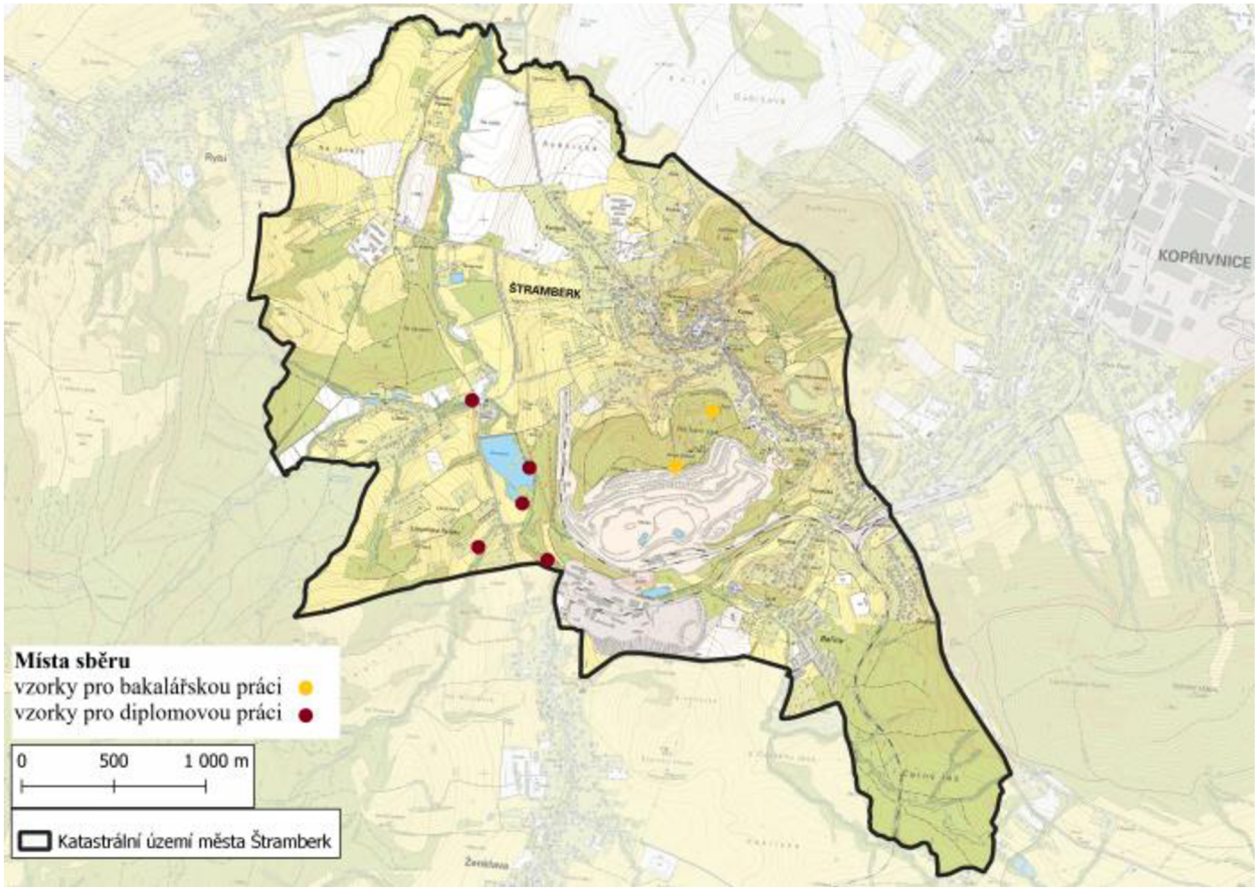
Podsoustava: Západobeskydské podhůří

Celek: Podbeskydská pahorkatina

Podcelek: Štramberská vrchovina

Štramberská vrchovina je členitá s celkovou rozlohou 148 km^2, se střední výškou 444,3 m n. m. a středním sklonem svahů 9°40‘. Nacházejí se zde horniny s velkými rozdíly v odolnosti. Povrch je tvořen erozně denudačním reliéfem s výrazným vyvýšením příkrovních trosek, úpatních pahorkatin a sníženin. Vzácnějším rysem v krajině jsou také větší zbytky terciérních zarovnaných povrchů, průlomových údolí a periglaciálních útvarů (Demek 1987). V okolí Štramberka vystupuje několik tektonických útržků tvořených štramberskými vápenci a zbytky spodnokřídových hornin. Jsou sdruženy do tří hlavních morfologických celků: Zámecký vrch, Skalky a Kotouč. Každý z nich je odkryt jedním nebo více lomy. Tělesa štramberských vápenců, které představují tektonické megaútržky (bradla), jsou vhnětené do uloženin slezské jednotky. Olivetské a kopřivnické vápence a jílovité polohy tvoří jejich spodnokřídový obal (Vašíček a Skupien 2004).

Ve střední části Štramberské vrchoviny se nacházejí Šostýnské vrchy, které jsou představeny skupinou velkých, širokými sedly oddělených příkrovových desek z odolných hornin. Zde jsou významnými vrcholy Bílá hora, Červený kámen, Kotouč, Na peklech a Štramberčík. Střední část Štramberské vrchoviny dále reprezentuje Ženklavská kotlina, kterou tvoří flyšové jílovce a pískovce ždánicko-podslezského a slezského příkrovu. Jedná se o erozně denudační sníženinu na méně odolných horninách, na území obce Ženklava, v pramenném úseku potoku Sedlnice, jehož hladina se nachází 315-320 m n. m. Nad protékajícím potokem se rozprostírá vrchol lomu Kotouč, který je do dnešní doby velmi poznamenán těžbou vápence (Buzek 1969).



Obrázek 1: Mapa zájmové lokality (povodňový plán města Štramberk).

3.2. Sběr vzorků v terénu

Vzorky byly odebírány mezi lety 2019–2022 převážně v letním období. S odběrem jsem začínala koncem dubna a nejpozdější odběr následoval v říjnu. Nejčastěji jsem navštěvovala terén mezi měsíci červen–srpen. Hlavní lokalitou sběru byla vodní nádrž (přehrada), nacházející se pod vápencovým lomem Kotouč, také potok Sedlnice, který nejprve protéká obcí Ženklava, poté Štramberkem a následně napájí vodní nádrž a potok Libotínka, který kdysi sloužil k napájení koupaliště. Předmětem sběru byly také vodní rostliny, kůry stromů a kameny, nacházející se poblíž přehrady.

K odběru vzorků byly použity uzavíratelné zkumavky, kterými jsem odebírala vzorky z vodních biotopů. Také skalpel, kterým byly seškrabávány povlaky sinic z kůr stromů a hornin. Tyto vzorky byly uloženy do malých plastových uzavíratelných pytlíků. Všechen materiál byl označen datem a místem sběru.

