

Katedra botaniky  
Přírodovědecká fakulta  
Univerzita Palackého v Olomouci



# VLÁKNITÉ SINICE VE VODNÍCH A PŮDNÍCH BIOTOPECH

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Petr Hašler, Ph.D.  
Vypracovala: Lucie Krausová  
Z-BiO

Olomouc 2010

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala sama pouze s použitím literatury citované v použité literatuře.

Olomouc 2010

.....  
Lucie Krausová

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Petru Hašlerovi, Ph.D. za předané znalosti v laboratorním výzkumu a metodách determinace sinic.

**Bibliografická identifikace:**

Jméno a příjmení autora: Lucie Krausová

Název práce: Vlákňité sinice ve vodních a půdních biotopech

Typ práce: Bakalářská práce

Pracoviště: Katedra botaniky PřF UP

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

Rok obhajoby práce: 2010

**Abstrakt:**

U sinic byla objasněna základní morfologická struktura stélky. Funkce a obsah buněk, jednotlivé způsoby rozmnožování těchto organismů. Zmiňuji jednotlivé formy adaptace v závislosti na typu prostředí, ve kterém se vyskytovaly. Byly sledovány morfologické variability stélek vláknitých sinic, především komplikovaná taxonomie rodu *Phormidium*. Popisují řády Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales, Stigonematales a rod *Phormidium*. Byl proveden sběr vzorků sinic žijících v půdě a ve vodě ve stanovených lokalitách. Lokality se navzájem lišily přírodními podmínkami, typem podloží, druhem porostu a nadmořskou výškou. V lokalitách byly odebrány a později determinovány jednotlivé druhy sinic. Bylo nezbytné vzorky uchovat v laboratorních podmínkách a dále s nimi pracovat (izolovat do kultur). Ve studované oblasti se vyskytovalo 14 druhů vláknitých sinic. Na jednotlivých lokalitách byly pozorovány změny druhového složení v rámci ročních období. Největší výskyt druhů byl patrný v dubnu a květnu.

Klíčová slova: sinice, morfologie stélky, sběr vzorků, charakteristika lokalit, determinace

Počet stran: 36

Počet příloh: 2

Jazyk: Čeština

**Bibliographical identification:**

Autor's first name and surname: Lucie Krausová

Title: The filamentary cyanophytes in water and soil biotopes

Type of thesis: Bachelor

Department: Botany PřF UP

Supervisor: RNDr. Petr Hašler, Ph.D.

The year of presentation : 2010

**Abstract:**

Basic morphological structure of cyanophytes thallus as well as function and content of cellulose, individual ways of reproduction have been explained. I have mentioned different adaptive forms depending on the type of environment in which they have occurred. Morphological variability of filamentary thallus cyanophytes were monitored, mainly complex taxonomy genus *Phormidium*. I have described cohorts of Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales, Stigonematales and genus *Phormidium*. Collection of cyanophytes living in soil and in water were made in the defined locations. These locations differed in natural conditions, subsoil type, vegetation type and elevation. In these locations different types of cyanophytes thallus were collected and later determined. It was necessary to conserve these samples in laboratory conditions and consequently to work with them, to do the cell isolation. 14 different kinds of filamentary cyanophytes were found in the location. Changes of specific species composition were observed in different season. In April and May I have noticed the highest occurrence of species.

Keywords: cyanophytes, morphology of thallus, sample collection, characteristic of locations, determination

Number of pages: 36

Number of appendices: 2

Language: Czech

## Obsah:

1	Úvod.....	7
1.1	Morfologie a funkce buněk sinic .....	7
1.1.1	Fixace dusíku pomocí heterocytů .....	9
1.1.2	Akinety.....	11
1.1.3	Rozmnožování sinic.....	11
1.1.4	Výživa sinic .....	12
1.1.5	Toxicita .....	13
1.2	Ekologie sinic .....	14
1.2.1	Sinice vodních biotopů .....	14
1.2.2	Sinice mimo vodní biotopy.....	15
1.2.3	Ochrana proti UV záření.....	17
1.2.4	Symbióza .....	17
1.3	Systém sinic .....	18
1.3.1	Rod: <i>Phormidium</i> .....	20
2	Cíle bakalářské práce .....	23
3	Metodika .....	24
3.1	Sběr vzorků.....	24
3.1.1	Vápencový lom Vitošov .....	24
3.1.2	Záplavová oblast řeky Moravy .....	24
3.1.3	Údolí potoka ve smíšeném lese u obce Zvole.....	25
3.2	Kultivace vzorků.....	25
3.3	Determinace vzorků.....	26
4	Charakteristika lokalit.....	27
4.1	Lokalita vápencový lom Vitošov .....	27
4.2	Lokalita záplavová oblast řeky Moravy.....	28
4.3	Lokalita údolí potoka u obce Zvole .....	28
4.4	Podnebí oblasti.....	28
5	Výsledky .....	30
6	Závěr .....	31
7	Použitá literatura .....	32
8	Přílohy.....	36

# 1 Úvod

## 1.1 Morfologie a funkce buněk sinic

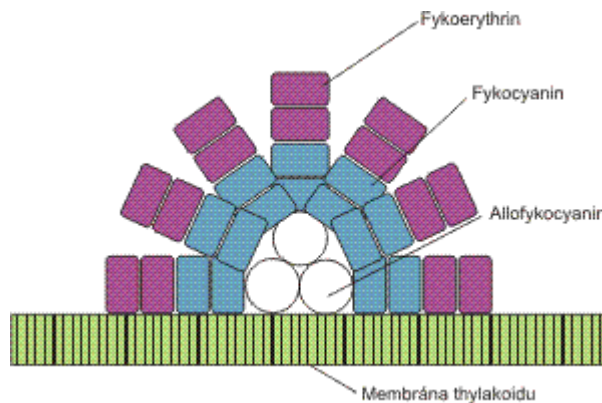
Sinice jsou autotrofní prokaryotické organismy s jednobuněčnou nebo vláknitou stélkou. V jejich buňkách nenajdeme pravé organely jako jádro, chloroplasty a mitochondrie. Rovněž nejsou přítomna bičíkatá stadia. DNA je obsažena v nukleoplazmatické oblasti, podobné nukleotidu bakterií. Sinice jsou nejstarší autotrofní organizmy s fotosyntézou rostlinného typu, spojenou s produkcí kyslíku. Fotosyntetické pigmenty (chlorofyl a,  $\beta$ -karoten, xantofyly a fykobiliny) jsou obsaženy v thylakoidech volně prorůstajících plazmou. Přesto nepředpokládáme přímý vývoj rostlinných buněk ze sinic. Značnou podobnost sinic a chloroplastů ruduch vysvětluje hypotéza seriální endosymbiozy (Kalina, 1994).

Sinice patří mezi gramnegativní eubakterie. To znamená, že jejich buňky mají pevnou buněčnou stěnu, která svým složením znemožňuje barvení protoplastu. Buněčná stěna je vícevrstevná. Vnější buněčný obal tvoří slizová vrstva, složená z lipopolysacharidů (glykokalyx). Lipopolisacharidová vrstva má fibrilární strukturu a bývá vyvinuta v různé míře. U některých sinic tvoří nápadný homogenní nebo vrstevnatý, někdy zbarvený obal buňky nazývaný pochva. Další složkou buněčné stěny je dvojice lipoproteinových membrán. Pevná složka buněčné stěny je uložena mezi oběma membránami a je složena z peptidoglykanu, kde hlavní složkou je murein. Mureinová vrstva je poměrně tenká. V buněčné stěně jsou vytvořeny transportní kanály. Patří k nim pasivní kanály obsahující protein porin. Kanály umožňují difúzi iontů nebo malých molekul. Difúzi pomalu penetrujících látek zajišťují kanály se specifickými vazebnými místy (Kalina a Váňa, 2005).

V živé buňce sinice můžeme rozlišovat vnější, výrazněji zbarvenou chromatoplazmu, kde převažují fotosyntetické membrány (thylakoidy). Ve světlejší vnitřní oblasti, centroplazmě, převládá cytoplazma, DNA, ribozomy a další plazmatické struktury (Kalina a Váňa, 2005).

Uspořádání thylakoidů je zčásti typické pro jednotlivé skupiny sinic, ale může se měnit vlivem vnějších faktorů. Fotosyntetické pigmenty, tj. chlorofyl a,  $\beta$ -karoten a několik xantofylů (echinenon, myxoxantofyl, zeaxantin) jsou obsaženy v membráně thylakoidu. Fykobiliproteiny, tj. modrý c-fykocyanin, červený c-fykoerytrin a modrý allofykocyanin, tvoří přídatnou světlosběrnou anténu, umístěnou ve fykobilisomech na povrchu thylakoidů. Základ tvoří allofykocyaninová dřev, na níž nasedají krátké řetízky molekul fykoeritru a fykocyaninu. Po-

měr červeného a modrého pigmentu určuje výslednou barvu sinicové buňky, která může být malachitově zelená, blankytně modrá, ocelově šedá nebo červená. Barevný odstín je sice pro jednotlivé druhy příznačný, ale mění se podle složení světla, vlivem výživy a řady dalších faktorů. Tato vlastnost se jmenuje chromatická adaptace. S fotosyntézou rovněž souvisí přítomnost karboxyzómů, submikroskopických tělísek ve tvaru mnohostěnu. Karboxyzómy obsahují enzym ribuloso-1,5-bifosfát karboxylosu/oxidásu (Rubisco), který zajišťuje fixaci oxidu uhličitého v Calvinově cyklu (Kalina, 1994).

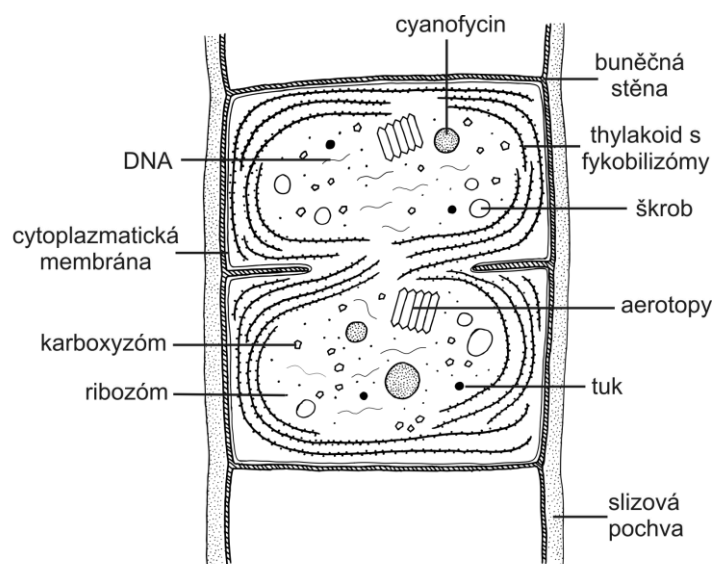


Zdroj: <http://www.sinicearasy.cz/pokr/sinice>

Obr. č. 1: Struktura fykobilisomu dle Pankratz & Bowen 1963

U většiny sinic je hlavní zásobní látkou sinicový škrob. Tento polysacharid, který patří mezi  $\alpha$ -1,4-glukany je svými vlastnostmi shodný se škroby vyšších rostlin. Na snímcích z elektronového mikroskopu jej pozorujeme jako drobná granula. Cyanofycinová zrna představují dusíkatou zásobní látku. Jsou tvořena aminokyselinami argininem a asparaginem. V buňkách nalezneme také polyfosfátová granula (volutin), která obsahují kondenzované ortofosforečnany. Volutin se v buňkách hromadí v době přebytku fosforečnanů v prostředí a využívá se v období jejich nedostatku. Tak sinice překovávají kritické období vyčerpání fosfátů (Kalina a Váňa, 2005).





