

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI**

**Přírodovědecká fakulta**

**Katedra botaniky**

**Algologický průzkum jeskyně Šipka**

Bakalářská práce

**Eliška Obrková**

Studijní program: B1501 – Biologie

Studijní obor: Biologie – Geografie

Forma studia: Prezenční

**Olomouc 2019**

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

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím zdrojů uvedených v seznamu literatury a rad udělených vedoucím mé práce doc. RNDr. Petrem Hašlerem, Ph.D.

V Olomouci dne .....

.....

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala panu doc. RNDr. Petru Hašlerovi, Ph.D. za vedení mé práce, cenné rady a odbornou pomoc při determinaci sinic.

## **Bibliografická identifikace:**

Jméno a příjmení autora: Eliška Obrková

Název práce: Algologický průzkum jeskyně Šipka

Typ práce: Bakalářská práce

Pracoviště: Katedra botaniky PřF UP

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

Rok obhajoby práce: 2019

Abstrakt:

Sinice jsou všudypřítomné a tvoří velmi důležitou část životního prostředí. Jsou fixátory vzdušného dusíku, indikátory znečištění a také mohou sloužit jako potrava pro živočichy. V mé práci jsem se zabývala studiem sinic a to zejména aerofytických, tedy zástupců vyskytujících se mimo vodní prostředí. Velkou roli v teoretické části práce sehrály vápence, které jsou jedním z nejběžnějších terestrických podkladů obývaných sinicemi. Vápence jsou obecně charakteristické velmi rozmanitými vlastnostmi, zahrnující hlavně krasovění, a mohou se zde vyskytovat jen ty nejodolnější organismy, ke kterým se řadí sinice. Sinice dobře snášejí vysychání, pokrývají povrch vápence, a mohou pronikat i do jeho vnitřních vrstev. Lokalitu mého průzkumu představovala jeskyně Šipka ve Štramberku. Tato krasová jeskyně byla vyhlášena Národní přírodní památkou a jeden z důvodů ochrany představují geomorfologicky velmi specifické skalní vápencové útvary, tvořené jurským Štramberským vápencem, obývané převážně vápnomilnými organismy.

Klíčová slova: sinice, jeskyně, Štramberk, vápence

Počet stran: 27

Počet příloh: 4

Jazyk: Čeština

## **Bibliographical identification:**

Author's first name and surname: Eliška Obrková

Title: Phycological exploration of the Šipka cave

Type of thesis: Bachelor

Department: Department of Botany PřF UP

Supervisor: doc. RNDr. Petr Hašler, Ph.D.

The year of presentation: 2019

Abstract:

Cyanobacteria are omnipresent and enable of creating a very important part of the environment. They are fixators of N<sub>2</sub>, indicators of pollution and they may also serve as food for animals. In my thesis I occupy the study of cyanobacteria, especially aerophytic, i.e. those species living outside the aquatic environment. A great role in the theoretical part of the thesis represented the limestones, which are one of the most common terrestrial substrates inhabited by cyanobacteria. Limestones are generally characterized by very diverse properties, mainly due to the karstification, and only the most resistant organisms are capable of living there, to which cyanobacteria belong. Cyanobacteria tolerate desiccation, they cover the surface of limestone, and can penetrate into its inner layers. The area of my survey represents the Šipka cave in Štramberk. This karst cave was declared a National Natural Monument and one of the reasons for its protection is the geomorphologically very specific rock limestone formations, formed by Jurassic Štramberk limestone, inhabited mainly by calcareous organisms.

Keywords: cyanobacteria, cave, Štramberk, limestones

Number of pages: 27

Number of appendices: 4

Language: Czech

## Obsah

Úvod.....	1
1. Úvod o sinicích .....	2
1.1 Stavba buňky .....	2
1.1.1 Stélky .....	4
1.1.2 Rozmnožování.....	5
1.2 Ekologie sinic .....	5
1.2.1 Sinice na skalách a vápencových podkladech.....	7
1.3 Základní charakteristika a taxonomie sinic .....	9
2. Cíle práce .....	11
3. Metodika práce.....	12
3.1 Charakteristika studované lokality – Štramberk.....	12
3.1.1 Geomorfologie.....	12
3.1.2 Fauna a flora.....	12
3.1.3 Popis jeskyně Šipka .....	13
3.2 Sběr vzorků v terénu.....	13
3.3 Práce se vzorky v laboratoři.....	14
4. Výsledky .....	15
4.1 Charakteristika nalezených druhů .....	15
5. Didaktický rozbor.....	17
6. Diskuze .....	18
7. Závěr.....	20
8. Seznam literatury .....	21
9. Přílohy .....	27

## Úvod

Sinice jsou všudypřítomnými organismy, obývající jak vodní, tak i terestrické prostředí. Svou přítomností mají značný vliv na životní prostředí jako primární producenti spolu se zelenými řasami.

V praktické části mé bakalářské práce jsem se zabývala sinicemi aerofytickými obývající skály a vápencové podklady. Lokalitou mého výzkumu byla jeskyně Šipka ve Štramberku. Tato jeskyně dosud nebyla algologicky prozkoumána, tudíž je má práce první, která slouží také jako přehled druhů aerofytických sinic vyskytujících se v jeskyni Šipce.

## 1. Úvod o sinicích

Sinice jsou velmi drobné fotosyntetizující prokaryotické organismy, nacházející se jak ve vodním, tak i v terestrickém prostředí (Komárek a Anagnostidis 1988).

Sinice jsou evolučně velmi staré, ale přesný počátek jejich výskytu na Zemi stále nebyl určen. Podle starých fosilních nálezů lze tvrdit, že předchůdci se na Zemi mohli vyskytovat už před 3,5 miliardami let (Atia a Awatef 2014). Ovšem největší rozmanitosti, pravděpodobně dosáhly už před 2 miliardami let (Vincent 2009). Sinice patří mezi nedůležitější organismy, které se podílely na vývoji aerobního prostředí na Zemi v prekambriu. Jsou také první organismy, u kterých se vyvinula oxygenní fotosyntéza dnešního typu. Endosymbiózou s hostitelskými organismy ze sinic vznikla organela chloroplast, která je zásadní buněčnou strukturou všech fotosynteticky aktivních řas a rostlin (Schirromeister a kol. 2015).

Přesný počet sinic stále není znám. K roku 2013 bylo popsáno 2698 druhů, a každým rokem přibývají stále nové druhy. Celkové množství druhů se odhaduje na 6280, takže mnoho druhů stále není popsáno (Nabout a kol. 2013).

### 1.1 Stavba buňky

Sinice na rozdíl od eukaryotních buněk nemají buněčné jádro, a buněčné organely, jako jsou chloroplasty, mitochondrie a diktyozomy. Rovněž nemají ani mikrotubuly, cytoskelet a žádný druh bičků. Stélky sinic jsou buď jednobuněčné, nebo vláknité. V obou případech mohou žít jednotlivě, nebo tvořit kolonie.

Sinice patří mezi gramnegativní bakterie, což znamená, že buněčná stěna svým složením znemožňuje barvení protoplastu podle K. Gramma (Kalina a Váňa 2005). Buněčná stěna sinic je vícevrstevná. Celkem se skládá ze čtyř vrstev. Na samém povrchu stěny se nachází vrstva slizu, většinou vrstevnatého, který může být i intenzivně zbarven, což je důsledek přítomnosti různých pigmentů (Kaštovský a kol. 2003). Slizový obal je složen z lipopolysacharidů. Tato vrstva má fibrilární strukturu a bývá vyvinuta v různé míře. Další složkou buněčné stěny je dvojice lipoproteinových membrán, vnější a vnitřní membrána. Mezi membránami se nachází pevná buněčná stěna, která je tvořena peptidoglykany mureinem a kyselinou diaminopimelovou. V buněčné stěně se nacházejí transportní kanály. Jedny z nich jsou pasivní kanály, které obsahují protein porin a další jsou porinové kanály.