Obrázek 2: Přehrada Štramberk.

Obrázek 3: Přehrada Štramberk.

Obrázek 4: Přehrada Štramberk.

Obrázek 5: Potok Sedlnice.

Tabulka 1: Souřadnice míst sběru vzorků

Odběry pro diplomovou práci	
Místo sběru	**Souřadnice**
Potok Libotínka	49° 35' 13,4" s.š. 18° 06' 04,1" v.d.
Vodní nádrž	49° 35' 02,2" s.š. 18° 06' 19,5" v.d.
Vodní nádrž	49° 34' 55,7" s.š. 18° 06' 18,2" v.d.
Potok Sedlnice	49° 34' 46,6" s.š. 18° 06' 25,9" v.d.
Potok Sedlnice	49° 34' 47,1" s.š. 18° 06' 07,9" v.d.
Odběry pro bakalářskou práci	
Místo sběru	**Souřadnice**
Jeskyně Šipka	49° 35' 15,0" s.š. 18° 07' 09,1" v.d.
Vrchol vápencového lomu Kotouč	49° 35' 04,6" s.š. 18° 07' 03,1" v.d.

3.3. Práce v laboratoři

Materiál odebrán v terénu není možné uchovávat v přirozeném stavu dlouhodobě. Proto je nutná následná kultivace vzorků. Ta probíhala v algologické laboratoři katedry botaniky Univerzity Palackého v Olomouci.

Odebrané vzorky jsem jako první zkontrolovala v mikroskopu pod zvětšením 100x. V případě výskytu sinic v daném vzorku následovala kultivace, kterou jsem prováděla ve sterilním prostředí flowboxu laboratoře. Před každou prací ve flowboxu jsem si také pořádně vydezinfikovala ruce. Materiál byl kultivován na tekutém médiu „Z“ (Staub 1961) a následně na médiu „Z“ s 1,5 % agarem. Médium jsem připravila ze zásobního roztoku. Do tuhého typu média jsem nakonec přidala i agar. Přesné složení a dávkování je uvedeno v následující tabulce. Vytvořené médium je ještě nutné sterilizovat v autoklávu po dobu 90 minut. Proces sterilizace probíhá při teplotě 121 °C a tlaku 150 kPa.

Tabulka 2: Složení a dávkování média

Látka	**Množství**
$NaNO_3$	46,7 g / 1000 ml
$Ca(NO_3)_2 . 4H_2O$	5,9 g / 1000 ml
K_2HPO_4	3,1 g / 1000 ml
$MgSO_4 . 7H_2O$	2,5 g / 1000 ml
Na_2CO_3	2,1 g / 1000 ml
Fe EDTA	0,2 ml / 1000 ml
Roztok mikroprvků (Gaffron)	0,08 ml / 1000 ml

První kultivace probíhala na tekutém médiu, které jsem rozlévala do uzavíratelných epruvet. Do každé jsem přidala malé množství vzorku odebraného v terénu. Všechny vzorky byly uloženy v chladícím boxu se stálou teplotou 16 °C. Sinice rostou poměrně pomalu. Po několika týdnech jsem vzorky zkontrolovala a začala s identifikací sinic a očkováním. K tomu jsem už používala tuhé médium „Z“, které jsem si přichystala do Petriho misek. Při přeočkování jsem nanášela kultury sinic mikrobiologickou kličkou na ztuhlé médium. Všechnu práci jsem prováděla ve flowboxu a mikrobiologické kličky byly před každým použitím sterilizovány nad kahanem. Na konci jsem každou Petriho misku oblepila parafilmem, což zabránilo tomu, aby vzorky předčasně vyschnuly. Materiál jsem poté opět uložila do chladicího boxu. Přeočkování bylo provedeno několikrát s tím cílem, aby byly kultury ve vzorku co nejčistší. Tedy co nejlépe eliminovat výskyt řas a jiných mikroorganismů. Tohle usnadňuje následnou determinaci sinic a také pořizování fotografií.

4. Výsledky

Určování sinic jsem provedla na základě literatury citované v seznamu použitých zdrojů a s pomocí vedoucího diplomové práce.

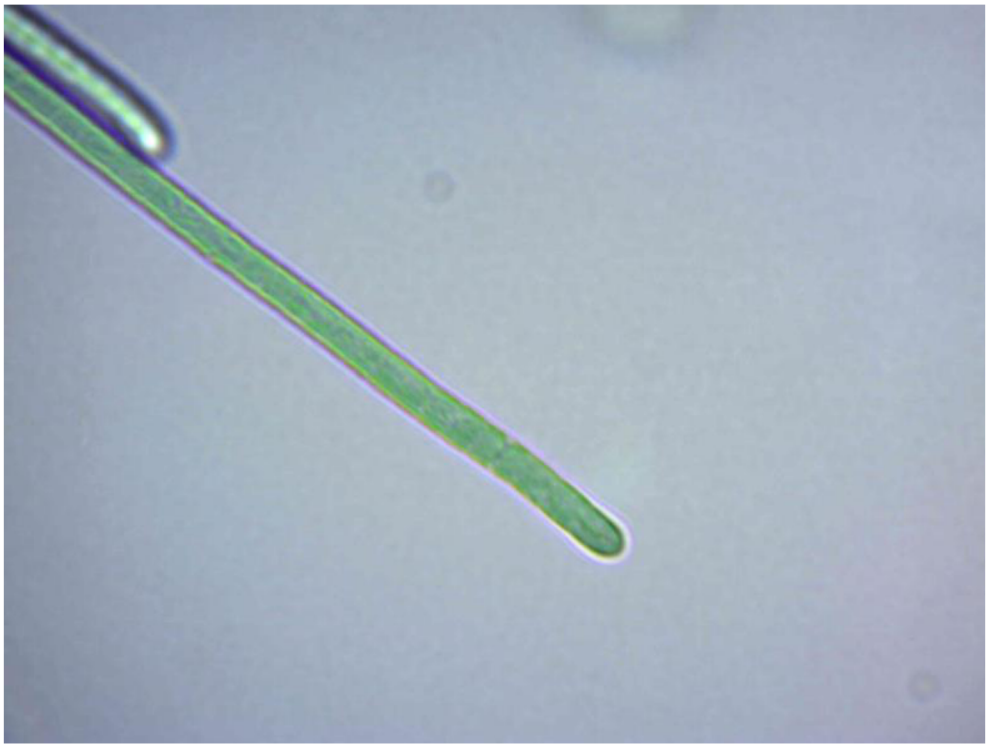
Zkoumané habitaty města Štramberk představovaly potok Sedlnice a Libotínka, přehrada v blízkosti vápencového lomu, půda a kůra stromů. Celkem jsem identifikovala 11 zástupců vláknitých sinic. Ve Štramberské přehradě se nacházeli 4 zástupci, a to sinice *Kamptonema animale*, *Microcoleus autumnalis*, *Calothrix* sp. a *Romeria leopoliensis*. Ze vzorků z potoku Libotínka jsem určila dva zástupce, *Calothrix* sp. a *Kamptonema animale*. Potok Sedlnice byl druhově bohatější s celkem šesti zástupci, *Pseudanabaena galeata*, *Mantellum commune*, *Calothrix* sp., *Kamptonema animale, Leptolyngbya boryana* a *Leptolyngbya fragilis*. Ze vzorků odebraných z půdy jsem určila čtyři sinice, *Microcoleus autumnalis, Kamptonema animale*, *Trichocoleus* sp. a *Anagnostidinema carotinosum*. Posledním habitatem byla kůra stromu, ze které byli identifikováni dva zástupci, *Nodosilinea* sp. a *Anagnostidinema carotinosum*. Druh s největší variabilitou výskytu v rámci mého výzkumu představuje sinice *Kamptonema animale*, jejíž výskyt jsem potvrdila v přehradě, potocích Libotínka a Sedlnice a také z půdy.