Cyanobacteria - stavba buňky. © Markéta Krautová

Zdroj: <http://www.sinicearasy.cz/pokr/sinice>

Obr. č. 2: Stavba buňky sinic, © Markéta Krautová

Významnou strukturou v sinicích vodního květu jsou plynné vezikuly, agregované v rozsáhlých aerotopech, dříve nesprávně nazývaných plynné vakuoly. Základní jednotkou aerotopu jsou plynná vezikula, široká 70–75 nm a dlouhá až 1000 nm. Mají válcovitý tvar. V jedné buňce může být až 10 000 vezikulů. Stěna vezikuly je tvořena glykoproteinovými molekulami a je propustná pro všechny plyny rozpuštěné ve vodě. Aerotopy jsou jedinou známou, plynem zaplněnou, strukturou v živých buňkách. Aerotopy snižují specifickou hmotnost buněk a umožňují sinicím vznášet se ve vodě (Kalina, 1994).

### 1.1.1 Fixace dusíku pomocí heterocytů

Podobně jako některé bakterie, mají i mnohé sinice schopnost vázat plynný dusík a pomocí enzymu nitrogenázy syntetizovat amonné sloučeniny. Proces vyžaduje přísně anaerobní podmínky, protože nitrogenáza je inaktivována v přítomnosti kyslíku. Fixace probíhá v heterocytech. Jsou to specializované buňky, které se tvoří v průběhu 24 hodin jako reakce na nízký obsah dusíkatých látek v prostředí. Vývoj heterocytů startuje autoregulační gen *hetR*. Heterocyty známe pouze u sinic řádu Nostocales a Stigonematales. Do heterocytů vstupují redukující látky z vegetativních buněk, které omezují přítomnost kyslíku. V opačném směru se do vegetativních buněk pohybují dusíkaté sloučeniny. (Kalina a Váňa, 2005).

Heterocyty jsou stejně velké nebo lehce větší než vegetativní buňky. Ve světelném mikroskopu vypadají prázdné (zatím co akinety jsou granulované od zásobních látek). Jsou fotosynteticky inaktivní, nefixují  $\text{CO}_2$ , ani neprodukují  $\text{O}_2$ . Vykazují vysokou rychlost respirační spotřeby  $\text{O}_2$ . Jsou obklopeny tlustou buněčnou stěnou, neprostupnou pro atmosferické plyny, včetně  $\text{O}_2$ . Vnitřní prostředí heterocytů je proto bez kyslíku, což je vhodné pro nitrogenázu a pro enzymy citlivé na  $\text{O}_2$ . Heterocyty se tvoří vstřebáním uskladněných zrn v buňce, uložením vícevrstevného vnějšího obalu buněčné stěny, zánikem thylakoidů a utvořením nových membránových soustav (Kulasooriya et al., 1972). Produkce heterocytů je ovlivněna koncentrací molybdenu v kombinaci s dusíkem v substrátu (molybden je součástí enzymu pro fixaci dusíku – nitrogenázy). Utváření heterocytů souvisí s koncentrací dusíkatých látek v buněčném obsahu buňky sinice. Heterocyty nejsou schopné se dělit, mají proto omezenou periodu fyziologické aktivity. Ve stárnoucích buňkách heterocytů se vytvářejí dutinky a dochází k odlomení vlákna, to způsobuje fragmentaci vlákna. Heterocyty jsou závislé na zásobních látkách sousedních buněk, se kterými jsou propojeny mikroplazmodezmaty. Cytoplazmatické spojení pravděpodobně zprostředkovává transport fixovaných dusíkatých látek z heterocytů do vegetativních buněk a fixované uhlíkaté látky jsou vedeny do heterocytů (Gidding a Staehelin, 1981). Přenos metabolitů je nezbytný, protože heterocyty nejsou schopné fixace uhlíku (Lee, 1999).

Proces fixace plynného dusíku se nazývá diazotrofie. Při fixaci  $\text{N}_2$  z atmosféry a jeho přeměny do formy amoniaku je spotřebováána energie ve formě ATP, jako doplněk je důležitý molybden nebo vanad (Attridge a Rowell, 1997). Amoniak je začleněn v aminokyselinách, jako je glutamin a asparagin. Fixace nastává pouze u prokaryotických bakterií a sinic. Sinice během fotosyntézy neprodukují kyslík. Což je důležité, protože enzym k fixaci dusíku – nitrogenáza, je citlivý k přítomnosti kyslíku. Sinice vyvinuly tři různé mechanismy pro oddělování nitrogenázy od kyslíku: 1. Nostokální sinice fixující dusík v heterocytech za přítomnosti světla. Heterocyty postrádají fotosystém II ve fotosyntéze a také schopnost vytvářet kyslík. Před fotosyntézou mohou heterocyty vytvářet ATP potřebný pro fixaci dusíku. Heterocyty obsahují formu myoglobinu zvanou cyanoglobin, který odstraňuje přítomný kyslík (Potts et al., 1992). 2. Kokální sinice které fixují dusík ve tmě, kdy neprobíhá fotosyntéza produkující kyslík, který inhibuje nitrogenázu (Mitsumi et al., 1986; Chen et al., 1996). 3. *Trichodesmium*, je vláknitá sinice bez heterocytů fixující dusík v aerobních podmínkách pouze za přítomnost světla (Berman et al., 1997). Cyklus fixace dusíku je navozen vnějšími denními rytmy (Capone et al., 1997). *Trichodesmium* tvoří kolonie, které jsou významnou složkou planktonní

flóry v tropických mořích. Je odhadováno, že jsou odpovědné za jednu čtvrtinu fixace dusíku z celkového množství fixace ve světovém oceánu (Bergman a Carpenter, 1991). Ve vláknech *Trichodesmium* jsou jenom některé buňky specializované pro fixaci dusíku. Tyto buňky jsou přilehlé k ostatním. Z cytologického hlediska mají buňky hustý thylakoidní systém s menším počtem vakuol a cyanofytických zrn (Fredriksson a Bergman, 1997).

### 1.1.2 Akinety

Akinety, nebo také odpočívající spory, jsou buňky odolné vůči nepříznivým přírodním podmínkám. Vyskytují se u řádu Nostocales a Stigonematales. Pomocí klíčení akinet vznikají nová vlákna. Tato funkce je podobná endosporám u bakterií. U rodu *Aphanizomenon* (Wildman et al., 1975), probíhá vývoj akinet z vegetativních buněk zvětšováním jejich velikosti. Poté postupným vymizením plyných vakuol a zvětšením cytoplazmatické hustoty, počtu ribozómů a cyanofycinových zrn. Akinety sinice *Nostoc* postrádají 90% fotosyntetických a dýchacích funkcí důležitých pro vegetativní buňky. Ztráta nastává i v případě malé změny ve fykocyaninu a chlorofylu, hlavních fotosyntetických pigmentů (Chauvat et al., 1982). Zralé akinety jsou obvykle podstatně větší než vegetativní buňky. Obsahují protoplazmu plnou zásobních látek a mají běžnou buněčnou stěnu obklopenou trojvrstevným obalem (Jensen a Clark, 1969; Cmiech et al., 1986). Akinety vznikají u sinic z jedné nebo splynutím několika vegetativních buněk (Kalina, 1994). Zvýšením cytoplazmatické hustoty dochází ke ztrátě flotace a vlákno s akinetou klesá ke dnu, kde v sedimentech přezimuje. Klíčení akinet je obrácený proces. Ke stimulaci vytváření akinet dochází vlivem mnoha fyzikálně - chemických faktorů. Například: fosfátový deficit, nízká teplota, omezené množství uhlíku a snížení dostupnosti světelného záření (Li et al., 1997; Van Dok a Hart, 1995).

### 1.1.3 Rozmnožování sinic

Buňky sinic se dělí prostým zaškrcením od obvodu směrem ke středu buňky. Rovinu dělení určuje kruhové vchlípení plazmatické membrány, která přetíná systém thylakoidů i nukleoplazmatickou oblast a tím jí rozdělí na dceřiné části. Souběžně s plazmatickou membránou vrůstá mezi dceřiné protoplasty buněčná stěna. Tím vzniká příčná přehrádka. Slizová pochva vláknitých sinic se dělení neúčastní. Při dostatečně vysoké růstové rychlosti vzniká ve stejné buňce současně několik příčných přehrádek (překryvné buněčné cykly) (Kalina, 1994). Jednoduché stélky vláknitých sinic sestávají z nerozvětvené řady vegetativních buněk. Ty jsou mezi sebou spojeny jemnými plazmatickými vlákny. Takové stélce říkáme trichom (např. u rodu *Oscillatoria*). U příbuzného rodu *Phormidium* je trichom uložen ve slizové roz-

plývavé pochrvě a tvoří tak vlákno. U řádu *Nostocales* jsou vlákna větvená, často s výraznou polaritou, heterocyty a akinetami. K větvení dochází při přerušení trichomu, např. tím, že se některá buňka změní v heterocyt nebo odumře. Nově vzniklé konce trichomu, nebo jen jeden z nich, rostou dál, protrhnou slizovou pochvu a vytvoří boční vlákno (např. u rodu *Tolyptothrix*). Takové větvení se označuje jako nepravé. Za vývojově pokročilejší se považuje pravé větvení, při kterém vznik nového bočního vlákna začíná změnou roviny dělení v jedné vegetativní buňce (např. u rodu *Hapalosiphon*). Jednobuněčné sinice se zpravidla rozmnožují dělením buněk a fragmentací kolonií. U rodu *Chamaesiphon* se tvoří neofyty (exospory) uvolňující se po roztržení buněčné stěny. Vlákňité sinice se množí hormogoniemi. Jsou to několikabuněčné části vlákna, oddělované z vlákna mateřského. Hormogonie se pohybují pomalým klouzavým pohybem (Kalina, 1994).

Některé jednobuněčné sinice, ale především sinice řádu Oscillatoriales, mají rozmnožovací buňky a hormogonie se schopností pohybu po substrátu. Pohyb je spojen s produkcí slizu, který však není hnací silou. Jsou to svazky kontraktálních bílkovinných filamentů, které byly zjištěny v blízkosti mureinové vrstvy buněčné stěny. Pohyb je dvojího druhu: klouzavý a rotační. Drkání, které dalo české jméno „drkalka“ rodu *Oscillatoria*, je příkladem klouzavého pohybu. Hormogonie *Phormidium autumnale* se pohybují po substrátu, například po stěnách kultivačních nádob. Sinice projevují fototaktické pohyby, jejichž rychlost a směr jsou ovlivněny intenzitou světla (Kalina a Váňa, 2005).