Tyto kanály umožňují difúzi iontů a malých molekul. Difúzi pomalu penetrujících látek zajišťují kanály se specifickými vazebnými místy (Kalina a Váňa 2005).

Pod povrchem stěny se nachází plazmatická membrána. Stejně jako u všech buněk umožňuje aktivní transport iontů a exkreci látek, ale také zahajuje oddělování dceřiných protoplastů při dělení. Plazmatická membrána je rovněž sídlem dýchacích enzymů v buňce (Kaštovský a kol. 2003).

V buňkách sinic lze také rozlišit povrchovou, výrazněji zbarvenou chromatoplazmu, ve které se nacházejí tylakoidy, často také nazývané fotosyntetické membrány. Tylakoidy jsou zploštělé váčky, které jsou od sebe odděleny mezerou asi 60 – 70 nm (Stanier 1988). Jsou uloženy v periferní plasmě nebo také prorůstají celým protoplastem a obsahují fotosyntetický aparát. V tylakoidech jsou umístěny proteinové komplexy fotosystému I a fotosystému II, kde se světelná energie mění v energii chemickou (Kalina a Váňa 2005). Tylakoid tvoří dvojitá membrána, která je zásadní strukturou pro průběh fotosyntézy, protože obsahuje chlorofyly  $\alpha$  a  $\beta$ , karoteny, karotenoidy a elektrotransportní řetězec (Stanier 1988). Na povrchu dvojité membrány tylakoidů se také nachází fykobilizomy, které představují hlavní sběrnou anténu fotosyntetického aparátu sinic. Ta umožňuje využít pro fotosyntézu světlo různé vlnové délky.

Ve světlejší středové části buňky, centroplasmě, převládá cytoplazma, molekula DNA, ribozomy a další plazmatické struktury. Molekula DNA je uspořádána v četných smyčkách připevněných k plazmatické membráně. V jedné buňce může být i několik molekul DNA, což závisí na stupni ploidie, která je u sinic poměrně běžným jevem (Kalina a Váňa 2005).

Sinice mají několik struktur, které jsou specifické jen pro ně. Jedny z nich jsou aerotopy. Jsou to válcovitá tělíska ve tvaru mnohostěnu. V buňce jich většinou bývá přítomno větší množství. Jejich stěna je složena z glykoproteinů a je propustná pro všechny plyny rozpuštěné ve vodě. Směs těchto plynů uvnitř aerotopů potom sinice nadlehčuje (Kaštovský a kol. 2003). Aerotopy umožňují sinicím v letním období vytvářet na hladině „vodní květ“ (Pouličková a kol. 2015). Další specializované struktury jsou heterocyty a akinety, které se vytváří metamorfózou vegetativních buněk. Heterocyty jsou tlustostěnné buňky, větší nebo stejně velké jako buňky vegetativní (Kaštovský a kol. 2003). Jejich velikost se však liší v závislosti na konkrétním druhu (Adams a Carr 1981). Většina druhů sinic (např. *Anabaena*, *Nostoc*, *Scytonema*) využívají heterocyty k fixaci vzdušného dusíku, při čemž vyžadují nízkou hladinu kyslíku a vysoké ATP (Bradley 1983). Tyto buňky se sestávají ze tří vrstev - uvnitř se

nachází laminární vrstva tvořená glykolipidy, prostřední je homogenní vrstva z polysacharidů a na povrchu je vrstva vláknitá obsahující stejné polysacharidy (Adams a Duggan 1999). Akinety, také nazývané arthrospory, bývají ještě větší než heterocyty a jejich stěny mají podobné složení (Kaštovský a kol. 2003) – obsahují podobné podíly glukózy, manózy, galaktózy a xylózy, což jsou hlavní komponenty cukru, ale jejich vrstvy mají podstatně více aminosloučenin, než vrstvy heterocytů (Adams a Carr 1981). Tyto buňky mají vysokou odolnost vůči nízkým teplotám a suchu (Adams a Duggan 1999) a tudíž slouží k přežití v nepříznivých podmínkách. Je známo, že akinety rodu *Nostoc* přežily usušené v herbáři životaschopné po dobu 86 let (Kaštovský a kol. 2003).

### 1.1.1 Stélky

Evolučně nejstarší jsou pravděpodobně jednobuněčné sinice se stélkou kokální, které žijí buď jednotlivě, nebo tvoří různé typy kolonií (Šejnohová a Maršálek 2005). Tyto druhy sinic rovněž mívají nápadné slizové obaly, které v některých případech mohou mít vrstevnatou strukturu a mohou být i výrazně zbarveny pigmenty, jako jsou např. scytonemin nebo gloeocapsin (Kalina a Váňa 2005). Zmíněné dva pigmenty poskytují sinicím ochranu proti UV záření (100 – 400 nm) a fotosynteticky aktivnímu záření (400 – 700 nm). Gloeocapsin je modře nebo červeně zbarvený pigment, rozpustný v tucích, který je pojmenován po rodu *Gloeocapsa* Kützing, ve kterém byla prokázána jeho přítomnost. Scytonemin je žlutohnědý pigment, který dostal svůj název na základě jeho přítomnosti v rodu *Scytonema* Agardh (Strome a kol. 2015).

Dělení buněk u jednobuněčných sinic začíná, stejně jako u ostatních sinic, tvorbou příčné přehrádky. Tato přehrádka vrůstá po celém obvodu buňky ve směru od obvodu do středu buňky. V první fázi dělení, vrůstá pouze vnitřní plazmatická membrána, pak se připojí i další vrstvy buněčné stěny, ale slizový obal se dělení neúčastní. V jednoduchém případě se buňky dělí na dvě stejné dceřiné buňky (*Aphanothece*) a u jiných rodů probíhá dělení ve dvou nebo třech vzájemně kolmých rovinách (Kalina a Váňa 2005). Takto vznikají kolonie obaleny slizem, které se ještě dělí na pravidelné (*Merismopedia*) a nepravidelné (*Microcystis*).

Odvozenější jsou vláknité typy stélek (Kaštovský a kol. 2003), u kterých rozlišujeme trichom jako řadu vegetativních buněk a slizovou pochvu, která jej kryje a dohromady tvoří vlákno. Slizová pochva se skládá z vláknité a amorfni části, které se mohou vrstvit. Příležitostně je pochva zbarvena pigmenty, nejčastěji žlutohnědými (Kalina a Váňa 2005). Vlákna jsou buď přímá, nebo různě spirálovitě stočená (Šejnohová a Maršálek 2005). Růst

vláken probíhá dělením buněk a má podobný průběh jako u jednobuněčných sinic (Kalina a Váňa 2005). Některá vlákna se mohou větvit, přičemž typ větvení má taxonomický význam. Existují dva typy větvení, pravé a nepravé. U nepravého typu dochází k větvení v místě, kde se vlákno přerušilo a vznikající větve pak není kolmá ke staršímu vláknu (*Petalonema*). Pravé větvení je vývojově pokročilejší a dochází zde ke změně roviny dělení u jedné vegetativní buňky a vzniká nové boční vlákno kolmé k mateřskému (*Hapalosiphon*) (Šejnohová a Maršálek 2005).

### **1.1.2 Rozmnožování**

Rozmnožování sinic je pouze nepohlavní. Dělení buněk probíhá zaškrcováním plazmatické membrány. Některé sinice se dělí asymetricky (*Chamaesiphon*), při čemž se na konci stélky vytvoří větší počet exospor (Kaštovský a kol. 2003), které se uvolňují po protržení apikální části buněčné stěny. Vlákňité sinice se zase rozmnožují hormogoniemi, což jsou různé dlouhé úseky, které se oddělují a zase dorůstají do velikosti původního vlákna (Kalina a Váňa 2005).