4.1. Zástupci vláknitých sinic

Kamptonema animale (C.Agardh ex Gomont) Strunecký, Komárek & J.Šmarda

Vlákna jsou jednotlivá bez pochev nebo s velmi jemnými rozplývavými pochvami, někdy s několika trichomy spojenými paralelně bez společných pevných pochev. Svazky nejsou obaleny slizem. Trichomy jednoduché, po celé délce válcovité, jednořadé, světle modrozelené, na příčných stěnách mírně zúžené nebo volné, pohyblivé, 3–5 µm široké. Buňky izodiametrické nebo o něco delší či kratší než široké. Koncové buňky zaoblené, ohnuté a hákovité bez kalyptry. 2–3 koncové buňky obvykle ohnuté nebo složené od podélné osy, se zřetelným pohybem. Všechny buňky jsou schopné dělení (bez meristematických zón). Buněčný obsah je heterogenní. Uspořádání thylakoidů v buňkách je parietální nebo semiparietální s kruhovým vzorem obsahujícím svazky thylakoidů, procházející vnitřkem buněk. V buňkách jsou přítomny solitární granule polyfosfátu a kyanofycinu.

Obrázek 6: *Kamptonema animale*. Nález v potoku Sedlnice.

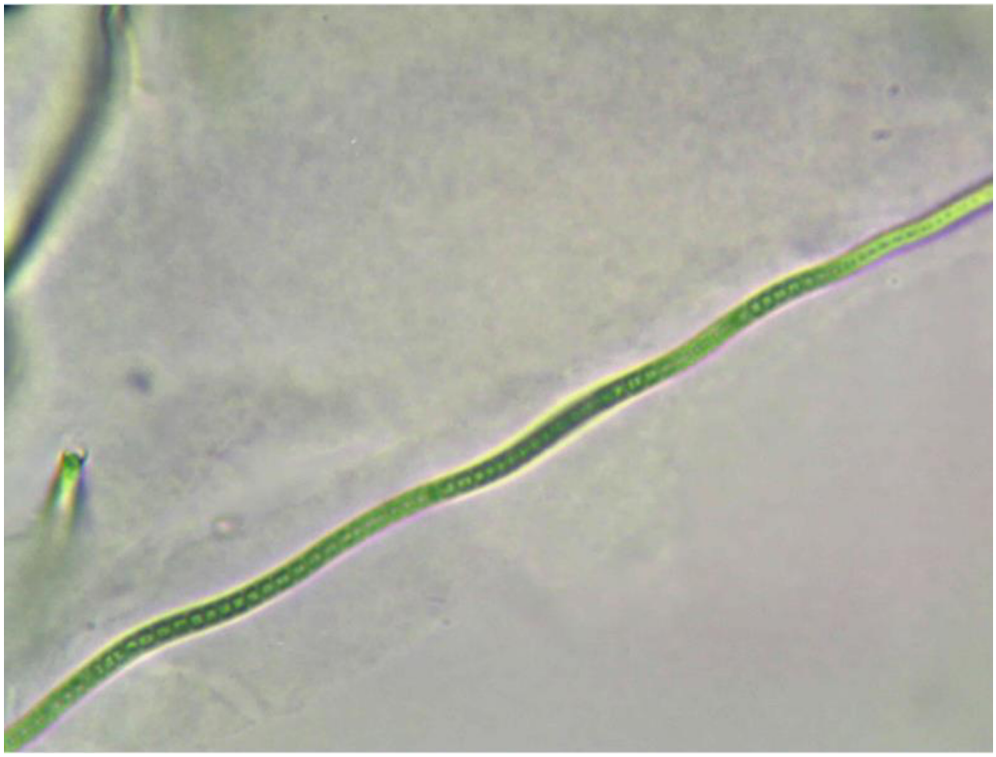


Obrázek 7: *Kamptonema animale*. Nález v půdě.

Nodosilinea sp. R.B.Perkerson & D.A.Casamatta

Vlákna jsou modrozelená a dlouhá, mohou být složená až z více než 350 buněk. Většinou rovná nebo mírně zakřivená, jednořadá, bez nepravého větvení, 1,1 – 1,3 µm široká. Při nízké intenzitě světla vypadají zakřivené a tvoří spirály. Pochvy jsou průsvitné, tenké a občas přesahují konce trichomů. Buňky postrádají aerotopy, jsou buď soudkovité (0,9 µm široké x 1,2 µm dlouhé), občas diskovité (1,2 µm široké x 0,6 µm dlouhé) nebo izodiametrické (0,9 µm – 1,2 µm v průměru). Apikální buňky jsou kulovitého tvaru, někdy protáhlé, bez kalyptry. Reprodukce pohyblivou hormogonií. Často se plazí po substrátech a tvoří modrozelené skvrny.

Obrázek 8: *Nodosilinea* sp. Nález na kůře stromu.



Obrázek 9: *Nodosilinea* sp. Nález na kůře stromu.

Pseudanabaena galeata Böcher

Vlákna jednotlivá, obvykle tvoří jemné expandované kolonie (rohože). Často připomínají polokulovité nebo bublinkovité útvary (1-2 cm v průměru). Barva je modrozelená nebo smaragdově zelená až olivově zelená. Trichomy rovné nebo různě zakřivené a spletené, někdy paralelně uspořádané, méně často šroubovitě nebo prstencovitě kroužené, 0,8-2,4 µm široké. Buňky válcovité se zaoblenými konci, spojené příčnými stěnami („hyalinní můstky“), obvykle 2–4 x delší než širší, zřídka kratší. Apikální buňky ploché, vzácně mírně kuželovité s charakteristickými nebo kopulovitými většími aerotopy, které připomínají eliptické zdvojené granule. Pohybují se směrem vpřed bez rotace. Rozmnožování jednobuněčnou až mnohobuněčnou hormogonií.