#### 1.1.4 Výživa sinic

Sinice se dělí do tří skupin: 1) Fakultativně chemoheterotrofní, tyto organismy jsou schopné růstu ve tmě ze zdrojů organického uhlíku, na světle jsou fotoautotrofní (pouze část sinic žije při těchto podmínkách). 2) Obligatorně fototrofní, organismy, které mohou růst pouze na světle, na neorganickém substrátu (některé skutečně autotrofní, vyžadují malé množství organické směsi, která není využita jako zdroj uhlíku. Potřebují trvalou dodávku vitamínů). 3) Fotoheterotrofní, buňky schopné využívat organickou směs jako zdroj uhlíku za světle, ale ne ve tmě (Stanier, 1973). Fakultativní chemoheterotrofové jsou schopni růst ve tmě ve velmi úzkém rozpětí substrátu. Mají omezené množství glukózy, fruktózy a mono či disacharidů. Rozpětí substrátu je malé, protože pentózo fosfátová cesta je jediná energeticky výnosná rozdílná cesta. Trikarboxi acidový cyklus postrádá enzym  $\alpha$  - ketaglutázu, dehydrogenázu a succinyl CoA syntetázu, přetvořený v neúplný. Glykolýza se rovněž zdá být neúplná. Ačkoliv trikarboxi acidový cyklus neposkytuje energii, poskytuje funkční uhlíkatý skelet. U sinic

pentózo-fosfátová cesta nefunguje na světle (i když je to vyšší provoz ve tmě). Je potlačována ribuloso - 1, 5 - difosfátem, produktem světelného metabolismu. Přestože některé sinice rostou ve tmě, jejich růst je velmi pomalý. Je pravděpodobné, že rychlost syntézy ATP ve tmě přes oxidaci glukózy - 6 - fosfátu v pentózo-fosfátové cestě nemá příliš vysoký účinek (Lee, 1999).

### 1.1.5 Toxicita

Cyanotoxiny jsou biologicky aktivní sekundární metabolity. Svou jedovatostí jsou méně nebezpečné než bakteriální botulin nebo toxin tetanu. Ve srovnání s rostlinnými alkaloidy, jsou toxičtější (Maršálek, 1996).

Některé ze sinic produkují toxiny (cyanotoxiny). Fyziologicky se dělí na dva základní typy: neurotoxiny a hepatotoxiny (Carmichael, 1992; Bell a Coby, 1994).

Neurotoxiny - jsou to alkaloidy (dusíkaté sloučeniny s nízkou molekulární hmotností), které blokují přenos signálu z neuronu do neuronu a z neuronu do svalu. Příznaky intoxikace zahrnují svalové napětí, lapavé dýchání a křeče. Neurotoxiny mohou být ve velké koncentraci smrtelné i pro člověka. Způsobí dýchací zástavu díky selhání svalových částí bránice. Sinice produkují dva neurotoxiny, a to anatoxin a saxitoxin. Anatoxiny produkují *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria* a *Trichodesmium* (Negri et al., 1997).

Hepatotoxiny- inhibují proteinovou fosfatázu (Arment a Carmichael, 1996) a ovlivňují zvířata tím, že způsobují krvácení jater. Klinické znaky zahrnují slabost, zvracení, průjem a snížení teploty. Sinice produkují dva typy hepatotoxinů, microcystin a nodularin, které jsou produkovány podobnou cestou (Rinehart et al., 1994). Microcystin produkují *Microcystis*, *Anabaena*, *Nostoc*, *Nodularia* a *Oscillatoria*, zatímco nodularin produkuje pouze *Nodularia* (Kota et al., 1995). Cyanotoxiny jsou většinou důležité ve sladkých vodách, kde sinice přijímají zvířata při pití vody. Sinice pak odumírají a uvolňují své toxiny v jejich střevním traktu. Cyanotoxiny jsou zodpovědné každý rok za ztrátu velkých vodních zásob na celém světě. Působí obvykle v horkých letních měsících, kdy je na hladině vody vidět vodní květ. Je malá pravděpodobnost, že by se člověk takové vody napil, proto jsou otravy člověka sinicemi velmi vzácné (Lee, 1999).

Cytotoxiny mají selektivní účinek na bakteriální, houbové a jiné buňky. Mohou působit chronické otravy a trvalá poškození organismu, ale mohou být také využívány jako cytotoxická antibiotika s protinádorovými účinky. Problémy s otravou cytotoxiny vznikají požitím vody

obsahující sinice nebo kontaktem při koupání. Častým následkem kontaktu s vodním květem jsou kožní alergie, záněty spojivek a bronchitidy. K otravám dochází u skotu napájeného kontaminovanou vodou. (Kalina a Váňa, 2005).

## 1.2 Ekologie sinic

Podle fosilních nálezů, stromatolitů, se sinice objevily v prekambriu, tj. před 3 – 2,5 miliardami let. Jejich všeobecné pozdější rozšíření znamenalo, že se sinice staly před 2 miliardami let dominující skupinou na Zemi. Sinice jsou téměř všudypřítomné. Obývají sladké vody i moře, nalezneme je v povrchových vrstvách půdy i na vlhkých skalách. Sinice často vstupují do symbiózy s jinými organismy. Díky výrazným adaptačním mechanismům, souvisejícím s geologickým stářím sinic, osidlují tyto mikroorganismy stanoviště s extrémními podmínkami. Snášejí prudké změny teploty a rychlou ztrátu vody. To jim umožňuje život v horkých pouštích Sinajského poloostrova i na mrazem strádajících skalách antarktického pobřeží (Kalina, 1994).

### 1.2.1 Sinice vodních biotopů

Sinice ve vodách se mohou vyskytovat ve dvou formách. Volně plovoucí – planktonní, nebo přisedlé na ponořeném substrátu – perifytické. Mohou porůstat bahno na dně nádrže - epipelické druhy sinic. Pokud sinice žijí na ponořeném nebo mokřém písku u břehu vody, nazývají se epipsamické. Sinice mohou porůstat vodní rostliny, nebo jiné sinice a řasy – epifytické. Specifické druhy epizoických sinic jsou přisedlé k živočichům a jejich tělním částem. Obvykle k jejich pokryvu, který může tvořit lastura, ulita, pokožka a srst (Komárek a Anagnostidis, 2005).

Vodní květ je výsledkem přemnožení určité skupiny sinic ve vodách s nadbytkem dusíkatých a fosforečných živin. V našich podmínkách se projevuje zejména v letním období a vytváří hygienické problémy na koupalištích a přehradách, které byly původně určeny jako zdroje pitné vody. Společenstvo vodního květu tvoří druhy rodu *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* aj. Jejich pohyb u hladiny umožňují aerotopy, které jsou vytvořeny u všech druhů vodních květů. První příznaky vodního květu se na hladině objevují koncem jara. Do té doby se sinice udržují na dně nádrže a na hladině se jejich přítomnost neprojevuje. Později se vynořují větší či menší shluky vodního květu, které vítr postupně rozptýlí po celé hladině. V plném rozvoji vytváří vodní květ hustý koberec u břehů a v klidných zálivech. Ve večerních hodinách se část vodního květu ponoří do větších hloubek a příští den opět vyplave na hladinu.

Kromě toxinů, které sinice produkují, dochází při rozkladu biomasy k hnilobným procesům spojených s vyčerpáním kyslíku a s další produkcí toxických látek. Odstranění vodního květu je obtížné, zejména ke schopnosti sinic adaptovat se na změněné podmínky. Ani infekce cyanofágem, která znamenala určitou naději, nepřinesla žádoucí efekt. Vodní květy postihují také pobřežní mořské vody (*Nodularia*, *Trichodesmium* aj.) (Kalina a Váňa, 2005).

### 1.2.2 Sinice mimo vodní biotopy

Mohou být označovány také jako edafycké. Tyto druhy sinic se vyskytují na půdních stanovištích, kamenech, skalách, kůře stromů apod. Podle Granhalla (1975), je významným faktorem (při dostatku světla) ovlivňující výskyt sinic v půdě vlhkost, pH, minerální složení a přítomnost dusíku. Druhy sinic, které ke svému životu potřebují atmosférickou vlhkost, řadíme mezi aerofytické organismy. Sinice s většími nároky na vlhkost nazýváme subaerofytické. Ty na svém stanovišti potřebují pravidelný přísun vody ve formě srážek, tekoucí vody či mlhy. Tyto lokality příležitostně vysychají. Sinice vytvářejí makroskopické kolonie různých velikostí označované jako biofilm. Patří sem rody *Phormidium*, *Nostoc*, *Leptolyngbya*, *Gloeocapsa*, *Gloeotheca*, *Chroococcus* a *Scytonema* (Komárek a Anagnostidis, 2005). Největší druhové pestrosti dosahují sinice při hodnotě pH 4 – 6 a vyšší. V příliš kyselém prostředí nerostou. Sinice rodu *Leptolyngbya* (*Plectomena*, *Nostocales*) roste při pH 13,5, což je asi nejvyšší hodnota, při které je život ještě možný (Kalina a Váňa, 2005).

Půdní sinice hrají důležitou roli jako primární kolonizátoři půd. Jsou první autotrofní složkou půdy a z jejich vláken vznikl první humus. Proces humifikace probíhá čtyřmi hlavními cestami: 1) Sinice zpevňují písek a půdní částice, tím zabraňují erozi. Vliv na zpevnění půd mají slizové pochvy, které produkují provazovité svazky propletené mezi půdními částicemi. Druhy, které mají tuto funkci, jsou například: *Porphyrosiphon*, *Microcoelus*, *Plectonema*, *Schizothrix* a *Scytonema*. 2) Pomáhají v půdě udržovat vlhkost. Booth (1941) ve své studii v Oklahomě zjistil, že půda krytá sinicemi měla obsah vlhkosti 8,9%, ve srovnání s 1,3% v půdě bez sinic. 3) Jsou důležité v přispívání sloučenin dusíku díky jeho fixaci. Na pastvinách, kde půdní povrch mezi trsy trávy podporuje rozsáhlé zóny se sinicemi a lišejníky představují více než 20% povrchového krytu (Kapustka a DuBois, 1987). 4) Sinice pomáhají rostlinám k lepšímu růstu tím, že jim dodávají růstové látky (Lee, 1999).

Specifickým typem prostředí jsou vápence. Existují různé skupiny sedimentů s vysokým obsahem uhličitane vápenatého (> 50% wt.). Vápence tvoří přibližně 4% zemského půdního povrchu (Balazs, 1997), většina bývá vystavena vlivu krasování. Tvrdý vápenec schne rychle,

a jeho okraje jsou často nepravidelné a měnící se díky krasovění. Za těchto podmínek zde mohou růst pouze suchomilné fototrofní organismy, což zahrnuje sinice (Potts, 1994). Tyto organismy musí mít toleranci k vysoké salinitě, aby přežily období sucha, kdy salinita převyšuje 100 ppt. Vysoká reflexe z holého povrchu vápence způsobuje menší absorpci slunečního záření, než mají tmavší horniny. Voda je chladnější a poměr vypařování je ve srovnání s jinými horninami zpožděný. Zda má tento rozdíl významný vliv na kolonizaci a růst není známo (Somers a Brown, 1978; Smith a Wilkins, 1988).

Metamorfózou vápence se mění jeho pórovitost, hustota a narušenost (Tucker a Wright, 1990). Také se mění chemické složení, na které mohou mít vliv přítomné sinice (Davis a Ronds, 1982). Společenstva sinic vápenců se mohou vyskytovat na skalách v poušti, suchých a vlhkých oblastech útesu, různých typech erodovaných povrchů, zaplavených vápencích v jezerech, řekách a březích, a na příbojových zónách moře. Některé sinice jsou známé pro jejich schopnost urychlovat, poutat a vázat částice uhličitanu vápenatého a hromadit je ve vrstvách travertinu či stromatolitu. Jiné jsou schopné leptat vápenec, a tím způsobují modifikaci okolního prostředí (Golubić et al., 1970).