## **1.2 Ekologie sinic**

Sinice jsou všudypřítomné. Vyskytují se ve sladkovodním i mořském planktonu, v nárostech, v půdě, na stěnách jeskyní a skal a také uvnitř kamenů. Nacházejí se také na extrémních lokalitách, kromě velmi kyselých oblastí (Kaštovský a kol. 2003). Přítomnost sinic byla prokázána ve velmi chladných arktických a antarktických stanovištích, stejně tak i v extrémně horkých místech jako je například Yellowstone National Park anebo v sopečném skle na Islandu (Gaysina a kol. 2018). Mezi další extrémní biotopy s výskytem sinic patří například termální prameny, minerální prameny a katakomby (Pouličková a kol. 2015).

Vodní sinice se rozdělují do dvou základních ekologických skupin. Jsou planktonní sinice, které volně plují ve vodním sloupci, a bentické sinice, které jsou připevněny na ponořených podkladech, jako například sedimentech, kamenech a vodních rostlinách (Gaysina a kol. 2018).

Přítomnost planktonních sinic ve vodě už dlouho představuje velký problém. 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 (Kalina a Váňa 2005). Jejich čištění a kontrolování přítomnosti sinic je podstatné v celosvětovém měřítku, hlavně v tropických a subtropických oblastech. Závady vody, které sinice způsobují, jsou

změna barvy, zápachu, chuti a některé druhy jsou dokonce toxické a představují vážné zdravotní problémy po konzumaci (Atia a Awatef 2014).

Při přemnožení určité skupiny sinic vznikne na hladině vodní květ. Pohyb sinic na hladinu vody je umožněn již zmíněnými aerotopy. Společenstvo vodního květu tvoří například druhy rodu *Microcystis*, *Anabaena* a *Planktothrix* (Kalina a Váňa 2005). Sinice obsahují chlorofyl  $\alpha$ , což je hlavní pigment využívaný pro absorpci a vedení fotosyntézy. Mezi další pigmenty patří phycobiliproteiny, které zahrnují modrý alophycocyanin, modrý phycocyanin a červený fykoerytrin. Tyto pigmenty absorbují světlo v zelené, žluté a oranžové části spektra (500 – 650 nm). Phycobiliproteiny společně s chlorofylem  $\alpha$  umožňují sinicím efektivně absorbovat světelnou energii. Většina druhů sinic jsou citlivé na vysokou intenzitou světla po delší dobu. Dlouhé expozice vysokým intenzitám světla mohou být i smrtelné. Ovšem, pokud jsou vysokým intenzitám vystaveny přerušovaně, sinice rostou maximální rychlostí. Druhy, které tvoří povrchové vodní květy, mívají vyšší toleranci vůči vysokým světelným intenzitám (Mur a kol. 1999).

Sinice vyskytující se mimo vodní prostředí se nazývají aerofytické. Ty přijímají vodu pouze ve formě deště nebo mlhy a často se vyskytují například na skalách (Komárek a Anagnostidis 1999). Aerofytické sinice osidlují různé typy půd ve velkém měřítku, a to pod i nad povrchem. Někdy hrají i důležitou roli v některých periodicky vlhkých oblastech, jako jsou například rýžové pole (Whitton 2000). Technika využívající mikroorganismy fixující vzdušný dusík v rýžových polích se datuje až do jedenáctého století v Asii. Heterosporická kapradina *Azolla* ve spojení se sinicí *Anabaenou* zde slouží jako zelené hnojivo pro pěstování rýže (Pierre-Armand 2001). Sinice jsou známy svými symbiotickými vztahy s velkou škálou hostitelů, jako jsou vyšší rostliny, houby a také protisti. V tomto vztahu slouží cyanobiont k fixaci vzdušného dusíku a umožňuje tak hostitelům obývat prostředí chudé na dusík. Cyanobionti jsou také schopni dodávat uhlík nefotosyntetizujícím hostitelům. Konkrétním příkladem je houba *Geosiphon pyriformis*, která žije v symbiotickém vztahu se sinicí rodu *Nostoc* (Adams a kol. 2012).

Sinice rostoucí pod nebo na půdě jsou ovlivňovány řadou environmentálních faktorů, jako je vlhkost, teplota a textura půdy, pH, přítomnost rozpustných solí v půdě, výživnost půdy a biotické interakce (Gaysina a kol. 2018). Růst sinic na horninách je z velké míry závislý na hodnotě pH. Jak již bylo prokázáno, sinice upřednostňují spíše alkalické prostředí a jejich vývoj bývá zpomalen na substrátech s nízkým pH (Goméz a kol. 2003). Vyšší rostliny

také svou přítomností ovlivňují existenci sinic, hlavně v závislosti na místě výskytu (Gaysina a kol. 2018).

### **1.2.1 Sinice na skalách a vápencových podkladech**

Jako první byly terestrické sinice popsány Petersenem, narozeným v roce 1915, který jako první použil termín „aerial“ (vzdušné), a definoval je jako řasy získávající většinu vody z atmosféry, s nutností podstupovat časté vysychání v normálním vegetativním stavu (Pentecost a Whitton 2012).

Terestrické sinice vyskytující se na skalách a kamenných podkladech představují důležitou, ale stále nedostatečně zastoupenou část globální biodiverzity, i navzdory jejich významnosti pro životní prostředí. Mikrobiální biofilmy, včetně těch, které jsou tvořeny sinicemi, hrají zásadní roli v posloupnosti na skalních stanovištích, a to z důvodu jejich jedinečné schopnosti měnit biotop (Hauer a kol. 2015).

Aerofytické sinice lze nalézt na různých horninách a minerálech, včetně těch přírodních i antropogenních. Jedná se například o pískovec, žulu, vápenec, dolomit, beton, maltu, cihly a mnoho dalších (Hirsch a kol. 1995). Sinice obecně tvoří mohutnější biomasou s větším počtem taxonů na vápencích, než na jiných podkladech (Pentecost a Whitton 2012). Kalcifytní prostředí obývané sinicemi zahrnuje pouštní skály, útesy v suchých i vlhkých oblastech, různé struktury vzniklé erozí, zaplavené vápence jezer, řek a potoků a jsou i mořské příklady v přílivových zónách (Pentecost a Whitton 2000). Sinice kolonizují vápence o různé době trvání, od pár týdnů, až po několik měsíců. Rozhodujícími faktory, které tuto dobu ovlivňují, jsou struktura povrchu, světelné podmínky a teplota (Pentecost 1992). Bylo také zjištěno, že sušší vápence, které jsou například nedostatečně zaplavované, nesou častěji zástupce se stélkou kokální, kterým trvá kolonizace poměrně dlouhou dobu. Konkrétně rodu *Gloeocapsa*, na vápencových stěnách v Kanadě, trvá kolonizace několik let (Garty 1990).

Sinice obývajících skály se rozdělují do tří základních skupin. Epilithické, které přímo kolonizují skalní povrchy, hypolithické, vyskytující se pod malými kameny na skalách, a endolithické, žijící uvnitř skály, většinou těsně pod povrchem v nejsvrchnější vrstvě horniny (Golubić 1967). Sinice jsou pevně vázány na skalní podklad díky extracelulárním polymerním látkám (EPS). Sekrece těchto látek vytváří ochranou matrix, která přispívá ke zvýšení objemu biofilmu. Takto se mohou mikroorganismy rychleji rozrůstat a kolonizovat větší plochy (Albertano a kol. 2000). EPS je také velmi bohatá na polysacharidy, což umožňuje efektivní přilnutí k povrchu (Karsten a kol. 2007). Na většině skal mohou sinice tvořit barevné svislé

pruhy, nazývané tintenstriche. Pruhy se vyvíjejí obzvláště na tvrdých nepropustných horninách, které umožňují vodě stékat nebo proudit, bez toho aniž by ji absorbovaly. Tyto pruhy mohou představovat také jeden z determinačních znaků, protože se u různých komunit sinic liší v závislosti na druhu horniny. Tintenstriche poprvé popsal Jaag v roce 1945.