Obrázek 10: *Pseudanabaena galeata*. Nález v potoku Sedlnice.

Obrázek 11: *Pseudanabaena galeata*. Nález v potoku Sedlnice.

Calothrix sp. C.Agardh ex Bornet & Flahault

Vlákna heteropolární, rozlišená na bazální (obvykle spojená se substrátem) a apikální, jednoduchá, osamocená nebo v malých skupinách, oddělená od sebe. Vzácně s jednoduchými, postranními falešnými větvemi, orientovaná víceméně ve směru původního růstu. Vlákna se někdy plazí po substrátu. Trichomy s bazálními, kulovitými nebo hemisférickými heterocyty. Trichomy mají někdy rozšířenou bazální část, na příčných stěnách zúžené, zakončené vlasovou apikální částí složenou z úzkých, dlouhých hyalinních buněk. Pochvy jsou vždy přítomny, obvykle pevné, žlutohnědě zbarvené, na koncích nálevkovitě rozšířené, buňky válcové nebo soudkovité, často s jasně zúženými příčnými stěnami, 12,5-15 µm v průměru. Buňky ve střední části trichomu širší než delší, 5,5-7,5 µm v průměru. Aerotopy ve vegetativních buňkách chybí. Akinety zřídka v bazálních částech. Dělení buněk kolmo k dlouhé ose trichomů. Rozmnožování pohyblivými hormogoniemi, které se oddělují od trichomu. Patří zde pouze perifytické druhy, rostoucí na vodních rostlinách, jiných řasách, na kamenech a dřevěných substrátech v různých vodních biotopech, zejména v neznečištěném prostředí.

Obrázek 12: *Calothrix* sp. Nález v přehradě.

Obrázek 13: *Calothrix* sp. Nález v potoku Libotínka.

Anagnostidinema carotinosum (Geitler) Strunecký et al.

Zelené až modrozelené, slizovité, amorfní vlákna. Chybí pochvy. Trichomy jsou tenké, obvykle rovné nebo mírně ohnuté, rozptýlené rovnoměrně bez tvorby rohoží. Válcovitý tvar trichomů. Jsou pohyblivé s intenzivním klouzáním ve směru podélné osy, 1-3 µm široké. Buňky obvykle 2-4 delší než široké, 4-8 µm dlouhé, někdy s viditelným periferním chromatoplazmem a s patrnými karotenoidními granulemi. Bez aerotopů. Po dělení dorůstají do velikosti mateřských buněk před dalším buněčným dělením. Apikální buňky ve vyvinutých trichomech ohnuté, zúžené a špičaté či zaoblené. Thylakoidy parietální, s trojúhelníkovou nebo kosočtvercovou organizací v příčném řezu. Reprodukce dezintegrací trichomů v hormogonii bez nekritických buněk.

Obrázek 14: *Anagnostidinema carotinosum*. Nález v půdě.

Obrázek 15: *Anagnostidinema carotinosum*. Nález na kůře stromu.

Microcoleus autumnalis (Gomont) Strunecky, Komárek & J.R.Johansen

Vlákna jednotlivá nebo spojená v jemných tenkých vrstvách. Vlákna jsou složená z želatinového, jemného, obvykle bezbarvého a difluentního, homogenního obalu, ve kterém jsou hustě uloženy trichomy, uspořádané paralelně a někdy nepravidelně šroubovitě svinuté dohromady. Vlákna obvykle jednoduchá, vzácně jednoduše větvená (pouze pochvy). Trichomy válcovité, s rovnými, obvykle zúženými konci. Buňky většinou izodiametrické, zřídka kratší nebo delší (až 3x) než široké. Koncové buňky obvykle kuželovité, vzácně s kalyptrou. Buněčné dělení příčné, dceřiné buňky dorůstají do původní velikosti před dalším dělením. Reprodukce pohyblivými fragmenty trichomů nebo hormogonií.

Obrázek 16: *Microcoleus autumnalis*. Nález v půdě.

Obrázek 17: *Microcoleus autumnalis*. Nález v přehradě.

Leptolyngbya boryana (Gomont) Anagnostidis & Komárek

Vlákna zakřivená, často hustě zapletená, někdy pseudovětvená, 2,6 – 3,5 µm široká. Pseudovlákna tenčí než hlavní vlákna. Pochvy tenké, bezbarvé. Trichomy světle modrozelené až téměř bezbarvé, 1,3 – 2 µm široké, silně sevřené na negranulovaných příčných stěnách. Buňky izodiametrické či kratší nebo delší než široké v hlavních vláknech. Poněkud delší než široké v pseudovětvích. Apikální buňky zaoblené. Sladkovodní druh popsán ze stojatých vod v téměř celé Evropě a ze střední Asie.

Obrázek 18: *Leptolyngbya boryana*. Nález v potoku Sedlnice.

Obrázek 19: *Leptolyngbya boryana*. Nález v potoku Sedlnice.

Obrázek 20: *Leptolyngbya fragilis*. Nález v potoku Sedlnice.

Obrázek 21: *Leptolyngbya fragilis*. Nález v potoku Sedlnice.

Mantellum commune Hindák

Sladkovodní druh merismopediodního rodu *Mantellum* Dangeard. Tvoří malé nepravidelné jednovrstevné kolonie. Buňky osamocené nebo v plochých skupinkách. Uspořádané v jedné řadě, obvykle víceméně kulovité nebo mírně oválné. Bez slizu. Obvykle se váže na jiné vláknité řasy a další substráty v litorálu jezer a tůní. Dělení buněk pravděpodobně ve dvou rovinách kolmých na sebe a na substrát. Buňky dorůstají víceméně do původní velikosti před dalším dělením.

Romeria leopoliensis (Raciborski) Koczwara

Vlákna jsou jednotlivé, krátké, nepravidelně klenuté, obklopené jemnou bezbarvou vrstvou difúzního slizu, mírně zúžené na příčných stěnách, obvykle nepravidelně zvlněné nebo stočené, vzácně téměř rovné. Pochvy chybí. Buňky jsou válcovitého tvaru, vždy delší než širší, veliké 3–6 x 0,8–1,2 µm. Postrádají aerotopy. Barva je světle modrozelená. Reprodukce fragmentací trichomů.