Sinice se mohou vyskytovat na povrchu – epilithické, nebo uvnitř kamene - endolithické. Epilithické sinice žijící ve vodě mohou zvyšovat rychlost a množství ukládaného uhličitanu vápenatého. Stélky sinic zachytávají pevné částice, které se stávají součástí hmoty kolonií. V místech s výskytem vápenců jsou vody bohaté na rozpuštěné uhličitany, které jsou následně sráženy metabolickou činností sinic do malých vloček, které se opět usazují ve hmotě kolonií. V obou případech pak dochází k postupnému zpevnění vápenatých usazenin a jejich postupné přeměně na vápencové minerály nebo horniny. Proces srážení je také ovlivněn fyzikálními parametry jednotlivých stanovišť. Jedná se zejména o pH, teplotu a množství volného  $\text{CO}_2$  ve vodě, které ovlivňují rychlost rozpouštění uhličitánových iontů. Z metabolických procesů sinic hraje velmi významnou roli fotosyntéza, která silně ovlivňuje množství volného  $\text{CO}_2$  v okolním roztoku. Vlivem odčerpávání molekuly oxidu uhličitého dochází k narušení rovnováhy. Po koncentračním spádu následně dochází k rozpouštění dalších molekul  $\text{CO}_2$  ze vzduchu a podloží (Pentecos a Whitton, 2001).

V průmyslových, městských a zemědělských oblastech jsou populace sinic částečně zásobeny rozpuštěnými anorganickými živinami ve formě dešťových srážek (Bobbink et al., 1998). Jedná se zejména o sloučeniny dusíku. Naopak fosfáty touto cestou neprocházejí a stávají se limitujícími. Dočasná heterogenita v zásobách vody a dostupnosti fosfátů je zvláště důležitá



v určování druhového složení společenstev. Místa s občasně tekoucí vodou v kombinaci s dlouhými obdobími sucha jsou často typická pro kokální sinice s tmavými obaly (e.g. *Gloeocapsa*), zatímco místa s dočasnými rozdíly v množství fosfátu jsou často kolonizovaná druhy tvořící vlákna (e.g. *Rivularia*). Endolithické sinice se obzvláště vyskytují v měkkém a porézním vápenci. Například několik druhů (e.g. *Hyella*) aktivně roste v hornině na místech, kde byl odstraněn povrchový materiál. Taková společenstva jsou typická pro svislé povrchy na přílivových zónách tropických a subtropických moří (Pentecos a Whitton, 2001).

### 1.2.3 Ochrana proti UV záření

Sinice mají historicky nejdéle zkušenosti s ochranou proti UV záření. Ochrana proti škodlivému UVB záření je nejdůležitější v letním období, kdy je UV expozice nejintenzivnější, proto sinice preferují růst na zastíněných místech. Endolithické druhy se vyskytují pod povrchem kamenů. Dalším způsobem ochrany je ukládání barviva scytoneminu ve slizových obalech. Toto barvivo odfiltrává UV záření. Scytonemin vzniká kondenzací aminokyseliny tryptofanu a fenylypropanu. Maximální absorpce je v oblasti 390 nm, ale celkové spektrum dosahuje UVB oblasti. Jako UV filtry působí karoteny a xantofyly ( $\beta$ -karoten, kantaxantin, myxoxantofyl). Poslední ochranu tvoří mikrosporony, což jsou aminokyseliny s maximální absorpcí v oblastech 320 – 335 nm (Kalina a Váňa, 2005).

### 1.2.4 Symbióza

Sinice vyskytující se uvnitř jiného organismu se podle Komárka a Anagnostides (2005) nazývají endobiotické.

Ze všech fotoautotrofních mikroorganismů jsou sinice nejčastější složkou symbiotických interakcí. Vývojově nejvýznamnější je symbiotický původ chloroplastů, které jsou přímo nebo zprostředkovaně odvozeny od sinic. Ve vnitrobuněčných nebo jiných symbiózách poskytují sinice svému hostiteli především dusíkaté živiny, pomáhají také s fixací oxidu uhličitého. Stupeň asimilace v hostitelské buňce je různý. V některých případech je možné sinice lehce izolovat a pěstovat v samostatné kultuře. V jiných případech se vytvořila pevná závislost na genetickém aparátu hostitele, pak je izolace endosymbionta nemožná. Sinice jako symbiotická složka lišejníků jsou známy velmi dlouho. Lišejník je asociace mezi houbou a fotosyntetickým symbiontem, jejímž výsledkem je stabilní stélka se specifickou strukturou. Z asi 15-20 tisíc lišejníků jen 8-15% obsahuje sinici jako fotobionta. Většinou se jedná o rody *Nostoc*, *Calothrix*, *Scytonema* a *Fischerella* (Kalina a Váňa, 2005). Sinice se vyskytují ve dvou hlavních typech symbiózy, jeden z nich je extracelulární a druhý intracelulární. Běžným

typem extracelulárního spojení je s houbou. Součástí většiny lišejníků je jediná řasa (fykobiont), tou může být zelená řasa nebo sinice. Téměř všichni symbionti z hub (mykobionti) patří do Ascomycetes, také Basidiomycetes třídy Deuteromycetes mohou vystupovat v symbiotických vztazích s řasami (Ahmadjian a Hale, 1973). Protože je reprodukce mykobionta často pohlavní, kdežto fykobiontů obvykle ne, lišejníky jsou klasifikovány s houbami. V symbióze fykobiont fixuje uhlík ve fotosyntéze a uvolňuje jej jako glukózu, kterou mykobiont přemění v manitol a asimiláty. Řasy v lišejníku svým metabolismem produkují přibližně ze 40% glukózu (Smith et al., 1970). Zatímco prospěch ze spojení s houbami je zřetelný, prospěch z řasy je pravděpodobně limitován ochranou proti vysušení. Intracelulární symbióza zahrnující sinice je obvykle více specializovaná než extracelulární. Není možné kultivovat sinici bez hostitele. Pasher (1914) vytvořil termín cyanela pro vnitrobuněčnou symbiotickou sinici a termín cyanom pro hostitelskou buňku. Cyanely jsou přítomny v různých varietách cyanomů. Specifická varieta je výsledkem mnoha rozdílných symbiotických uspořádání a ne jen výsledkem jediného případu. Jako důkaz vývoje eukaryotických řas endosymbiotickou cestou je považováno oddělení Glaukophyta (Lee, 1999).

### 1.3 Systém sinic

Ve své práci jsem se zaměřila na problematiku ekologie a morfologické variability vláknitých sinic. Významnou složkou společenství sladkovodních sinic je rod *Phormidium*, který se vyznačuje komplikovanou taxonomií. Při určování sinic je nutné dbát na prostudování co největší variability uvnitř populace a vyhnout se identifikaci z jediného vlákna nebo buňky. V poslední době se identifikace druhů řídí morfologickými znaky na koncích vláken. Sledujeme zejména zužování vlákna, šířku vlákna, tvar buněk, přítomnost kalyptry, zesílené buněčné stěny, slizových pochev a zakřivení na zaškrcování na příčných přehrádkách. Rod *Phormidium*, stejně jako ostatní sinice, zahrnuje celou řadu morfologicky podobných typů, lišících se pouze na molekulární úrovni. Takové druhy jsou pak agregátem tzv. skrytých druhů. Jejich přesná identifikace pak působí problémy v biomonitoringu.

#### **Řád: Chroococcales**

Tento řád zahrnuje jednobuněčné sinice, které jsou spojeny slizem v kolonie. Jsou zde zahrnuty rody, jako je například: *Gloethece*, *Microcystis*, *Synochococcus* a *Synechocystis*. Ačkoliv mají tyto organismy podobnou morfologii, studia zahrnující buněčnou fyziologii, složení mastných kyselin a složení DNA bázi ukázala, že je tento řád složený z několika oddělených skupin (Stanier et al., 1971). Jednobuněčné sinice s kulovitými, elipsoidními a vejčitými buň-

kami se rozmnožují příčným dělením v jedné, ve dvou, zřídka i ve třech vzájemně kolmých rovinách. Některé sinice se rozmnožují exocyty. Jiné druhy se rozmnožují beocyty, drobnými buňkami, které vznikají mnohonásobným dělením mateřské buňky (Kalina a Váňa, 2005).

#### **Řád: Oscillatoriales**

Vláknité, nevětvené nebo nepravě větvené sinice bez heterocytů a akinet. Z morfologického hlediska rozlišujeme trichomy jako řadu buněk a vlákno, čímž rozumíme trichom uložený ve slizové pochvě. Při rozmnožování se oddělují fragmenty trichomů, hormogonie. Koncové buňky plně vyvinutých trichomů bývají ukončeny buňkou nesoucí čepičku. Dělení buněk bývá omezeno na určitou oblast vlákna, kterému říkáme meristematická zóna. U některých druhů byl pozorován drkavý pohyb. Klasická metoda třídění řas je podle charakteristiky pochvy, která se bohužel podstatně mění podle přírodních podmínek. U rodu *Leptolyngbya* je pochva samostatná a obsahuje jedno vlákno. *Phormidium* má splynuté pochvy, zatímco *Hydrocoelus* má několik vláken v jedné pochvě (Lee, 1999). Řád původně obsahoval 100 obtížně rozeznatelných rodů. Komárek a Anagnostidis (1988) se zasloužili o revizi a na základě nově definovaného souboru znaků zařadili drkalky do platných rodů (*Planktotrix*, *Limnothrix*, *Leptolyngbya*, *Pseudanabaena* a dalších) přičemž mnoho rodů a druhů se stalo synonymem prostých kombinací (Kalina a Váňa, 2005).

#### **Řád: Nostocales**

Vlákná sinic řádu Nostocales jsou izopolární nebo heteropolární, přímá nebo zprohýbaná. Téměř vždy se tvoří heterocyty, v nichž dochází k fixaci plynného dusíku. Arthrospory (akinety) jsou spory, které zajišťují přezimování druhů. Vlákná jednotlivá nebo v koloniích jsou často uložena ve slizu (Kalina a Váňa, 2005).