Povrchové vápence mají rozdílnou morfologii často s dominantní složkou sinic a lišejníků o různé kvantitě. Sinice převažují na vápencích hlavně v subtropických a tropických oblastech, kde například *Tolypothrix byssoidea* je jedním z nejrozšířenějších druhů, kdežto lišejníky dominují na suchých vápencích v mírném podnebném pásu (Pentecost a Whitton 2000).

Vápencové podklady jsou náchylné k rychlému vysychání, což umožňuje výskyt pouze těm organismům, které jsou proti vysoušení tolerantní. Tuto schopnost mají sinice díky svým specializovaným buňkám (Potts 1994). Druhy, které jsou ve svém prostředí výskytu často vystavované vysoušení, jsou schopny daleko efektivněji fixovat uhlík. Mají hrubší a často také pigmentovaný obal a nacházejí se na velmi suchých místech. Konkrétním příkladem může být rod *Gloeocapsa*. Zatím co druhy vyskytující se v permanentně vlhkém nebo vodním prostředí vysoušení netolerují ani zdaleka tak dobře. Mezi tyto druhy, které mají také podstatně tenčí obal, patří například rod *Schizothrix*.

Sinice, spolu s jinými mikroorganismy, mají značný vliv na zvětrávání vápenců. Dochází k narušování a rozvolňování vápenců, jak vlivem fyzicko-chemických procesů, tak i například bobtnáním slizových pochev sinic. Efektivnější je také působení sinic spolu s jinými organismy. Nejběžnější je spolupůsobení sinic a lišejníků (Danin a Garty 1983). Sinice jsou tedy schopny urychlovat zvětrávání na vápencích, ale také na jiných horninách, což často činí problém na sochách, památkách, lidských přibytcích, náhrobcích a dalších stavbách, které nejen poškozují, ale také vytvářejí neestetické zelené skvrny (Uher a kol. 2005).

Dosud není zcela jasné, proč některé druhy vápenců jsou sinicemi obývané více a jiné méně, ale je velmi pravděpodobné, že jeden z hlavních faktorů je dostupnost živin, a to zejména fosfátů. Ty jsou potřebné při metabolické aktivitě sinic. Například rod *Plectonema* je schopen narušit vápenec jen za velmi příznivých nutričních podmínek (Pentecost a Whitton 2000).

Vápencové jeskyně jsou rozšířeny skoro po celém světě a dosahují rozměrů od pár desítek metrů až po několik kilometrů na šířku i hloubku. Reakcí kyseliny uhličitě s minerály

obsaženými ve skále dochází k rozpouštění a erozi vápence, zatímco voda proniká hluboko do sedimentů. Určitá část jeskyně bývá často vystavená vnějšímu prostředí (Albertano 2012), což představuje výborné podmínky pro výskyt aerofytických sinic. Rozhodující faktor pro rozvoj organismů je přirozené světlo (Czerwik-Marcinkowska a Mrozińska 2011). Ovšem o tuto osvětlenou část jeskyně musejí sinice soupeřit i s jinými organismy, jako jsou zelené řasy, mechorosty a kapradiny. Ve většině vápencových jeskyních převládají sinice kokální, které zde vytvářejí povlaky o tloušťce až 1 mm. Mezi nejběžnější sinice obývající vápencové jeskyně patří *Aphanocapsa*, *Gloeocapsa* a *Chroococcus* (Pentecost a Whitton 2000). Prostedí jeskyní je většinou velmi stabilní, což je nezbytné pro výskyt sinic a řas. Průměrná roční teplota jeskyní obvykle koreluje s teplotou podloží a její roční výkyvy jsou malé. Teplota jeskyní se nejčastěji pohybuje od 5 do 8 °C. Vlhkost jeskyní má také malé rozpětí a to od 85 do 95% (Czerwik-Marcinkowska a Mrozińska 2011). Je dokázáno, že čím je vlhkost jeskyní vyšší, tím početnější populace sinic se schopností značné produkce slizu, se zde bude nacházet (Johansen a kol. 1983).

Biofilm sinic pokrývající skály a jeskyně může tvořit až 70 % živé hmoty prostředí a v některých oblastech také představuje potravu pro různé skupiny živočichů, převážně bezobratlé (Darby a Neher 2012). Některé druhy sinic mají vysokou nutriční hodnotu, zejména co se týče bílkovin a sacharidů. Dosud nejvyšší nutriční hodnota byla zjištěna u rodu *Spirulina* a *Phormidium* (Nagarkar a kol. 2004). Biofilmem sinic se živí například hlístice a želvušky (Darby a Neher 2012)

### **1.3 Základní charakteristika a taxonomie sinic**

#### **1.3.1 Starý systém**

Ve starším systému sinice tvořily pouze jedinou třídu, *Cyanophyceae*, pod kterou spadaly čtyři řády. Tyto řády se převážně rozlišovaly podle stavby stélky a přítomnosti specializovaných buněk, jako jsou například heterocyty a akinety. Existoval řád *Chroococcales*, řád *Oscillatoriales*, řád *Nostocales* a řád *Stigonematales* (Komárek a Anagnostidis 1988, Kalina a Váňa 2005).

#### **1.3.2 Nový systém**

Mezi hlavní změny v systému sinic patří jejich rozdělení do čtyřech podtříd, *Gloeobacteriophycidae*, *Synechococcophycidae*, *Oscillatoriohycidae* a *Nostochophycidae* (Hoffmann a kol. 2005). Sinice jsou následně rozděleny do osmi nových řádů.

Řád *Gloeobacterales* (*Gloeobacteriophycidae*) zahrnuje jen jednu čeleď *Gloeobacteraceae* s jediným rodem *Gloeobacter*. Nejcharakterističtější znakem této monofyletické skupiny je absence tylakoidů. Řád *Synechococcales* (*Synechococcophycidae*) zahrnuje přes 70 rodů se stélkami vláknitými i jednobuněčnými, častá je také tvorba kolonií. Zástupci mají tylakoidy uspořádány parietálně. Čeleď *Synechococcaceae* tvoří jednobuněčné kolonie obalené slizem. Jednobuněčné koloniální sinice tvoří také čeleď *Merismopediaceae*. Vláknité zástupce obsahuje například čeleď *Leptolyngbyaceae*. Řád *Spirulinales* se vyznačuje šroubovitě stočenými vlákny bez pochev. Dříve byl spojován s řádem *Synechococcales*, kvůli jejich částečné morfologické podobnosti a uspořádání tylakoidů, ale na základě molekulární odlišnosti byly tyto řády separované. Do řádu *Chroococcales*, který prošel značnou redukcí, byly zahrnuty jen ty druhy s ne úplně pravidelným (parietálním) uspořádáním tylakoidů. V řádu zůstaly například zachovány čeledi *Microcystaceae*, *Chroococcaceae* a *Gomphosphaeriaceae*. Druhově velmi početný řád *Pleurocapsales* obsahuje jak zástupce jednobuněčné, tak i vláknité. Vyznačují se tvorbou baeocytů. Řád *Oscillatoriales* v současnosti nezahrnuje pouze zástupce s přímými stélkami a parietálními tylakoidy, jako v minulosti. Patří zde zástupci s často nepravidelným nebo radiálním uspořádáním tylakoidů a také druhy se stélkou kokální (např. *Cyanothecaceae*). Řád *Chroococciopsidales* s jediným rodem *Chroococciopsis* byl kdysi slučován s řádem *Pleurocapsales*, ale opět na základě jejich genetické odlišnosti byly tyto skupiny odděleny. Zástupci tohoto řádu se vyznačují obýváním extrémních habitatů. Poslední řád *Nostocales* představuje velkou skupinu druhů s vláknitou stélkou a specializovanými buňkami (heterocyty a akinety). Zástupci mohou mít stélku pravidelně i nepravidelně větvenou, nebo nevětvenou (Komárek a kol. 2014).