Trichocoleus sp. Anagnostidis

Vlákna jednotlivá, převážně metafytická nebo subaerofytická. Vzácně agregovaná v plochých koloniích. Pochvy více či méně válcovité, vzácně se zužují ke špičkám, nejsou pruhované nebo jen velmi tence pruhované, bezbarvé, můžou být slizovité. Trichomy 0,5-3 µm široké. Buňky vždy delší než široké, válcovité, s více či méně homogenním obsahem. Apikální buňka kuželovitá, špičatá nebo zaoblená, bez kalyptry. Thylakoidy parietální, jednoduché binární štěpení a žádné specializované buňky. Odlišuje se od podobných druhů přítomností více trichomů ve společné pochvě. Druh byl nedávno oddělen od druhu *Microcoleus*.

5. Diskuze

Zkoumanou lokalitu v rámci mého výzkumu vláknitých sinic představuje město Štramberk, nacházející se v Novojičínském okrese. Tato práce navazuje na bakalářskou práci, ve které byly předmětem zkoumání pouze druhy aerofytických sinic, vyskytující se na vápencových podkladech jeskyně Šipka. Lokalita výzkumu byla následně rozšířena o habitaty typu potok, přehrada, půda a kůry stromů ve zmíněném městě.

Do současnosti je známo, že sinice preferují vápencové podklady více než jakékoli jiné horniny. Vápence sinicím vyhovují hlavně z důvodu vysokého obsahu živin, které jsou nezbytné pro metabolickou aktivitu těchto organismů, jak uvádí Pentecost a Whitton (2000), jedná se hlavně o fosfáty. Ve srovnání s předešlým výzkumem v jeskyni Šipce, nacházející se na vrcholu vápencového lomu Kotouč, byly identifikováni dva zástupci vláknitých druhů sinic a jeden druh s kokální stélkou, jejichž výskyt byl prokázán mimo jeskyni i v jiném prostředí. Sinice *Nodosilinea*, je typickým příkladem taxonu s možností výskytu na velmi rozdílných habitatech. Její přítomnost byla prokázána v jeskyni Šipce, a také v mnoha dalších jeskyních na světě. Například Sciuto a kol. (2017) potvrdili její výskyt v Italské jeskyni Grotta Gigante spolu se sinicí *Leptolyngbya*. Tyto rody sinic se vyznačují velkou morfologickou podobností, s výjimkou tvorby uzlů při špatných světelných podmínkách. Podle práce Cai a kol. (2022), jejichž předmětem výzkumu byla sinice *Nodosilinea* přítomna ve sladkovodním rybníku v Číně, se jedná o rod s obrovskou variabilitou druhů na různých habitatech. Popisují její přítomnost v mořském prostředí, v bentosu sladkovodních stojatých vod, stejně tak i epilitické zástupce na podloží skal a půdní druhy. Tato sinice se v rámci mého výzkumu nacházela ve vzorcích odebraných z kůry stromu v blízkosti přehrady, stejně tak i na jeskyni. Sinice *Leptolyngbya* se mimo vzorky z jeskyně Šipky nacházela v bentosu potoku Sedlnice, který zmiňovanou přehradu napájí a v potoku Libotínka. V rámci mého výzkumu byly identifikovány dva druhy tohoto rodu, a to *Leptolyngbya fragilis* a *Leptolyngbya boryana*. Tyto druhy sinice *Leptolyngbya* jsou velmi běžné pro sladkovodní pomalu tekoucí vody po skoro celém světě, což dokazuje řada výzkumů. Například Sushanta a Raju (2007) identifikovali 5 druhů této sinice v potocích lesní rezervace Kakoijana v Indii.

Většina zástupců, které jsem v rámci výzkumu kultivovala a identifikovala patří k běžně se vyskytujícím druhům v České republice. Na základě dosavadních výzkumů typické sinice dominující fytoplanktonu ze začátku léta jsou taxony tvořící na hladině vodní květ. Běžným taxonem je *Pseudanabaena*, která se rovněž nacházela ve vzorcích odebraných z potoků a přehrady. Současná data naznačují, že tito zástupci sinic se častěji vyskytují

v teplejších a pomalu tekoucích vodách už zpočátku léta, čímž je umožněn jejich pomalejší růst a následné dosažení větší velikosti populace (Ivanova 2022).

Typický perifytický zástupce, je sinice rodu *Calothrix*. Běžně roste na vodních rostlinách, řasách, kamenech a dřevěných podkladech na různých vodních stanovištích, stejně tak kolonizuje i půdní substrát. Přítomnost tohoto rodu byla ve vzorcích odebraných z přehrady, potoku a také půdy poblíž vodní nádrže. Výzkum sladkovodních sinic v řekách ve Spojených státech dokazuje (Rinkel a Manoylov 2014), že tento zástupce se hojně nachází ve vodách bohatých na vápník. Mé vzorky byly odebírány z nádrže nacházející se v bezprostřední blízkosti vápencového lomu Kotouč a rod *Calothrix* byl jeden z nejhojnějších ve vzorcích.

Dalším zkoumaným zástupcem je sinice rodu *Kamptonema*, příbuzná sinici *Microcoleus*. Přítomnost obou taxonů byla potvrzena ve vzorcích, přičemž *Kamtonema* měla nejhojnější výskyt, a to jak v habitatu půdy, přehrady a potoku Sedlnice a Libotínka. *Microcoleus* se vyskytoval ve vzorcích odebraných z přehrady a půdy. Jedná se o typické zástupce sladkovodních biotopů vyskytujících se po celém světě a hrají podstatnou roli v produkci biomasy vodních ekosystémů. Hojné nálezy potvrzují výskyt hlavně v periodických kalužích a tůních. Rod *Kamptonema* byl správně zařazen a popsán v práci Struneckého a Komárka (2014), kdy na základě molekulárních, cytomorfologických a ekologických analýz tento rod odlišili od rodu *Phormidium*.

Sinice *Romeria* byla ještě do roku 2000 považována za velmi jednoduchou vláknitou sinici, která se ovšem jen zřídka vyskytuje ve sladkovodních nádržích. Komárek (2001) ve své práci identifikoval 19 druhů. Na základě jeho tehdejší publikace je do současnosti tato sinice identifikována na mnoha částech světa, zejména ve střední Evropě, Aljašce, Jižní Americe, Africe i Asii. Sinice se běžně vyskytuje ve vodách silně znečištěných či bohatých na živiny spolu s toxickou *Microcystis*, ovšem na rozdíl od ní, květy *Romeria* nejsou toxické. Na základě australské studie Praptiwi a kol. (2016), která se zaobírala květy tvořené sinicí *Romeria* v Jihoaustralské čistírně odpadních vod, vyplývá, že sinici vyhovuje jak teplejší, tak chladnější podnebí. Ovšem dominuje více na konci letních měsíců v důsledku absence konkurence ostatních sinic včetně *Microcystis*, které pro tvorbu květu vyžadují vyšší teploty. S tímto tvrzením korelují i mé výsledky, protože sinici *Romeria* jsem identifikovala pouze ve vzorku odebraném z přehrady začátkem podzimu.