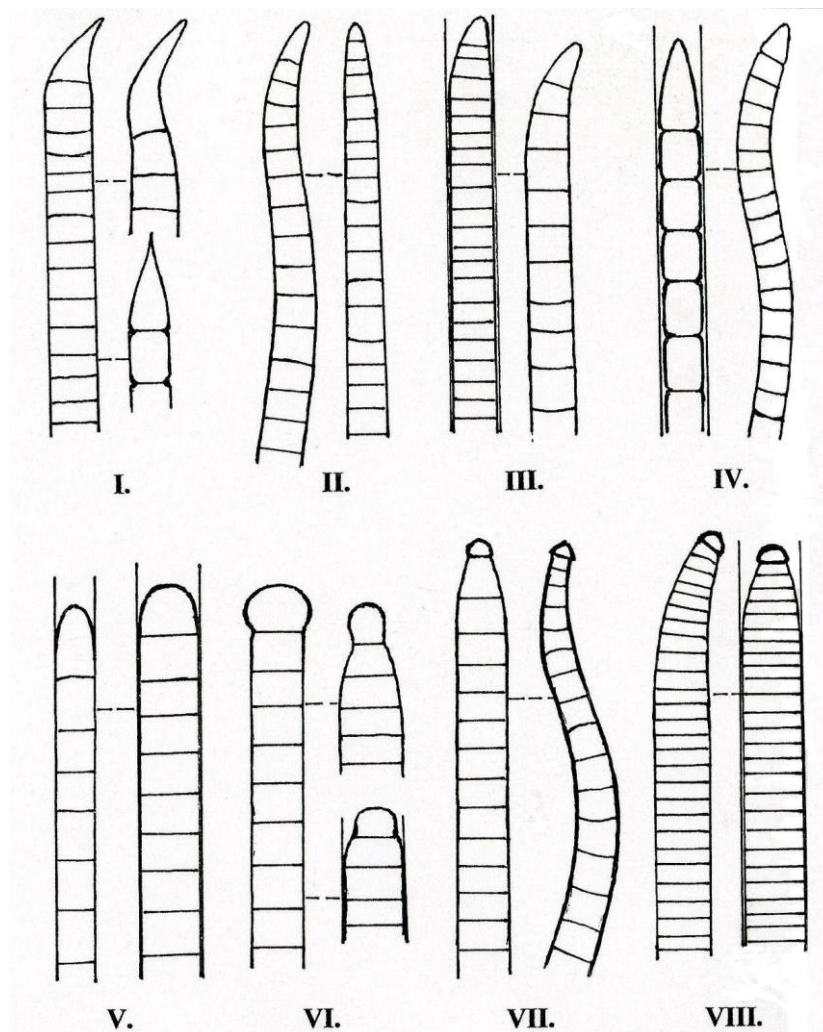
Vláknité sinice s nepravým větvením tvoří značně velkou skupinu v tomto řádu. Reprodukce probíhá pomocí hormoginií. Heterocyty a akinety se vyskytují například u rodu *Nostoc*, *Anabaena* a *Aulosira*. U některých rodů je patrná polarita vláken. To znamená, že mají heterocyty nebo akinety na bázi a bezbarvý vlasovitý výběžek na vrcholu vlákna. Buňky výběžku jsou většinou cylindrické s vakuolózovaným obsahem (Lee, 1999).

#### **Řád: Stigonematales**

Vlákná s jednou nebo několika řadami buněk, s pravým větvením a nahodile rozmístěnými heterocyty. Rozmnožují se hormogoniemi. Vlákná mají slizovité, vrstevnaté pochvy, často hnědavě zbarvené (Kalina a Váňa, 2005).

### 1.3.1 Rod: *Phormidium*

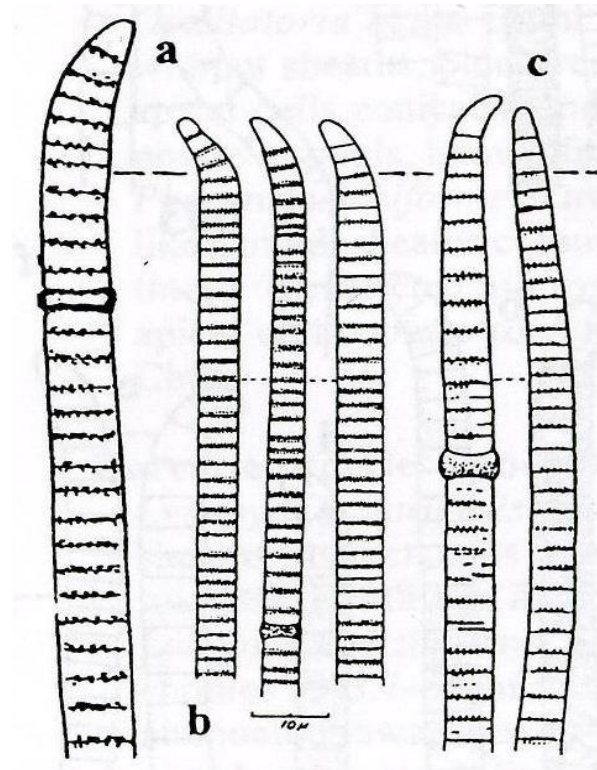
Stélka je obvykle rozšířená, ± jemná, tenká nebo soudržná, rosolovitá, slizovitá, plstnatá skoro jako kůže, kompletně přirostlá k substrátu nebo tvořící částečně volné, zřídka plovoucí masy, shluky, štětičkovité trsy, výjimečně působí jako samostatná vlákna. Vlákna jsou většinou protáhlá, poněkud silněji vlnitá nebo volná, 2,5 – 11 µm široká, nezaškrčená, nebo pouze mírně zaškrčená v křížících se stěnách, zřetelně pohyblivá (také uvnitř obalu; klouzavý, plazivý, mávající, třesoucí se, s nebo bez kmitání či točení). Vlákna mohou být různě zakřivena, nerozvětvená, obvykle zapletená. Pochva se vyskytuje jen občas (za nepříznivých podmínek), pevná nebo tenká, obvykle bezbarvá, přilnutá k vláknu, nevrstevnatá, občas rozdělená nebo úplně chybí (občas zesílená a vrstevnatá). Buňky ± kubické nebo kratší či delší než je jejich šířka, bez aerotopů (shluky plynových měchýřků). Apikální buňky jsou špičaté, zúžené či zakulacené, s nebo bez kalyptry. Thylakoidy ± podélné a paprscitě orientované uvnitř buněk (buněčný obsah se zdá být občas nepravidelně síťovitě nebo podélně rýhovaný). Buňky se dělí příčným dělením, rostou do původní velikost mateřské buňky před dalším dělením. Reprodukce probíhá rozpadem vláken na ± dlouhé či krátké pohyblivé hormogonie, často za pomoci nekrotických buněk (Obr. č. 3) (Komárek a Anagnostidis, 2005).



Obr. č. 3: Klíč k určení *Phormidium* podle apikálních buněk, podle Komárek a Anagnostidis 2005

- I. Vláknó se ke konci zužuje krátce nebo pozvolně; vrcholová buňka špičatá až ostře špičatá, občas zakřivená, bez kalyptry a zesílené buněčné stěny.
- II. Vláknó končí postupným zúžením; vrcholová buňka zřetelně zúžená a zakulacená s kalyptrou.
- III. Vláknó končí krátce zúženě a často oble; vrcholové buňky mírně kuželovitě zúžené, či skoro válečkovité a zakulacené, mají kalyptru či velmi lehce ztloustlou vnější buněčnou stěnu.
- IV. Vlákná směrem ke konci nezužovaná, pouze se zřetelně kuželovitou vrcholovou buňkou, mají kalyptru nebo zesílenou buněčnou stěnu.
- V. Nezužovaná vlákna po celé délce; vrcholové buňky široce zakulacené nebo tupé, mají kalyptru, občas se ztloustlou buněčnou stěnou na vrcholu.

- VI. Vlákna směrem ke konci krátce zúžená; vrcholové buňky ± kulovité.
- VII. Vlákna krátce či postupně zúžená, vrcholové buňky (dobře vyvinuté) s kalyptrami.
- VIII. Vlákna protáhlá s buňkami vždy zřetelně kratšími než je jejich šířka, krátce zúžené (zřídka kdy postupně) směrem ke konci; vrcholové buňky s kalyptrou nebo se ztloustlou buněčnou stěnou (Komárek a Anagnostidis, 2005).



Obr. č. 4: Nekrotické buňky na *Phormidium gardneri*, podle Komárek a Anagnostidis 2005

## 2 Cíle bakalářské práce

Při řešení bakalářské práce jsem si vytýčila následující cíle:

- Vytvořit literární rešerši z biologie sinic
- Zahájit floristický průzkum sinic ve významných krajinných celcích v okolí obce Zvole
- Provést izolaci kmenů sinic pro další laboratorní studium

## 3 Metodika

### 3.1 Sběr vzorků

Sběr vzorků jsem prováděla odebráním části půdy, seškrabáním povrchu kamene pinzetou, odebráním částí vodních rostlin a jiných ponořených předmětů. Kromě vodních lokalit jsem se snažila neodebírat vzorky ze stejných stanovišť. Postupovala jsem proto po různých trasách. Odebrané vzorky jsem maximálně po dvou dnech dovezla do laboratoře katedry botaniky na Přírodovědecké fakultě v Olomouci.

#### 3.1.1 Vápencový lom Vitošov

Na této lokalitě jsem odebírala sinice rostoucí na kamenech, především na vápenci a sinice v půdě (viz. příloha II, obrázek 1). Provedla jsem zde tři odběry v různých měsících na náhodných odběrových místech. První odběr proběhl 6. 4. 2008. V tomto termínu jsem odebrala 12 vzorků, z toho polovina byla z kamene a polovina z půdy. Při odběru jsem postupovala od západní strany svahu kopce k jižní straně. Snažila jsem se odebírat vzorky z oblasti vzdálené přibližně 20 m od těžební části lomového svahu. Další odběr jsem provedla 30. 7. 2008 a odebrala jsem 10 vzorků. Ze vzorků byla opět polovina z kamene a polovina z půdy. Vzorky jsem odebrala pouze ze západní strany svahu. Pohybovala jsem se v oblasti vzdálené až 100 m od svahu lomu. Poslední odběr jsem provedla 12. 10. 2008. Jako při prvním odběru jsem postupovala od západní strany svahu kopce k jižní, ovšem s tou výjimkou, že jsem byla vzdálena přibližně 350 m od lomové části. Provedla jsem odběr 8 vzorků, ze kterých byly tři vzorky z vápence a zbytek z půdy.

#### 3.1.2 Záplavová oblast řeky Moravy

Odebírala jsem nárostové sinice porůstající vodní rostliny, kořeny rostlin, bahnitě dno a další podobné substráty. Provedla jsem opět tři odběry v různých měsících. Vzorky jsem odebírala na předem určených stanovištích. První stanoviště byla asi 11 let stará, přirozeně vzniklá bažina u obce Lukavice (viz. příloha II, obrázek 6). Druhým místem odběru byl splav na řece Moravě v blízkosti obce Lukavice (viz. příloha II, obrázek 5). Třetím místem bylo slepé rameno řeky Moravy mezi obcemi Zvole a Lukavice (viz. příloha II, obrázek 4). Čtvrtým odběrovým místem byla tůňka v potoce u obce Bohuslavice (viz. příloha II, obrázek 7). Pátým stanovištěm bylo slepé rameno řeky Moravy u malé usedlosti Háje u obce Třeštiny (viz. příloha II, obrázek 8). Šestou oblastí bylo jezero patřící do komplexu Moravičanských jezer,



spadající do CHKO Litovelské Pomoraví (viz. příloha II, obrázek 3). Odběry jsem prováděla 13. 5., 26. 8. a 1. 11. 2008. Při posledním odběru jsem ještě náhodně odebrala vzorky z ramene Moravy vytékající z papírny v Lukavici a z potoka u obce Zvole. Dne 15. 8. 2008 jsem dodatečně odebrala tři vzorky z rákosové čističky odpadních vod v obci Zvole.

### 3.1.3 Údolí potoka ve smíšeném lese u obce Zvole

Třetí oblastí bylo údolí potoka ve smíšeném lese (viz. příloha II, obrázek 2). Nárostové sinice jsem odebírala z povrchu různých hornin a z půdy. Tuto oblast jsem navštívila třikrát v různých měsících. Odebírala jsem vzorky z náhodných míst. Při odběru jsem postupovala od obce Zvole směrem k prameni potoka. První vzorky jsem odebrala 4. 6. 2008 v bezprostřední blízkosti potoka. Odebrala jsem 10 vzorků. Z toho byly tři z povrchu kamene a zbytek z vlhké půdy u potoka. Další odběr jsem provedla 18. 9. 2008. Odebrala jsem 8 vzorků z oblasti údolí potoka. Z těchto vzorků byla většina odebraná z půdy, kromě dvou ze ztrouchnivělého kmene stromu a z povrchu cihly. Vzorky jsem neodebírala v blízkosti potoka ale především z lesní cesty a jejího okolí. Poslední odběr jsem provedla 17. 11. 2008. V tomto termínu jsem odebrala 11 vzorků. Dva vzorky byly z povrchu kamene a zbytek z různých typů půd. Tyto vzorky byly od potoka nejvíce vzdálené. Soustředila jsem se především na náhodný odběr půd v lese.