## **2. Cíle práce**

Bakalářská práce se zaměřuje na studium aerofytických sinic vyskytujících se v jeskyni Šipka a jejím těsném okolí se zaměřením na následující postupy:

1. Studium druhové bohatosti a variabilita jednotlivých druhů.
2. Kultivace a izolace kmenových kultur.
3. Příprava rešerše z ekologie sinic a taxonomické poznámky se zaměřením na aerofytické zástupce.

### **3. Metodika práce**

#### **3.1 Charakteristika studované lokality – Štramberk**

##### **3.1.1 Geomorfologie**

Město Štramberk leží v centru Štramberské vrchoviny, což je členitá vrchovina o rozloze 163,5 km<sup>2</sup>, střední výšce 444,3 m a středním sklonu 9° 40'. Tato vrchovina je budovaná zvrásněnými flyšovými pískovci, slepenci, jílovci a jílovitými břidlicemi podslezské a slezské jednotky vnější skupiny příkrovů. Také ji tvoří vápence a vyvřeliny těšínitů. Georeliéf je velmi erozně-denudační s výraznými vyvýšeninami příkrovních trosek, úpatních pahorkatin a sníženin, podmíněný velkými rozdíly v odolnosti hornin (Demek a kol. 2014). Tato proměnlivost způsobuje, že se v reliéfu Štramberské vrchoviny střídají strmé kopce s rozlehlými depresiemi, jimiž zpravidla protékají toky, pramenící v Moravskoslezských Beskydech (Buzek 1969).

V rámci geomorfologické regionalizace spadá Štramberská vrchovina do provincie západní Karpaty, subprovincie Vnější Západní Karpaty, oblasti Západobeskydské podhůří a celku Podbeskydská pahorkatina. U Štramberské vrchoviny je vymezeno celkem devět okrsků a z toho tři zasahují přímo do města Štramberk. Jedná se o Libotínské vrchy, Ženklauskou kotlinu a Šostýnské vrchy (Demek a kol. 2014).

Kotlina Ženklauského tektonického okna svou jižní částí ohraničuje hřbet Na peklech ze západní strany. Jižním okrajem této sníženiny prochází napříč rozvodnice mezi řekami Sedlnicí a Jičinkou. Ženklauská kotlina rozděluje Štramberskou vrchovinu na východní a západní část. Východní část je tvořena skupinami příkrovních trosek, jež jsou od sebe odděleny širokým údolím a erozně-denudačními kotlinami. Západní část se zase vyznačuje celistvostí a schází zde erozně-denudační kotliny a široká údolí. Pro reliéf Štramberské vrchoviny jsou typické izolované kopce, jež nápadně vyčnívají nad hladinu pahorkatiny (Buzek 1969).

##### **3.1.2 Fauna a flora**

Štramberk má velice bohatou přírodu, ovšem z důvodu četných zásahů do krajiny došlo už v minulosti k vymizení některých druhů rostlin a živočichů, pro něž byl Štramberk jedinou lokalitou výskytu na našem území.

Mezi již vyhynulé druhy rostlin patří devaterník skalní s jediným výskytem v České republice a kakost lesklý s jediným výskytem na Moravě. Jedním ze způsobů ochrany zdejší

květeny bylo vyhlášení Národní přírodní památky Šipka a zákazu vstupu do lomu Kotouč. Dalším záměrem ochrany flory a také fauny bylo zřízení Arboreta a botanické zahrady na Skalkách v bývalém lomu. Mezi vzácné rostliny současně se vyskytující na území města patří například vstavač mužský, který je zapsán v červeném seznamu ohrožených druhů cévnatých rostlin.

Štramberská fauna je velmi známá vyhynulým jasoněm červenookým. Jasoně zde vymizel na přelomu 20. a 30. let 20. století. Jednou z příčin bylo zarůstání zbytků skalních stepí, které tento motýl obýval. Ovšem tento druh motýla byl od roku 1986 repatriován populací pocházející ze Slovenska. Dnes je Štramberk tedy jeho jediná lokalita výskytu u nás (Blahutová a kol. 2010). Dalším druhem se zvýšenou ochranou je ještěrka zední. Tento druh plaza se opět vyskytuje pouze ve Štramberku. Její výskyt zde byl prokázán roku 1988, i když se zde tento vzácný druh nacházel již dříve. V padesátých letech minulého století došlo k mylnému zaměnění této ještěrky za ještěrku živorodou, a proto také nebyla dlouhou dobu chráněna (Urban a kol. 2006).

### **3.1.3 Popis jeskyně Šipka**

Šipka je malá krasová jeskyně na severním svahu vrchu Kotouče u Štramberka. Hlavní vchod do jeskyně je otevřen k severu a za vchodem následuje prostor s dávno zborceným stropem, z něhož vybíhají dvě chodby. Menší chodba se nazývá Jezevčí díra a větší je Krápníková chodba. Tato jeskyně je proslulá výzkumem K. J. Mašky, který zde v roce 1880 objevil úlomek dětské neandertálské spodní čelisti (Matoušek a kol. 2005). Jeskyně Šipka je Národní přírodní památkou a to hlavně z důvodu ochrany geomorfologicky významně modelovaného území skalních vápencových útvarů, krasových jevů a suťového georeliéfu. Velmi cenná je i skalní, travinobylinná a lesní vegetace s teplomilnými a vápnomilnými prvky na výchozech jurského štramberského vápence (Databáze významných geologických lokalit 1998).

## **3.2 Sběr vzorků v terénu**

Odběr vzorků jsem prováděla v NPP jeskyni Šipka ve Štramberku. Při sběru sinic jsem se zaměřila na vlhká stinná místa a také místa vystavená slunci s nápadnými zelenomodrými porosty. Vzorky jsem odebírala celkem třikrát. První dva odběry proběhly na podzim roku 2017 (21. října, 4. listopadu). Poslední odběr jsem provedla v létě 15. července 2018.

Při sběru vzorků sinic jsem používala skalpel a malý nožík, kterými jsem seškrabávala povlaky s možným výskytem sinic na kamenech a stěnách jeskyně. Vše jsem ukládala do malých plastových uzavíratelných pytlíků, které jsem vždy popsala datem a také číslem.

### 3.3 Práce se vzorky v laboratoři

Všechny vzorky jsem zpracovávala a determinovala v algologické laboratoři katedry botaniky Univerzity Palackého v Olomouci. Při práci jsem používala mikroskop Olympus a vzorky jsem pozorovala pod zvětšením 100x. Jejich kultivaci jsem prováděla ve flowboxu na médiu „Z“. Všechnen materiál jsem uchovávala v epruvetách a plastových Petriho miskách v chladicím boxu se stálou teplotou 16 °C.

Po odebrání a zkontrolování vzorků v mikroskopu jsem musela druhy nejprve izolovat od ostatních, abych mohla provést jejich přesnou determinaci. Ke kultivaci vzorků, kterou jsem prováděla ve flowboxu, jsem použila Z médium s 1,5% agarem. Médium „Z“ (Staub 1961), jsem připravila ze zásobního roztoku a následně do něj přimíchala agar. Přesné složení média je uvedeno v tabulce na konci kapitoly.

Zhotovené médium bylo nutné sterilizovat v autoklávu po dobu 90 minut. Sterilizace probíhala při teplotě 121 °C a tlaku 150 kPa. Poté jsem médium rozlévala do Petriho misek a epruvet. Na ztuhlé médium jsem posléze nanášela vzorky sinic mikrobiologickou kličkou, kterou jsem vždy na začátku a v průběhu očkování sterilizovala nad kahanem. Celý tento postup jsem prováděla ve sterilním prostředí flowboxu. Vzorky kultivované v Petriho miskách bylo ještě nutné oblépit parafilmem, což zabraňovalo jejich vyschnutí. Po očkování jsem vzorky v epruvetách a Petriho miskách uložila do chladicího boxu.