Druh *Geitlerinema carotinosum*, která už v současnosti nese název *Anagnostidinema carotinosum* byl ve vzorcích identifikován pouze z habitatů půdy a kůry stromu v blízkosti přehrady. Dle dosavadních studií je tato sinice typická spíše pro mělké stojaté sladkovodní ekosystémy a vlhké kamenité podloží (Strunecký a kol. 2017). Ovšem studie Zaki a kol. (2020) potvrzuje výskyt rodu *Anagnostidinema* i v tak extrémních podmínkách jako je Rossův ostrov v Antarktidě.

Druhové složení sinic na lokalitách města Štramberk je významně ovlivněno jeho geologickou stavbou. Do dnešního dne bylo provedeno mnoho výzkumů popisují vazbu sinic k vápencovým podkladům a je známo, že díky vysokému obsahu živin jsou tyto horniny pro sinice nejvhodnější. Schopnost kolonizace nejrůznějších habitatů je také potvrzena, mimo mnoho jiných výzkumů, v mé práci. Sinice jsou velmi adaptibilní i v rámci druhů. Tedy specificky daná sinice nemusí být vázána jen na jeden konkrétní habitat. Například u rodu *Kamptonema* jsem prokázala výskyt jak v přehradě a potoku, tak i v půdě. Rod *Nodosilinea* se při průzkumu jeskyně Šipka vyskytoval na vlhkých skalnatých podkladech, které nejsou vždy vystaveny přímému slunečnímu záření, ale také byl prokázán výskyt na kůře stromu v blízkosti přehrady.

6. Závěr

Mezi lety 2019–2022 jsem provedla mnoho odběrů na zmiňovaných lokalitách historického města Štramberk. Mimo bakalářskou práci, na kterou tímto výzkumem navazuji, nebyla tato lokalita dosud algologicky zkoumána. Tedy hlavním cílem bylo tuto oblast taxonomicky zdokumentovat, a to i v rámci různých habitatů. Diplomová práce byla zaměřena pouze na vláknité druhy, kdežto v bakalářské práci jsem počítala i s kokálními zástupci.

Největší variabilitu jsem zaznamenala ve vzorcích odebraných z vodního prostředí, a to hlavně v průběhu letních měsíců. V přehradě se v tomto období také počítá s nadměrnou tvorbou květů sinic. Vzorky byly odebírány jak u hladiny, tak i stírány ze stonků vodních rostlin. Zde byli identifikováni čtyři vláknití zástupci, a to sinice *Kamptonema animale*, *Microcoleus autumnalis*, *Calothrix* sp. a *Romeria leopoliensis*. Potok Sedlnice, který napájí přehradu, a potok Libotínka, s přehradou sdílely dva taxony: *Calothrix* sp. a *Kamptonema animale*. V Sedlnici se dále nacházely druhy *Pseudanabaena galeata*, *Mantellum commune*, *Leptolyngbya boryana* a *Leptolyngbya fragilis*. Z půdních vzorků jsem identifikovala čtyři zástupce, a to nejhojnější druhy *Microcoleus autumnalis* a *Kamptonema animale* a dále *Trichocoleus* sp. a *Anagnostidinema carotinosum*. Kůra stromu byla druhově nejchudší ze všech habitatů. Identifikovala jsem pouze dvě vláknité sinice: *Nodosilinea* sp. a *Anagnostidinema carotinosum*.

Sinice jsou jedny z nejodolnějších organismů a dokáží snášet velké spektrum abiotických podmínek nejrůznějších habitatů. V jeskyni Šipce bylo v rámci bakalářské práce identifikováno devět zástupců sinic, čtyři s vláknitou stélkou a pět se stélkou kokální. Po rozšíření zkoumané lokality se zaměřením pouze na vláknité sinice jsem identifikovala jedenáct zástupců. Rodově se dva zástupci shodovali s habitatem jeskyně. Ve skutečnosti se počítá s výskytem daleko většího spektra druhů sinic. V rámci své práce rozebírám jen zástupce, které jsem fyzicky našla v odebraných vzorcích. I když jsem se v této práci výskytem kokálních sinic nezabývala, tak na základě pozorování mohu usoudit, že ve všech zkoumaných habitatech dominovaly sinice vláknité. V habitatu jeskyně Šipky je tomu opačně.

7. Literatura

AIYER, Kartik. The Great Oxidation Event: How Cyanobacteria Changed Life. *American Society for Microbiology* [online]. 2022 [cit. 2023-01-18]. Dostupné z: https://asm.org/Articles/2022/February/The-Great-Oxidation-Event-How-Cyanobacteria-Change

AlgaeBase [online]. National University of Ireland, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: https://www.algaebase.org/

BARTRAM, Jamie, Wayne W. CARMICHAEL, Ingrid CHORUS, Gary JONES a Olav M. SKULBERG. Introduction. In: CHORUS, Ingrid. *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. 1. Berlin: E & F Spon, 1999, s. 14. ISBN 0-419-23930-8.

BIGGS, B. J. F. Patterns in periphyton of streams. In: STEVENSON, R., M. BOTHWELL a R. LOWE. *Algal Ecology: Freshwater benthic ecosystems*. 1. Academic Press, 1996, s. 31-56. ISBN 9780080526942.

BLÁHA, Luděk, Pavel BABICA a Blahoslav MARŠÁLEK. Toxins produced in cyanobacterial water blooms: toxicity and risks. *Interdisc Toxicol*. 2009, **2**(2), 36-41. Dostupné z: doi:10.2478/v10102-009-0006-2

BURKHOLDER, JoAnn M. Interactions of Benthic Algae with Their Substrata. In: STEVENSON, R., M. BOTHWELL a R. LOWE. *Algal Ecology: Freshwater benthic ecosystems*. 1. Academic Press, 1996, s. 253-297. ISBN 9780080526942.

BUZEK, Ladislav. *Geomorfologie Štramberské vrchoviny*. 1. Ostrava: Pedagogická fakulta, 1969.

CAI, Fangfang, Shuheng LI, Hang ZHANG, Gongliang YU a Renhui LI. Nodosilinea hunanesis sp. nov. (Prochlorotrichaceae, Synechococcales) from a Freshwater Pond in China Based on a Polyphasic Approach. *Diversity*. 2022, **14**, 1-15. Dostupné z: doi:10.3390/d14050364

CARPENTER, E. J. a R. A. FOSTER. Marine cyanobacterial symbioses. In: RAI, A. N., B. BERGMAN a U. RASMUSSEN. *Cyanobacteria in Symbiosis*. 1. Springer, 2002, s. 11. ISBN 978-0-306-48005-8.