## 3.2 Kultivace vzorků

Získaný přírodní materiál není možné uchovat ve svém přirozeném stavu příliš dlouho. Pro potřeby studia druhové diverzity vláknitých sinic je nezbytné vzorky kultivovat. Následně se studují semikultury a čisté kultury.

Většina druhů sinic dobře roste v živném médiu typu Z (Staub 1961). Toto médium patří mezi univerzální. Při kultivaci jsem připravovala tekuté a pevné médium.

Složení zásobního roztoku na médium Z:

Tekuté médium: $\text{NaNO}_3$	46,7 g / 1000 ml destilované vody
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	5,6 g / 1000 ml destilované vody
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	3,1 g / 1000 ml destilované vody
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2,5 g / 1000 ml destilované vody

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 2,1 g / 1000 ml destilované vody

Dávkování na 1 l média 10 ml zásobního roztoku.

FeEDTA 0,2 ml / 1000 ml média

Mikroelementy 0,08 ml / 1000 ml média

Pevné médium se připravuje na koncentraci agaru 1,5 % (w/w). Na 1 litr média Z se dává 10 ml zásobního roztoku.

Vzorky jsem nejprve předkultivovala v tekutém médiu v Petriho miskách. Po přibližně třech týdnech bylo možné začít sledovat druhovou skladbu vláknitých sinic. Aby nedošlo k úhynu sinic a znehodnocení vzorku, dále jsem vzorky rozočkovávala na agarové médium ve zkumavkách. Při očkování jsem se snažila získat čistou kultivaci bez řas. Při očkování bylo nutné používat sterilní médium, nástroje a zkumavky. Sterilizace se prováděla v autoklávu při teplotě 121°C a tlaku 140 kPa po dobu 20 minut. Očkování jsem prováděla nanášením vláken sinic na tuhý agar v Petriho miskách nebo zkumavkách očkovací jehlou nebo kličkou. Očkovací pomůcky jsem po každém použití sterilizovala žíháním nad plamenem lihového kahanu. Na očkované vzorky jsem uchovávala ve fytotronu, kde byla nastavena teplota 20°C a světelný režim světlo/tma = 18/6 h). Růst kultur jsem průběžně sledovala.

### 3.3 Determinace vzorků

Při determinaci vzorků jsem používala určovací klíče založené na tradičním morfologickém třídění (Geitler 1932, Desikachary 1959, Starmach 1966, Konratěva 1968, Anagnostidis a Komárek 1985, 1988, 1990, Komárek a Anagnostidis 1986, 1989, 1999, 2005).

## 4 Charakteristika lokalit

Studované lokality leží na území v okrese Šumperk (viz. příloha I, mapa 1). V minulosti plošně největší okres v republice se zmenšil zhruba o třetinu po oddělení okresu Jeseník v roce 1996. Východní hranice okresu Šumperk prochází po rozvodí Moravy a Krupé, protíná masív Jeřábu (1002,8 m.n.m.) a sleduje hranici Čech a Moravy po toku Březné, Moravské Sázavy a Ospitského potoka až po Žadlovický les, odkud se stáčí na jih, protíná napříč nivu Moravy jižně od Kostic v nejnižším místě okresu (242 m.n.m.). Odtud pokračuje na sever, protíná Nízký Jeseník, dále sleduje hlavní hřbet Hrubého Jeseníku přes Praděd (1491,3 m.n.m.), Malý Děd (1354,6 m.n.m.) a Červenohorské sedlo (1013 m.n.m.), pokračuje přes Vozku (1377,1 m.n.m.) a údolí Černého potoka jižně od Ostružné ke Travné hoře (1120,4 m.n.m.) v Rychlebských horách na hranici s Polskem (Šafář a kol., 2003).

V geologické stavbě Šumperka převažují metamorfované horniny. Jižní část okresu v okolí Mohelnice je tvořena spodnokarbonskými sedimenty drahanského kulmu. Jedná se hlavně o břidlice, slepence a droby. Tuto část území zaujímá Zábřežská vrchovina s nejvyšším vrcholem Pustina (626,2 m.n.m.) a sníženina Mohelnická brázda podél Moravy vyplněná pliocenními a kvarterními usazeninami s jezery a tůnkami antropogenního původu vzniklým odtěžením říčních sedimentů. Jsou zde zastoupeny nivní půdy, hnědé půdy s podzoly na terasových uloženíích, illimerické a oglejové půdy (Šafář a kol., 2003).

### 4.1 Lokalita vápencový lom Vitošov

Lom Vitošov se nachází v bývalé obci Vitošov, která je dnes součástí obce Hrabová. Leží v nadmořské výšce 265 až 295 m. Nejvyšší vrchol lomu má nadmořskou výšku 454 m. Lokalita se nachází v Úsovské vrchovině, která je součástí Hanušovické vrchoviny. Vitošovské ložisko patří k nejvýznamnějším ložiskům karbonátových hornin na území ČR, a to především díky kvalitním vápencům. Kromě horniny vitošovského vápence se v netěžené části kopce nachází fylit. Vitošov porůstá převážně smíšený les s hojným zastoupením buku lesního (viz. příloha I, mapa 2).

## 4.2 Lokalita záplavová oblast řeky Moravy

Tato lokalita kopíruje tok řeky Moravy. V blízkosti lokality se vyskytují obce: Zvole, Lukavice, Třeština a Moravičany. Lokalita se nachází v Mohelnické brázdě v průměrné nadmořské výšce 260m. Většina z odběrových míst má charakter slepého ramene řeky Moravy. Vyskytují se zde fluviální, převážně písčitohlinité sedimenty. V oblasti Moravičanských jezer jsou přítomny písčité štěrky a sedimenty umělých vodních nádrží.

## 4.3 Lokalita údolí potoka u obce Zvole

Potok protíná kopce Na hlíně s nejvyšší nadmořskou výškou 387 m a Na Vranově s nejvyšším bodem 394 m. Lokalita se nachází u obce Zvole, která leží v Zábřežské vrchovině na soutoku Moravské Sázavy a Moravy v nadmořské výšce 264 m na východním úpatí kopce Na hlíně (viz. příloha I, mapa 3). V údolí potoka se nachází deluviální sedimenty, místy s úlomky hornin. V pramenné části se vyskytují deluviální hlinitopísčité až hlinitokamenité a kamenitopísčité sedimenty. V oblasti silnice mezi Zvolí a Jestřebím je přítomen fylit až svor. V lokalitě roste smíšený les s velkým podílem dubu lesního a smrku ztepilého.

## 4.4 Podnebí oblasti

Podle Talasze (2007) studovaný region náleží do mírně teplé oblasti s průměrnou roční teplotou 8 – 9 °C a srážkami 600 – 650 mm.

Tabulka č. 1: Teplota vzduchu a úhrn srážek

<b>Měsíc</b>	<b>Průměrná měsíční teplota vzduchu</b>	<b>Průměrný měsíční úhrn srážek</b>
Duben:	7 – 8 °C	30 – 40 mm
Květen:	12 – 13 °C	60 – 80 mm
Červen:	15 – 16 °C	60 – 80 mm
Červenec:	15 – 16 °C	60 – 80 mm
Srpen:	16 – 17 °C	60 – 80 mm
Září:	13 – 14 °C	50 – 60 mm
Říjen:	8 – 9 °C	40 – 50 mm

Tabulka č. 2: Globální záření a doba trvání slunečního svitu

<b>Měsíc</b>	<b>Průměrný měsíční úhrn globálního záření</b>	<b>Průměrný měsíční úhrn doby trvání slunečního svitu</b>
Březen:	260 – 280 MJ·m <sup>-2</sup>	110 – 120 hodin
Červen:	560 – 580 MJ·m <sup>-2</sup>	200 – 210 hodin
Září:	320 – 330 MJ·m <sup>-2</sup>	150 – 160 hodin

## 5 Výsledky

Na zkoumaném území v okolí obce Zvole jsem doposud našla 14 druhů vláknitých sinic. Nejčastěji se vyskytovaly druhy: *Nostoc edaphicum*, *Phormidium kuetzingianum*, *Phormidium retzii*, *Phormidium autumnale*, *Gaitlerinema splendidum* (viz. tabulka č. 3). Spolu s těmito druhy se zde vyskytovalo velké množství řas, ty však nebyly předmětem mého studia. Během období mého sběru jsem si všimla změn druhového složení na jednotlivých lokalitách. Největší druhová variabilita byla patrná v měsících duben a květen. Masově se vyskytovaly druhy *Nostoc edaphicum* a *Phormidium kuetzingianum*. V červnu a červenci došlo k největšímu poklesu druhové variability, pravděpodobně díky vysokému slunečnímu záření. Do měsíce září se druhová variabilita mírně zvýšila. V posledních dvou měsících odběru se na území vyskytovaly v malém množství pouze zástupci rodu *Phormidium* a *Leptolyngbya*. V rámci vodních a půdních biotopů byl zjevný výskyt jiných druhů. S výjimkou druhu *Phormidium retzii* a *Phormidium autumnale*, těm k růstu vyhovovala obě prostředí. V závislosti na půdních a horninových typech nebyly patrné žádné odchylky ve výskytu specifických druhů.

Tabulka č. 3: Výskyt jednotlivých druhů na sledovaných lokalitách za rok 2008

<b>lokalita vápencový lom Vitošov</b>	<b>lokalita záplavové oblasti řeky Moravy</b>	<b>lokalita potoka u obce Zvole</b>
<i>Phormidium kuetzingianum</i>	<i>Phormidium retzii</i>	<i>Phormidium kuetzingianum</i>
<i>Nostoc edaphicum</i>	<i>Gaitlerinema splendidum</i>	<i>Phormidium retzii</i>
<i>Phormidium retzii</i>	<i>Leptolyngbya fragilis</i>	<i>Nodularia spumigera</i>
<i>Phormidium autumnale</i>	<i>Pseudanabaena voronichinii</i>	
<i>Gaitlerinema sp.</i>	<i>Planktolyngbya contorta</i>	
	<i>Nostoc kihlmani</i>	
	<i>Lyngbya limnetica</i>	
	<i>Dactylococcopsis elenkinii roll</i>	
	<i>Microcoleus vaginatus</i>	

## 6 Závěr

V průběhu roku 2008 jsem provedla studii zaměřenou na výskyt vláknitých druhů sinic ve vodních a na suchozemských stanovištích v okolí obce Zvole. Odebírala jsem vzorky z vápencového lomu Vitošov v obci Hrabové, ze záplavové oblasti řeky Moravy mezi obcí Zvole a Moravičany a z údolí potoka protékajícího smíšeným lesem u obce Zvole. Zjistila jsem nejčastější výskyt druhů: *Nostoc edaphicum*, *Phormidium kuetzingianum*, *Phormidium retzii*, *Phormidium autumnale*, *Gaitlerinema splendidum*. Z mého výzkumu byly patrné změny v druhovém složení v závislosti na biotických podmínkách spojených s ročním obdobím. V laboratorních podmínkách jsem zahájila studium morfologické variability vláknitých sinic rodu *Phormidium*, ze kterých jsem připravila izoláty do kultur. Ve studiu morfologické variability vláknitých sinic za laboratorních podmínek budu dále pokračovat ve své diplomové práci.