**Tabulka 1: Složení a dávkování média**

Látka	Množství
NaNO <sub>3</sub>	46,7 g / 1000 ml
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	5,9 g / 1000 ml
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	3,1 g / 1000 ml
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	2,5 g / 1000 ml
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2,1 g / 1000 ml
Fe EDTA	0,2 ml / 1000 ml
Roztok mikroprvků (Gaffron)	0,08 ml / 1000 ml

## 4. Výsledky

Ze vzorků, které jsem odebírala v letech 2017 a 2018 v jeskyni Šipka, jsem určila celkem 9 druhů aerofytických sinic. Z toho 4 druhy s vláknitou stélkou a 5 se stélkou kokální. Určení jsem provedla dle literatury uvedené v seznamu použitých zdrojů a s pomocí vedoucího bakalářské práce.

### 4.1 Charakteristika nalezených druhů

#### *Asterocapsa* sp.

Buňky mají kulovitý nebo prodloužený tvar, světle zelenou barvu a dosahují se rozměrů 3 – 6  $\mu\text{m}$ . Vyskytují se samostatně nebo v koloniích a jsou pokryty tlustou, někdy i tenkou, pevnou slizovou vrstvou zbarvenou pigmenty anebo bezbarvou. Kolonie dosahují velikosti až 45  $\mu\text{m}$ . Dělení je binární nepravidelné uvnitř slizových obalů. Nacházejí se na kamenitých substrátech.

#### *Cyanothece aeruginosa*

Buňky se většinou vyskytují samostatně, např. obr. 10. Někdy se buňky také párují. Postrádají slizové obaly. Buněčné dělení probíhá pouze v jedné rovině. Uspořádání tylakoidů je radiální nebo nepravidelné. Buňky jsou široké minimálně 3  $\mu\text{m}$ .

#### *Gloeocapsa aeruginosa*

Jednobuněčné, buňky jsou modrozelené kulovitěho tvaru s průměrem 2 – 3  $\mu\text{m}$ . Často se vyskytují v koloniích a jsou pohromadě drženy vícevrstevným slizovým obalem. Tvoří makroskopické slizové kolonie. Každá buňka je ale vždy individuálně obklopena vlastním váčkovitým, vrstevnatým slizovým obalem. Buňky se dělí binárním dělením ve více rovinách. Častým místem výskytu jsou vlhké kamenité povrchy.

#### *Chroococidiopsis cubana*

Buňky jsou buď samostatné, častěji se ale vyskytují v pravidelných nebo nepravidelných skupinách (obr. 11). Jsou obklopené tenkými, pevnými, bezbarvými slizovými pouzdry. Tylakoidy jsou nepravidelně rozmístěny v cytoplazmě. Buňky se dělí nepravidelně. Rozmnožují se pomocí nanocytů.

*Chroococcus* sp.

Buňky kulovité nebo oválné, málokdy se vyskytují samostatně, nejčastěji tvoří mikroskopické kolonie obklopené slizem. Kolonie jsou většinou tvořeny dvěma nebo čtyřmi buňkami, které se dorůstají rozměrů 22 – 32  $\mu\text{m}$ . Slizové obaly jsou tenké. Buňky mají sytě modrozelenou barvu a jsou pokryty bezbarvou buněčnou stěnou.

*Leptolyngbya* cf. *foveolarum*

Tmavě zelená někdy i modrozelená vlákna (obr. 12), nejčastěji těsně přirostlá k podkladu. Stélka je rovná, někdy mírně stočená. Na povrchu stélky se nachází tenký slizový obal, který je bezbarvý a často špatně viditelný. Buňky jsou oválné nebo zaoblené, veliké 0,7 – 1,8  $\mu\text{m}$ . Apikální buňka je zaoblená, bez kalyptry. Častý je výskyt spolu s jinými řasami.

*Nodosilinea* sp.

Dlouhá modrozelená vlákna, obalená větším množstvím slizu. Vlákna jsou buď přímá, nebo jemně zakřivená, s šířkou 1,1 – 1,3  $\mu\text{m}$ , bez nepravého větvení. Typickým znakem jsou uzlíkovité shluky vláken. Pochva je průsvitná a tenká. Buňky postrádají aerotopy. Apikální buňky jsou někdy protáhlé, bez kalyptry. Tento druh se plazivě rozprostírá na substrátu a tvoří modrozelené skvrny.

*Nostoc* sp.

Vláknitá stélka je opatřena slizovým obalem na povrchu. Často tvoří makroskopické kolonie, které mají v průměru 2 cm a jsou zelené nebo žlutozelené. Vlákna se nevětví, mohou být stočená i rovná. Pochvy jsou nevýrazné. Jsou přítomny specializované buňky – akinety, které slouží k přežívání nepříznivých podmínek a heterocyty, které napomáhají fixaci vzdušného dusíku.

*Phormidium* sp.

Stélka vláknitá, tmavě zelená nebo modrozelená. Vlákna jsou nejčastěji rovná, široká 4 – 8  $\mu\text{m}$ . Apikální buňka je zaoblená a kryta kalyptrou. Příčné přepážky jsou ve vlákně zřetelně viditelné a buňky bývají odděleny neúplnou buněčnou stěnou. Široká vlákna válcovitého tvaru jsou často kryta vrstvou slizu. Chybí nepravé větvení. Vyskytují se buď samostatně, nebo tvoří kolonie.

## 5. Didaktický rozbor

Tématem algologie se většina základních a středoškolských učebnic moc nezabývá. Sinice a řasy nejsou probírány podrobně, někdy se tohle téma dokonce ve výuce vynechává. Jeden z důvodů zanedbání algologie na školách je pravděpodobně ten, že starší a někdy i aktuální učebnice neposkytují, o tomto odvětví, dostatečné informace. Kapitoly jsou mnohdy velmi krátké a stručné. Některé učebnice podávají zkreslené anebo chybné informace. Sinice a řasy bývají někdy přiřazovány k rostlinám. Systematika je často neaktuální, nebo není uvedena. Například učebnice *Obecná biologie pro gymnázia* (Kubišta 2010) věnuje sinicím pouze jedinou stranu a systematiku naprosto postrádá. Velký problém činí také české názvy v učebnicích. Ty nejčastěji obsahují učebnice pro základní školy. V učebnicích pro gymnázia a střední školy bývají někdy uvedeny i latinské názvy. České pojmenování se v algologii vůbec nepoužívá. Jen několik málo zástupců má české jméno a algologové přesto používají pouze latinu. Proto učebnice mnohdy postrádají velké množství zástupců, kteří žádný český název nemají anebo si autor chybný název sám vymyslí. Učebnice *Biologie rostlin pro gymnázia* (Kincl a kol. 2008) většinou obsahuje kromě českých názvů také latinské a systematika řas je velice podrobná, ovšem dnes už neaktuální. Pro výuku řas a rostlin je tato učebnice velmi vhodná ovšem postrádá jakoukoli zmínku o sinicích, nebo celkově bakteriích. Což se dá samozřejmě odůvodnit tím, že se tato učebnice věnuje pouze rostlinám, ale pro výuku je vhodnější probírat sinice spolu s řasami.

Tématu sinice a řasy by se na základních a také středních školách měla věnovat větší pozornost. Hlavní důraz by se měl klást na morfologii, která by se měla probírat na hodinách, a ekologii, kterou lze spojit s praktickým cvičením v přírodě. K výuce ve školách je také vhodné používat mikroskopy, k snadnějšímu pochopení anatomie a morfologie.

## 6. Diskuze

V předložené práci jsem se zabírala sinicemi aerofytickými, které se vyskytují na skalnatých a vápencových podkladech jeskyně Šipka, která se nachází na vrcholu vápencového lomu Kotouč. Celá lokalita Štramberké vrchoviny je tvořena převážně vápencem, který se datuje až do jury. Velká část území Štramberka je pod vysokým stupněm ochrany z důvodu výskytu vzácných rostlin a zvířat. Tato ochrana je nezbytná, protože Štramberk je turisticky velmi často navštěvované město, a nejzávažnější ohrožení je právě ze strany člověka.