CZERWIK-MARCINKOWSKA, Joanna a Andrzej MASSALSKI. Diversity of Cyanobacteria on Limestone Caves. In: TIWARI, Archana. *Cyanobacteria*. 1. IntechOpen, 2018, s. 45-57. ISBN 978-1-78923-705-4.

DEMEK, Jaromír. *Obecná geomorfologie*. 1. Praha: Academia, 1987.

DUCKER, S. C. a R. B. KNOX. Epiphytism at the Cellular Level with Special Reference to Algal Epiphytes. In: LINSKENS, Hans-Ferdinand. *Cellular Interactions*. 1. New York: Springer, 1984, s. 113-133. ISBN 978-3-642-69299-4.

ESTÉVEZ, Carlos Baquedano, Luis Moreno MERINO, Almudena de la Losa ROMÁN a Juan J. Durán VALSERO. The lampenflora in show caves and its treatment: an emerging ecological problem. *International Journal of Speleology*. Tampa, 2019, **48**(3), 249-277. Dostupné z: doi:10.5038/1827-806X.48.3.2263

FOTT, Bohuslav. *Sinice a řasy*. 2. Praha: Academia, 1967.

GAYSINA, Lira A., Aniket SARAF a Prashant SINGH. Cyanobacteria in Diverse Habitats. In: MISHRA, A. K., D. N. TIWARI a A. N. RAI. *Cyanobacteria: from Basic Science to Applications*. Academic Press, 2019, s. 1-28. ISBN 978-0128146675.

HAUER, Tomáš a Marie PAŽOUTOVÁ. Epilitické sinice vybraných lokalit v Krkonoších. *Opera Corcontica*. 2009, **46**, 57-66.

HOGFORS, Hedvig, Nisha MOTWANI, Susanna HAJDU a Rehab EL-SHEHAWY. Bloom-Forming Cyanobacteria Support Copepod Reproduction and Development in the Baltic Sea. *Plos One*. 2014, **9**(11), 1. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0112692

HUMBERT, JF a Jutta FASTNER. Ecology of Cyanobacteria. In: *Handbook of Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. 1. New Jersey: Wiley, 2017, chapter 2. ISBN 978-1119068686.

CHAN, Cheong Xin a Debashish BHATTACHARYA. The Origin of Plastids. *Nature Education* [online]. 2010, **3**(9) [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: https://www.nature.com/scitable/topicpage/the-origin-of-plastids-14125758/

CHORUS, Ingrid. *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. 1. London: WHO, 1999. ISBN 0-419-23930-8.

CHU, Tin-Chun a Matthew J. RIENZO. Bloom-Forming Cyanobacteria and Other Phytoplankton in Northern New Jersey Freshwater Bodies. In: QUINN, Nigel W.T. *International Perspectives on Water Quality Management and Pollutant Control*. 1. Rijeka: IntechOpen, 2013, s. 2. ISBN 978-953-51-0999-0.

IVANOVA, Anna Pavlovna, Jaroslav VRBA, Jan POTUŽÁK, Ján REGENDA a Otakar STRUNECKÝ. Seasonal Development of Phytoplankton in South Bohemian Fishponds (Czechia). *Water*. 2022, **14**, 1-15. Dostupné z: doi:10.3390/w14131979

JANSON, Sven. Cyanobacteria in symbiosis with diatoms. In: RAI, A. N., B. BERGMAN a U. RASMUSSEN. *Cyanobacteria in Symbiosis*. 1. Springer, 2002, s. 1. ISBN 978-0-306-48005-8.

JI, Xing, Jolanda M. H. VERSPAGEN, Maayke STOMP a Jef HUISMAN. Competition between cyanobacteria and green algae at low versus elevated CO2:: who will win, and why?. *Journal of Experimental Botany*. 2017, **68**(14), 1-14. Dostupné z: doi:10.1093/jxb/erx027

KALINA, Tomáš a Jiří VÁŇA. *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. 1. Praha: Karolinum, 2005. ISBN 978-80-246-1036-8.

KOMÁREK, Jiří a Konstantinos ANAGNOSTIDIS. *Süßwasserflora von Mitteleuropa: Cyanoprokaryota 2. Teil/2nd Part: Oscillatoriales*. Mnichov: Elsevier Spektrum, 2005. ISBN 978-3827419149.

KOMÁREK, Jiří. Review of the cyanoprokaryotic genus Romeria. *Czech Phycology*. Olomouc, 2001, **1**, 5-19.

KOMÁREK, Jiří. *Süßwasserflora von Mitteleuropa: Cyanoprokaryota 3rd part: heterocystous genera*. Heidelberg: Springer Spektrum, 2013. ISBN 978-3-8274-0932-4.

MCCORMICK, Paul V. Resource Competition and Species Coexistence in Fresh water Ben thic Algal Assemblages. In: STEVENSON, R., M. BOTHWELL a R. LOWE. *Algal Ecology: Freshwater benthic ecosystems*. 1. Academic Press, 1996, s. 229-252. ISBN 9780080526942.

METCALF, James S. a Geoffrey A. CODD. Cyanobacteria, neurotoxins and water resources: are there implications for human neurodegenerative disease?. *Amyotrophic Lateral Sclerosis*. 2009, **10**(2), 74-78. Dostupné z: doi:10.3109/17482960903272942.

MULEC, Janez. Lampenflora. In: WHITE, William B., David C. CULVER a Tanja PIPAN. *Encyclopedia of Caves*. 3. Academic Press, 2019, s. 635-641. ISBN 978-0128141243.

MUR, Luuc R., Olav M. SKULBERG a Hans UTKILEN. Cyanobacteria in the Environment. In: CHORUS, Ingrid. *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. 1. Berlin: E & F Spon, 1999, s. 37. ISBN 0-419-23930-8.

MUTALIPASSI, Mirko, Gennaro RICCIO, Valerio MAZZELLA, Christian GALASSO, Emanuele SOMMA, Antonia CHIARORE, Donatella DE PASCALE a Valerio ZUPO. Symbioses of Cyanobacteria in Marine Environments: Ecological Insights and Biotechnological Perspectives. *Marine Drugs*. 2021, **19**(4), 1-2. Dostupné z: doi:10.3390/md19040227

NIAMIEN-EBROTTIE, J. E., S. BHATTACHARYYA, P. R. DEEP a B. NAYAK. Cyanobacteria and cyanotoxins in the World: Review. *International Journal of Applied Research*. 2015, **1**(8), 563-569.