## 7 Použitá literatura

- [1] AHMADJIAN, V. a HALE, M. E. (1973): *The Lichens*. Academic, New York Press.
- [2] ANAGNOSTIDIS, K. a KOMÁREK, J. (1985): Modern approach of the classification system of cyanophytes, 1-Introduction.-Arch. Hydrobiol. Suppl. 71: 291-302.
- [3] ANAGNOSTIDIS, K. a KOMÁREK, J. (1988): Modern approach of the classification system of cyanophytes. 3-Oscillatoriales.-Arch. Hydrobiol. Suppl. 80: 327-472.
- [4] ANAGNOSTIDIS, K. a KOMÁREK, J. (1990): Modern approach of the classification system of cyanophytes. 5-Stigonematales.-Arch. Hydrobiol./Angol.Stud. 59: 1-73.
- [5] ARMENT, A. R. a CARMICHAEL, W. W. (1996): Evidence that microcystin is a thio template product. *J. Phycol.* 32: 691-7.
- [6] ATTRIDGE, E. M. a ROWELL, P. (1997): Growth, heterocyst differentiation and nitrogenase activity in the cyanobacteria *Anabaena variabilis* and *Anabaena cylindrica* in response to molybdenum and vanadium. *New Phytologist* 135: 517-26.
- [7] BALAZS, D. (1977): The geographic distribution of karst areas.-In: FORD, T.D. (ed.) Proceedings of the 7th International Congress, pp.124-149, Sheffield, UK.
- [8] BELL, S. G. a COBY, G. A. (1994): Cyanobacterial toxins and human health. *Rev. Med. Microbiol.* 5: 256-64.
- [9] BERGMAN, B. a CARPENTER, E. J. (1991): Nitrogenase confined to randomly distributed trichomes in the marine cyanobacterium *Trichodesmium thiebautii*. *J. Phycol.* 27: 158-65.
- [10] BERGMAN, B. GALLON, J. R., RAI, A. N., a STAL, L. J. (1997): N<sub>2</sub> fixation by non-heterocystous cyanobacteria. *FEMS Microbiol. Rev.* 19: 139-85.
- [11] BOBBINK, R., HORNING, M. a ROELOFS, J.M. (1998): The effects of air-borne nitrogen pollutantson species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *J Ecol* 86: 717-738.
- [12] BOOTH, W. E. (1941): Algae as Pioneer in plant succession and their importance in erosion control. *Ecology* 22: 38-46.
- [13] CAPONE, D. G., ZEHR, J. P., PAERL, H. W., BERGMAN, B. a CARPENTER, E. J. (1997): *Trichodesmium*, a globally significant marine cyanobacterium. *Science* 275: 1221-9.
- [14] CARMICHAEL, W. W. (1992): Cyanobacteria secondary metabolites – the cyanotoxins. *J. Appl. Bacteriol.* 72: 445-59.



- [15] CMIECH, H. A., LEEDALE, G. F. a REYNOLDS, C. S. (1986): Morphological and ultrastructural variability of planktonic Cyanophyceae in relation to seasonal periodicity. II. *Anabaena solitaria*: vegetative cells, heterocysts, akinetes. *Br. Phycol. J.* 21: 81-92.
- [16] DAVIS, J. S. a RANDS, D. G. (1982): Lime incrusting *Hapalosiphon intricatus* (Cyanophyceae) and phosphate availability in a Florida cave. *Schweiz Z Hydrol* 44: 289-294.
- [17] DESIKACHARY, T. V. (1959): Cyanophyta. –In: I.C.A.R. Monographs on Algae, 686 pp., New Dehli.
- [18] FREDRICKSSON, C. a BERGMAN, B. (1997): Ultrastructural characterization of cells specialized for nitrogen function in a non-heterocystous cyanobacterium, *Trichodesmium* spp. *Protoplazma* 197: 76-85.
- [19] GEITLER, L. (1932): Cyanophyceae. –Radenhorst's Krypt.-F1. 14: 1196 pp.
- [20] GIDINGS, T. H. a STAEHELIN, L. A. (1981): Observation of microplasmodesmata in both heterocyst forming and non-heterocyst forming filamentous cyanobacteria by freeze-fracture electron microscopy. *Arch. Microbiol.* 129: 295-8.
- [21] GOLUBIĆ, S., BRENT, G. a LECAMPION, T. (1970): Scanning electron microscopy of endolithic algae and fungi using a multipurpose casting-embedding technique. *Lethaia* 3: 203-209.
- [22] GRANHAL, U. (1975): Nitrogen fixation by blue-green algae in temperate soils, pp.189-198.-In: Steward, W.D. (ed.) Nitrogen Fixation by Free-living Microorganismus, 189-198. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- [23] CHAUVAT, E., CORRE, B., HERDMAN, M. a JOSEF-ESPARDELLIER, F. (1982): Energetic and metabolic requirements for the germination of akinetes of the cyanobacterium *Nostoc* PCC7524. *Arch. Microbiol.* 133: 44-9.
- [24] CHEN, H. M., CHIEN, C-Y. a HUANG, T-C. (1996): Regulation and molecular structure of a circadian oscillating protein located in the cell membrane of the prokaryote *Synechococcus* RF-1. *Planta* 199: 520-7.
- [25] JENSEN, T. E., CLARK, R. L. (1969): Cell wall and coat of the developing akinete of a *Cylindrospermum* species. *J. Bacteriol.* 97: 1494-5.
- [26] KALINA, T. (1994): Systém a vývoj sinic a řas.-Univerzita Karlova, 165 s.,Praha
- [27] KALINA, T. a VÁŇA, J. (2005): Sinice, řasy, houby, mechorošty a podobné organismi.-Univerzita Karlova, 583 s.,Praha
- [28] KAPUSTKA, L. A. a DUBOIS, J. D. (1987): Dinitrogen fixation by cyanobacteria and associative rhizosphere bacteria in the Arapaho prairie in the sand hills of Nebraska. *Am. J. Bot.* 74: 107-13.

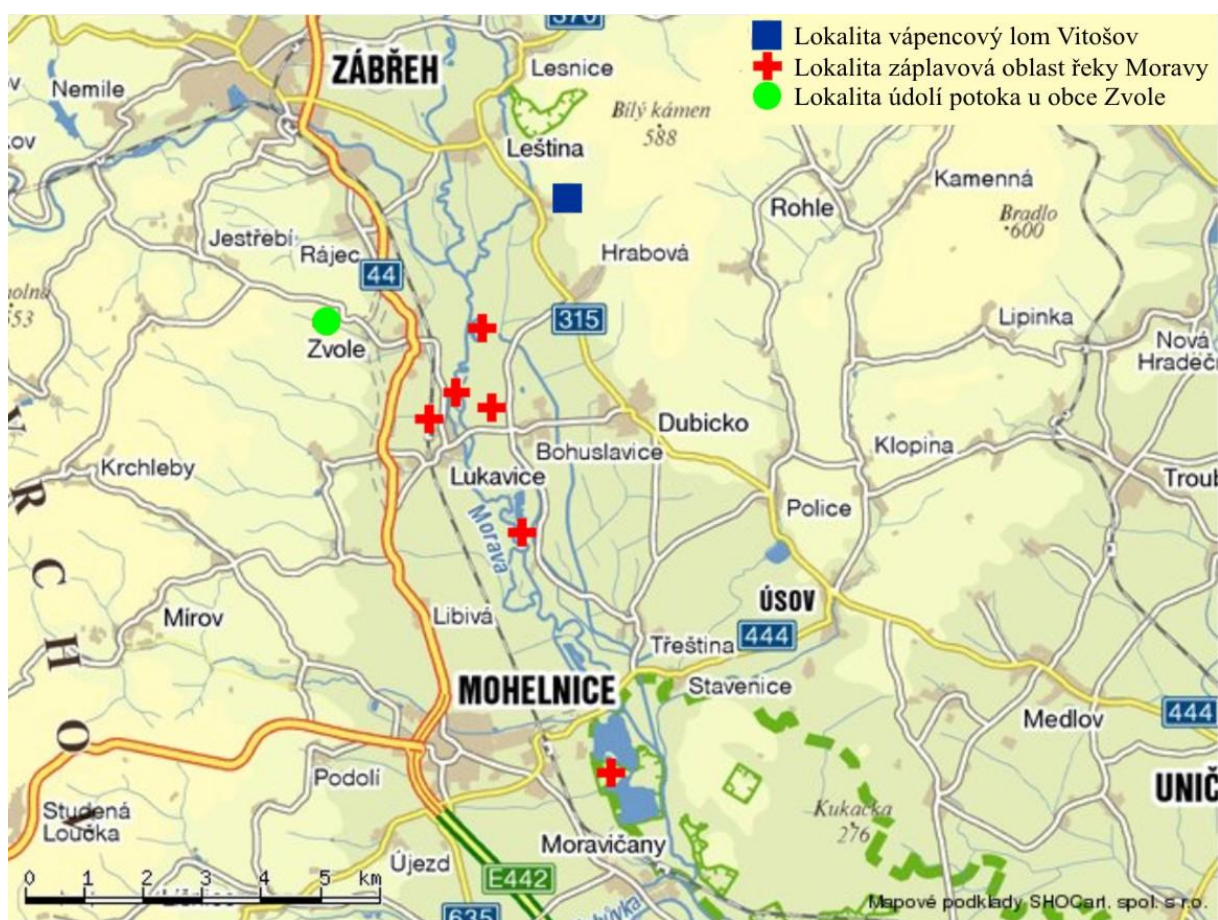
- [29] KOMÁREK, J. a ANAGNOSTIDIS, K. (1986): Modern approach to the classification systém of cyanophytes 2. Chroococcales. – Arch. Hydrobiol./Algological Studies 43: 157-226.
- [30] KOMÁREK, J. a ANAGNOSTIDIS, K. (1989): Modern approach to the classification systém of cyanophytes 4. Nostocales. –Arch. Hydrobiol./Algological Studies 56: 247-345.
- [31] KOMÁREK, J. a ANAGNOSTIDIS, K. (1999): Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales.-In: Ettl, H., Gärtner, G., Heynig, H. a Mollenhauer, D. (eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1, G. Fischer Verlag Stuttgart, 548 pp.
- [32] KOMÁREK, J. a ANAGNOSTIDIS, K. (2005): Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillarioales.-In: Büdel, B., Gärtner, G., Krinitz, L. a Schagerl, M. (eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2, Elsevier München, 759 pp.
- [33] KONRATĚVA, N. V. (1968): Cyanophyta.-In: Vozn.prisnov.vodorost. Ukr. RSR 1,2, Naukova dumka, Kiev, 524 pp.
- [34] KOTAK, B. G., LAM, A. K-Y., PREPAS, E. E., KENEFICK, S. L. a HURNEY, S. E. (1995): Variability of the hepatotoxin microcystin-LR in hypertrophic drinking water lakes. *J. Phycol.* 31: 248-63.
- [35] KULASOORIYA, S. A., LANG, N. J. a FAY, P. (1972): The heterocysts of blue-green algae. III. Differentiation and nitrogenase activity. *Proc. R. Soc. Lond. [B]* 181: 199-209.
- [36] LEE, R. E. (1999): The prokaryotic Algae. –In: LEE, R. E. (ed.) Phycology, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 67-112.
- [37] LI, D-M. a QI, Y-Z. (1997): *Spirulina* industry in China: Present status and future prospects. *J. Appl. Phycol.* 9: 25-8.
- [38] MITSUI, A., KUMAZAWA, S., TAKASHI, A., IKEMOTO, H., CAO, S. a ARAI, T. (1986): Strategy by which nitrogen-fixing unicellular cyanobacteria grow photoautotrophically. *Nature* 323: 720-2.
- [39] NEGRI, A. P., JONES, G. J., BLACKBURN, S. I., OSHIMA, Y. a HIDEYUKI, O. (1997): Effect of culture bloom development and of sample storage on paralytic shellfish poisons in the cyanobacterium *Anabaena circinalis*. *J. Phycol.* 33: 26-35.
- [40] PASCHER, A. (1914): Über Symbiosen von Spaltpilzen und Flagellaten mit Blaualgen. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* 32: 339-52.
- [41] PENTECOST, A. a WHITTON, B.A. (2001): Limestones. –In: WHITTON, B.A a POTTS, M. (eds): The ecology of cyanobacteria .-pp.257-279, Kluwer academic publishers, Dordrecht.
- [42] POTTS, M. (1994).Desiccation tolerance of procaryotes.-*Microbiol Rev* 58: 755-805.
- [43] POTTS, M., ANGELONI, S. V., EBEL, R. E. a BASSAM, D. (1992): Myoglobin in a cyanobacterium. *Science* 256: 1690-2.