Sinice tvoří podstatně větší biomasu na vápencích, než na jiných horninách. Výskytem sinic na vápencích se v minulosti zabývalo již mnoho autorů. Například Pentecost a Whitton (2000) uvádějí, že vápence jsou pro sinice vhodné hlavně z důvodu dostatku živin, které tyto organismy potřebují ke své metabolické aktivitě. Jedná se převážně o fosfáty. Podle Hauera sinicím vyhovují tyto horninové podklady také z důvodu nízké kompetice o světlo a živiny s vyššími rostlinami (Hauer a kol. 2015). U vápenců často dochází k vysoušení, hlavně v letním období, což ale sinicím nedělá velké problémy, protože jsou vůči suchu velmi tolerantní, na rozdíl od jiných organismů (Potts 1994). Sinicím také vyhovuje stabilita prostředí jeskyní, jak uvedly Czerwik-Marcinkowska a Mrozińska (2011), teplota a vlhkost zde nemá velké výkyvy v průběhu roku.

Sinicím vyhovují vyšší teploty a vlhkost, z čehož vyplývá, že skalnímu podkladu budou dominovat hlavně koncem jara a v letním období, což potvrzují odebrané vzorky ze Šipky. Odběry jsem provedla celkem třikrát. Dvakrát na podzim roku 2017 a jednou v létě roku 2018. Letní vzorky bylo oproti těm podzimním druhově bohatší a početnější. Celkově ve vzorcích nejvíce převažoval vláknitý zástupce *Leptolyngbya cf. foveolarum*. Tento druh se nacházel skoro na každém místě odběru. Ze všech devíti determinovaných zástupců mělo pět stélku kokální, což odpovídá závěrům podle Pentecosta a Whittona, že vápencové jeskyně jsou více obývané zástupci se stélkou kokální, než vláknitou. Nejběžnějšími kokálními zástupci jsou *Aphanocapsa*, *Gloeocapsa* a *Chroococcus*, a vláknitými *Leptolyngbya*, *Phormidium* a *Schizothrix* (Pentecost a Whitton 2000). Většina těchto zástupců se v jeskyni Šipce také nachází. V mých vzorcích převažovali kokální *Chroococcidiopsis* a *Gloeocapsa*. Podobně potvrzuje také Hauer a kol. (2015), který ve svém výzkumu uvedl, že kokální sinice dominují jeskyním na celém světě až ze 43 %.

Algologický průzkum 27 jeskyní v Polsku, který provedly Czerwik-Marcinkowska a Mrozińska (2011) obsahuje nálezy 33 zástupců cyanobakterií. Autorky tvrdí, že nárosty sinic se nacházely nejpočetněji na vnější straně jeskyní a u hlavního vchodu. Stejně tak v mém případě sinice dominovaly okrajovým částem jeskyně. Nejběžnějšími druhy v polských jeskyních byli *Aphanocapsa parietina*, *Calothrix fusca*, *Chroococcus minor* a *Nostoc commune*. Vápencové jeskyně v Polsku jsou rovněž tvořeny Štramberským jurským vápencem, stejně jako jeskyně Šipka.

V České republice proběhl algologický průzkum sinic na Moravě v letech 2005 a 2006. Zkoumány byly jeskyně Mladeč, Javoříčko a Zbrašov. Celkem bylo nalezeno 22 druhů, z toho *Gloeocapsa aeruginosa*, *Leptolyngbya* spp. a *Nostoc commune* se nacházeli ve všech třech jeskyních (Pouličková a Hašler 2007). Mezi lety 2005 – 2007 bylo floristicky prozkoumáno na Moravě také území Hranic. V těchto jeskyních byly kromě běžně vyskytujících se zástupců také nalezeny druhy vzácnější, jako například *Pseudocapsa dubia* a *Eucapsis* cf. *minor* (Voldánová 2008). Ve středních Čechách byl algologicky prozkoumán například vápencový lom Malá Amerika. Zde bylo nalezeno celkem 20 druhů sinic, opět s převahou kokální stélky, např. *Gloeocapsa* a *Chroococcus*. Autor také zmiňuje, že nejvíce pozorovaným rodem byla vláknitá *Leptolyngbya*, stejně jako v mých vzorcích (Kočvara 2008).

Druhové složení sinic v jeskyni Šipce nejvíce ovlivňovala vlhkost a dostupnost světla. Na místech dlouhodobě ozářených slunečním světlem docházelo k vysychání sinic, ty proto preferovaly spíše místa zastíněná, nebo osvětlená jen krátkou část dne. Což odpovídá většině provedených a výše citovaných studií. Aerofytické sinice jsou obecně méně prozkoumané a stále dochází k objevování nových druhů. V České republice bylo takto prozkoumáno jen pár lokalit.

## 7. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabývala studiem aerofytických sinic. Lokalitou mého průzkumu byla jeskyně. Georeliéf tohoto území je tvořen vysoce cenným Štramberským jurským vápencem, a z tohoto důvodu je jeskyně také chráněna zákonem. V závislosti na vápencovém podkladu, jsem se v teoretické části mé práce zabývala převážně vztahem terestrických sinic k této hornině.

Po odebrání vzorků z lokality a následné kultivaci a pozorování v laboratoři jsem identifikovala celkem 9 zástupců sinic. Mezi druhy s kokální stélkou patřili *Chroococcus* sp., *Chroococidiopsis cubana*, *Gloeocapsa aeruginosa*, *Asterocapsa* sp. a *Cyanothece aeruginosa*. Druhy se stélkou vláknitou byli *Phormidium* sp., *Nodosilinea* sp., *Nostoc* sp. a *Leptolyngbya* cf. *Foveolarum*. Tyto druhy se často vyskytovaly pohromadě v koloniích, někdy i spolu se zelenými řasami. Jeskyni více dominovaly druhy se stélkou kokální. Nejběžnějším pozorovaným druhem byla *Gloeocapsa aeruginosa* a *Chroococidiopsis cubana*. Z vláknitých sinic nejpočetněji ostatní převyšovala *Leptolyngbya* cf. *foveolarum*.

Nejvíce povlaků sinic se nacházelo na zastíněných stěnách jeskyně, kde nedocházelo k tak rychlému vysoušení vlivem světla. Osvětlené stěny jeskyně také nesly povlaky sinic, i když ne tak četné. Konkrétně jsem po odebrání vzorků zjistila, že nejvíce sinic se vyskytuje u hlavního vchodu do jeskyně a také v otevřeném prostoru se zborceným stropem. Početný výskyt sinic se snižoval směrem dovnitř obou chodeb, ještě do míst, kde částečně dosahovalo sluneční světlo. Hluběji v temných chodbách se již žádné povlaky nenacházely, což nasvědčuje tomu, že výskyt sinic je podmíněn dostupností přirozeného slunečního světla.

## 8. Seznam literatury

ABOAL, Marina, Antonia D. ASECIO a Eusebio LÓPEZ-JIMÉNEZ. Morphological, ultrastructural and ecological study of *Asterocapsa divina* Komárek (Chroococcaceae, Cyanobacteria) from a cave of SouthEastern Spain. *Algological studies*. Stuttgart: Archiv. Hydrobio. Suppl., 2003, **109**(4), 57-65.

ADAMS, David a Noel CARR. The developmental biology of heterocyst and akinete formation in cyanobacteria. *Critical Reviews in Microbiology*. Liverpool, 1981, **9**(1), 45 - 100.

ADAMS, David a Paula DUGGAN. Heterocyst and akinete differentiation in cyanobacteria. *New Phytol.* Leeds, 1999, **144**, 3 - 33.