O'NEIL, J.M., T.W. DAVIS, M.A. BURFORD a C.J. GOBLER. The rise of harmful cyanobacteria blooms: The potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful Algea*. Elsevier, 2012, **14**, 313-334. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.027

POULÍČKOVÁ, Aloisie, Petr DVOŘÁK a Petr HAŠLER. *Průvodce mikrosvětem sinic a řas*. 1. Olomouc: Univerzita Palackého, 2015. ISBN 9788024444086.

PRAPTIWI, Radisti A., Carlos J. PESTANA, Emma T. SAWADE, Nick SWAIN, Gretchen SCHROEDER a Gayle NEWCOMBE. Treatment challenge of a non-toxic cyanobacterium Romeria elegans bloom event in a South Australian wastewater treatment plant – A case study. *Environmental Technology*. 2016, **38**(6), 782-788. Dostupné z: doi:10.1080/09593330.2016.1262454

PROUD, Daniel N., Ryan R. WADE, Philip ROCK, Victor R. TOWNSEND JR. a Donald JIMÉNEZ CHAVEZ. Epizoic cyanobacteria associated with a Neotropical harvestman (Opiliones: Sclerosomatidae) from Costa Rica. *Journal of Arachnology*. 2012, **40**(2), 259-261. Dostupné z: doi:10.1636/B11-24.1

RASMUSSEN, U. a M. NILSSON. Cyanobacterial Diversity and Specificity in Plant Symbioses. In: RAI, Amar N., Birgitta BERGMAN a Ulla RASMUSSEN. *Cyanobacteria in Symbiosis*. 1. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002, s. 313-328. ISBN 978-0-306-48005-8.

RASTOGI, R.P., Datta MADAMWAR a A. INCHAROENSAKDI. Bloom Dynamics of Cyanobacteria and Their Toxins: Environmental Health Impacts and Mitigation Strategies. *Frontiers in Microbiology*. 2015, **6**, 2-3. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01254

RIKKINEN, Jouko. Cyanobacteria in Terrestrial Symbiotic Systems. In: HALLENBECK, Patrick C. *Modern Topics in the Phototrophic Prokaryotes: Environmental and Applied Aspects*. Springer, 2017, s. 244. ISBN 978-3319834801.

RINKEL, Barbara E. a Kalina M. MANOYLOV. Calothrix — an evaluation of fresh water species in United States rivers and streams, their distribution and preliminary ecological findings. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 2014, **163**(1), 43-59. Dostupné z: doi:http://dx.doi.org/10.1635/053.163.0108

ROUSSO, Benny Z. a Edoardo BERTONE. Cyanobacteria species dominance and diversity in three Australian drinking water reservoirs. *Hydrobiologia*. 2022, **849**, 1453–1469.

SHESTAKOV, S. V. a E. A. KARBYSHEVA. The Origin and Evolution of Cyanobacteria. *Biology Bulletin Reviews*. Pleiades Publishing, 2017, **7**(4), 259-272.

STRUNECKÝ, Otakar, Jiří KOMÁREK a Jan ŠMARDA. Kamptonema (Microcoleaceae, Cyanobacteria), a new genus derived from the polyphyletic Phormidium on the basis of combined molecular and cytomorphological markers. *Preslia*. 2014, **86**, 193-207.

STRUNECKÝ, Otakar, Markéta BOHUNICKÁ, Jeffrey R. JOHANSEN, Kateřina ČAPKOVÁ, Lenka RAABOVÁ, Petr DVOŘÁK a Jiří KOMÁREK. A revision of the genus Geitlerinema and a description of the genus Anagnostidinema gen. nov. (Oscillatoriophycidae, Cyanobacteria). *Fottea*. Olomouc, 2017, **17**(1), 114–126. Dostupné z: doi:10.5507/fot.2016.025

STRUNECKÝ, Otakar, Markéta BOHUNICKÁ, Jeffrey R. JOHANSEN, Kateřina ČAPKOVÁ, Lenka RAABOVÁ, Petr DVOŘÁK a Jiří KOMÁREK. A revision of the genus Geitlerinema and a description of the genus Anagnostidinema gen. nov.

(Oscillatoriophycidae, Cyanobacteria). *Fottea*. Olomouc, 2017, **17**(1), 1-13. Dostupné z: doi:10.5507/fot.2016.025

SUSHANTA KUMAR, Sasha a Das RAJU. Biodiversity of epilithic cyanobacteria from freshwater streams of Kakoijana reserve forest, Assam, India. *Indian Journal of Microbiology*. 2007, **47**(3), 219-232. Dostupné z: doi:10.1007/s12088-007-0043-5

VAŠÍČEK, Zdeněk a Petr SKUPIEN. *Historie geologických a paleontologických výzkumů svrchnojurských a spodnokřídových sedimentů na štramberku*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 2004. ISSN 0474-8476.

WHITTON, Brian A. a Malcolm POTTS. Introduction to the Cyanobacteria. In: WHITTON, Brian A. a Malcolm POTTS. *The Ecology of Cyanobacteria*. Springer, 2000, s. 1-2. ISBN 978-94-007-3855-3.

WYNN-WILLIAMS, D. D. Cyanobacteria in Deserts - Life at the Limit?. In: WHITTON, Brian A. a Malcolm POTTS. *The Ecology of Cyanobacteria*. Springer, 2000, s. 341-366. ISBN 978-94-007-3855-3.

ZAKHIA, Frédéric, Anne-Dorothee JUNGBLUT, Arnaud TATON, Warwick F. VINCENT a Annick WILMOTTE. Cyanobacteria in Cold Ecosystems. In: MARGESIN, Rosa. *Psychrophiles: from Biodiversity to Biotechnology*. 2: Springer, 2017, s. 121-135. ISBN 978-3319570563.

ZAKI, Syazana, Faradina MERICAN, Narongrit MUANGMAI, Peter CONVEY a Paul BRODY. Discovery of microcystin-producing Anagnostidinema pseudacutissimum from cryopreserved Antarctic cyanobacterial mats. *Harmful Algae*. 2020, **93**, 1-7. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101800

ZHANG, Weizhen, Jing LIU, Yunxing XIAO, Yumiao ZHANG, Yangjinzhi YU, Zheng ZHENG, Yafeng LIU a Qi LI. The Impact of Cyanobacteria Blooms on the Aquatic Environment and Human Health. *Toxins*. 2022, **14**(10), 1-2. Dostupné z: doi:10.3390/toxins14100658

ZIGLAR, Catherine L. a Richard V. ANDERSON. Epizoic Organisms on Turtles in Pool 20 of the Upper Mississippi River. *Journal of Freshwater Ecology*. 2011, **20**(2), 389-396. Dostupné z: doi:10.1080/02705060.2005.9664979