- [44] RINEHART, K. L., NAMIKOSHI, M. a CHOI, B. W. (1994): Structure and biosynthesis of toxins from blue-green algae (cyanobacteria). *J. Appl. Phycol.* 6: 159-76.
- [45] SMITH, D. C., MUSCATINE, L. a LEWIS, D. (1970): Carbohydrate movement from autotrophs to heterotrophs in parasitic and mutualistic symbiosis. *Biol. Rev.* 44: 17-90.
- [46] SMITH, R.J. a WILKINS, A. (1988): A correlation between intracellular calcium and incident radiation in Hostic 6720. *New Phytol* 109: 157-162.
- [47] SOMERS, G. F. a BROWN, M. (1978): The affinity of trichomes of blue-green algae for calcium ions. *Estuaries* 1: 17-28.
- [48] STANIER, R. Y. (1973): Autotrophy and heterotrophy in unicellular blue-green algae.-In: *The Biology of the Blue-Green Algae* ed. N. G. CARR a B. A. WHITTON, pp. 501-18. Berkeley: Univ. Calif. Press.
- [49] STANIER, R. Y., KUNISAWA, R., MANDEL, M. a COHEN-BAZIRE, G. (1971): Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chroococcales). *Bacteriol. Rev.* 35: 171-205.
- [50] STAUB, R. (1961): Ernahrungshysillogische Untersuchungen an der planktonischen Blaualge *Oscillatoria rubescens* DC.- *Schweiz.Z.Hydrol.* 23: 82-198.
- [51] STARMACH, K. (1966): Flora sladkowodna Polski 2. Cyanophyta.- PAN, Warszawa, 2:753 pp.
- [52] ŠAFÁŘ, J. a kol. (2003): Olomoucko, Chráněná území ČR, -Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a Eko Centrum Brno, 456 s., Praha.
- [53] TALASZ, R. a kol. (2007): Atlas podnebí česka. -Český hydrometeorologický ústav, 255 s., Praha
- [54] TUCKER, M. E. a WRIGHT, V. P. (1990): Carbonate Sedimentology. Blackwell, London.
- [55] VAN DOK, W. a HART, B. T. (1995): Akinete differentiation in *Anabaena circinalis* (Cyanophyta). *J. Phycol.* 32 :557-65.
- [56] WILDMAN, R. B., LOESCHER, J. H. a WINGER, C. L. (1975): Development and germination of akinetes of *Aphanizomenon flos-aquae*. *J Phycol.* 11: 96-104.

## 8 Přílohy

### **Seznam příloh:**

- Příloha I.:    Mapa 1: Poloha studovaných lokalit
- Mapa 2: Lokalita vápencový lom Vitošov
- Mapa 3: Lokalita údolí potoka u obce Zvole
- Příloha II.:    Obrázek 1: Lom Vitošov
- Obrázek 2: Údolí potoka u obce Zvole
- Obrázek 3: Moravičanské jezero
- Obrázek 4: Slepé rameno řeky Moravy mezi obcí Zvole a Lukavice
- Obrázek 5: Splav na řece Moravě
- Obrázek 6: Bažina u obce Lukavice
- Obrázek 7: Tůňka v potoce u obce Bohuslavice
- Obrázek 8: Slepé rameno řeky Moravy u Háje



Mapa 1: Poloha studovaných lokalit

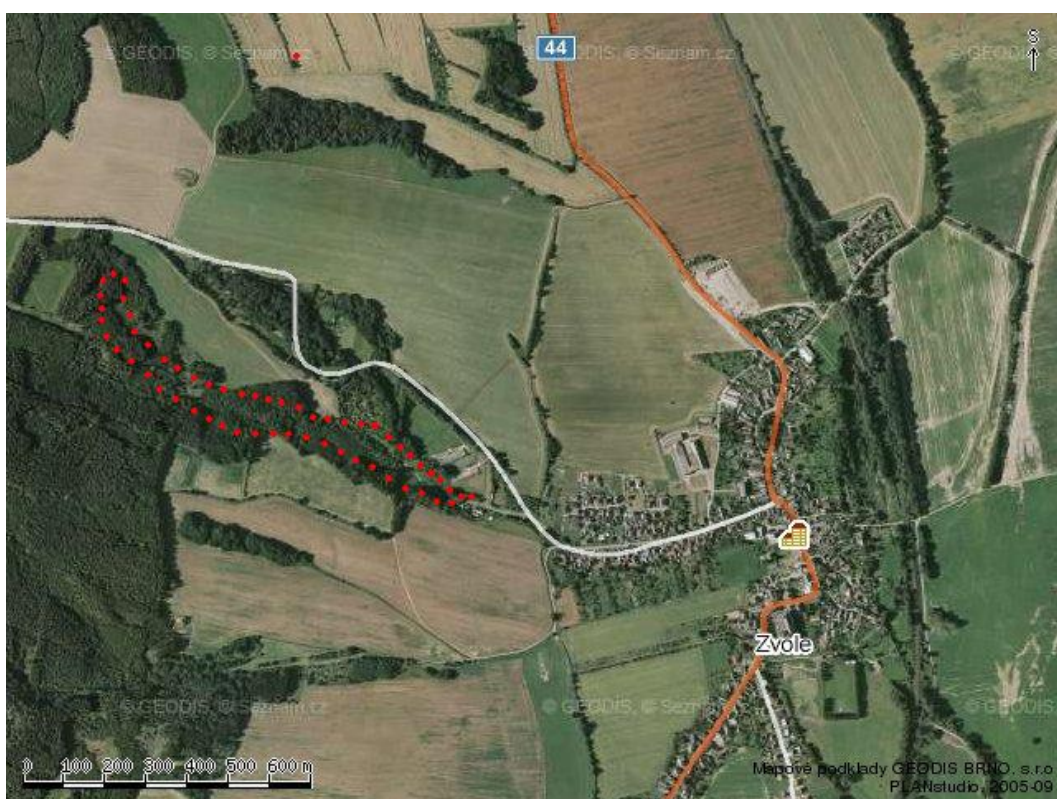
Zdroj: <http://www.mapy.cz/#mm=ZP@x=138584064@y=134983680@z=9>





Mapa 2: Lokalita vápencový lom Vitošov

Zdroj: <http://www.mapy.cz/#mm=FP@x=138879872@y=135202944@z=13>



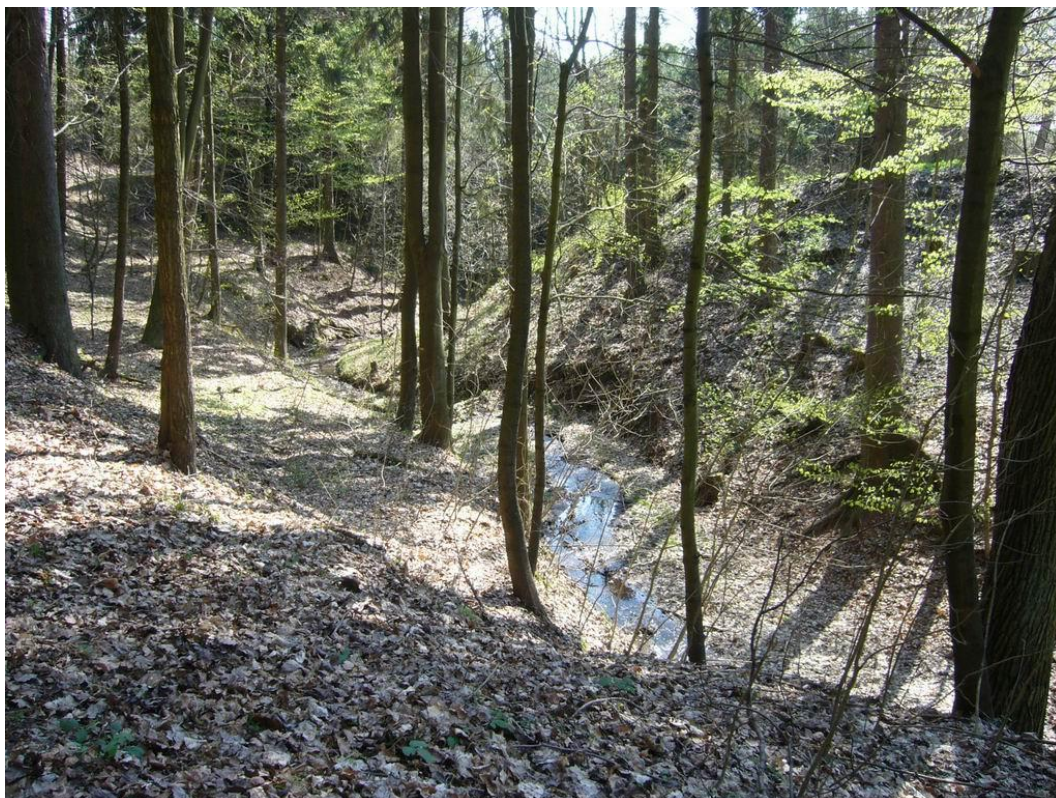
Mapa 3: Lokalita údolí potoka u obce Zvole

Zdroj: <http://www.mapy.cz/#mm=FP@x=138785408@y=135120640@z=13>





Obrázek 1: Lom Vitošov  
*Autor: Lucie Krausová*



Obrázek 2: Údolí potoka u obce Zvole  
*Autor: Lucie Krausová*





Obrázek 3: Moravičanské jezero  
*Autor: Lucie Krausová*



Obrázek 4: Slepé rameno řeky Moravy mezi obcí Zvole a Lukavice  
*Autor: Lucie Krausová*





Obrázek 5: Splavě na řece Moravě  
*Autor: Lucie Krausová*



Obrázek 6: Bažina u obce Lukavice  
*Autor: Lucie Krausová*





Obrázek 7: Tůňka v potoce u obce Bohuslavice  
*Autor: Lucie Krausová*



Obrázek 8: Slepé rameno řeky Moravy u Háje  
*Autor: Lucie Krausová*