ADAMS, David G., Paula S. DUGGAN a Owen JACKSON. Cyanobacterial Symbioses. PENTECOST, Allan a Brian WHITTON. *The ecology of cyanobacteria II: their diversity in space and time*. 2. New York: Springer, 2012, s. 593-647. ISBN 978-9400755987.

ALBERTANO, P. Cyanobacterial Biofilms in Monuments and Caves. WHITTON, Brian A. *Ecology of cyanobacteria II: their diversity in space and time*. 2. New York: Springer, 2012, s. 317-338. ISBN 978-9400755987.

ALBERTANO, P., L. BRUNO, D. D'OTTAVI, D. MOSCONE a G. PALLESCHI. Effect of photosynthesis on pH variation in cyanobacterial bio films from Roman catacombs. *Journal of Applied Phycology*. Springer, 2000, **12**, 279–384.

ANAGNOSTIDIS, Konstantinos a Jiří KOMÁREK. Modern approach to the classification system of cyanophytes: 3 - Oscillatoriales. *Algological studies*. Stuttgart: Archiv. Hydrobio. Suppl., 1988, **80**(50-53), 327-472.

ANAGNOSTIDIS, Konstantinos a KOMÁREK. Modern approach to the classification system of cyanophytes: 5 - Stigonematales. *Algological studies*. Stuttgart: Archiv. Hydrobio. Suppl., 1990, **86**(59), 1-73.

ATIA, Ahmed a Awatef SAAD. Review on Freshwater Blue-Green Algae (Cyanobacteria): Occurrence, Classification and Toxicology. *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2014, **11**(3), 1319-1325.

BLAHUTOVÁ, Michaela et al. *Štramberk: Příroda a pravěk*. 1. Ostrava: Šmíra-print, 2010. ISBN 978-80-254-6046-7.

BRADLEY, Peter M. Protoplasts and spheroplasts of cyanobacteria. *International review of cytology*. Academic Press, 1983, 5-19.

BUZEK, Ladislav. *Geomorfologie Štramberké vrchoviny: Spisy pedagogické fakulty v Ostravě*. 1. Ostrava: Pedagogická fakulta Ostrava, 1969.

CZERWIK-MARCINKOWSKA, J. a T MROZIŃSKA. Algae and cyanobacteria in caves of the Polish Jura. *Polish Botanical Journal*. 2011, **56**(2), 203-243.

DANIN, A. a J. GARTY. Distribution of cyanobacteria and lichens on hillsides of the Negev Highlands and their impact on biogenic weathering. *Geomorphologie*. 1983, **27**, 423-444.

DARBY, Brian J. a Deborah A. NEHER. Stable isotope composition of microfauna supports the occurrence of biologically fixed nitrogen from cyanobacteria in desert soil food webs. *Journal of Arid Environments*. 2012, **85**, 76–78.

*Databáze významných geologických lokalit* [online]. Praha: Česká geologická služba, 1998 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <http://lokality.geology.cz/2389>.

DEMEK, Jaromír, Peter MACKOVČIN a Břetislav BALATKA. *Zeměpisný lexikon ČR: hory a nížiny II. část*. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. ISBN 978-80-7509-113-0.

GARTY, J. Influence of epilithic microorganisms on the surface temperature of building walls. *Canadian Journal of Botany*. 1990, **68**, 1349-1353.

GAYSINA, Lira, Aniket SARAF a Prashant SINGH. Cyanobacteria in Diverse Habitats. *Cyanobacteria: From Basic Science to Applications*. 1. Elsevier, 2018, 1 - 28. DOI: 10.1016/B978-0-12-814667-5.00001-5. ISBN 978-0-12-814667-5.

GOLUBIĆ, Stjepko. Die Binnengewässer. GOLUBIĆ, Stjepko. *Algenvegetation der Felsen: Eine ökologische Algenstudie im dinarischen Karstgebiet*. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1967, s. 183. ISBN 978-3-510-40032-4.

GOMÉZ, S. R., J. R. JOHANSEN a R. L. LOWE. Epilithic Aerial Algae of Great Smoky Mountains National Park. *Biologia*. 2003, **58**(4), 603-615.

HAUER, Tomáš, Radka MÜHLSTEINOVÁ, Markéta BOHUNICKÁ a Jan MAREŠ. Diversity of cyanobacteria on rock surfaces. *Biodivers Conserv.* 2015, (24), 759-779. DOI: 10.1007/s10531-015-0890-z.

HERDMAN, M., R. W. CASTENHOLZ, I. ITEMAN a R. RIPPKA. Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria: Form- Gloeocapsa.* John Wiley, 2015, s. 1-3.

HIRCH, P., F.E.W. ECKHARDT a R.J. PALMER. Methods for the study of rock-inhabiting microorganisms: A mini review. *Journal of Microbiological Methods.* 1995, (23), 143-167. DOI: 10.1016/0167-7012(95)00017-f.

JOHANSEN, J. R., S. R. RUSHFORTH, R. ORBENDORFER, N. FUNGLADDA a J. A. GRIMES. The Algal Flora of Selected Wet Walls in Zion National Park, Utah, USA. *Nova Hedwigia.* 1983, **38**, 765-808.

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

KANT, Rama a kol. Growth pattern, structure, reproduction and perennation in *Gloeocapsa decorticans*. *Bionature.* 2005, **25**(1 & 2), 153-157.

KARSTEN, U., R. SCHUMANN a A. S. MOSTAERT. Aeroterrestrial algae growing on man-made surfaces. *Algae and cyanobacteria in extreme environments.* Dordrecht: Springer, 2007, s. 585-597.

KAŠTOVSKÝ, Jan, Tomáš HAUER a Jaromír LUKAVSKÝ. *Sinice a řasy: Doplňkové učební texty pro studenty algologie.* České Budějovice: Jihočeská Univerzita, 2003.

KOČVARA, Luboš. *Aerofytické sinice z oblasti lomu Malá Amerika.* České Budějovice, 2008. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce RNDr. Tomáš Hauer, Ph.D.

KOMÁREK, Jiří a Konstantinos ANAGNOSTIDIS. Modern approach to the classification system of cyanophytes: 2 - Chroococcales. *Algological studies.* Stuttgart: Archiv. Hydrobio. Suppl., 1988, **73**(43), 327-472.

KOMÁREK, Jiří a Konstantinos ANAGNOSTIDIS. Modern approach to the classification system of cyanophytes: 4 - Nostocales. *Algological studies*. Stuttgart: Archiv. Hydrobio. Suppl., 1989, **82**(56), 247-345.

KOMÁREK, Jiří, Jan KAŠTOVSKÝ, Jan MAREŠ a Jeffrey R. JOHANSEN. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. *Preslia*. 2014, **86**(4), 295–335.

MATOUŠEK, Václav, Petr JENČ a Vladimír PEŠA. *Jeskyně Čech, Moravy a Slezska s archeologickými nálezy*. 1. Praha: Libri, 2005. ISBN 80-7277-286-4.

MATUŁA, Jan, Mirosława PIETRYKA, Dorota RICHTER a Bronisław WOJTUŃ. Cyanoprokaryota and algae of Arctic terrestrial ecosystems in the Hornsund area, Spitsbergen. *Polish polar research*. 2007, **28**(4), 283-315.

MUR, Luuc, Olav SKULBERG a Hans UTKILEN. Cyanobacteria in the environment. *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. 1. E & F Spon, 1999. ISBN 0-419-23930-8.

NABOUT, J. C., B. DA SILVA ROCHA, F. M. CARNEIRO a C. L. SANT ANNA. How many species of Cyanobacteria are there? Using a discovery curve to predict the species number. *Biodiversity and Conservation*. 2013, 2907–2918.

NAGARKAR, Sanjay, Gray A. WILLIAMS, G. SUBRAMANIAN a Sushanta Kumar SAHA. Cyanobacteria-dominated biofilms: A high quality food resource for intertidal grazers. *Hydrobiologia*. 2004, **512**(1-3), 89-95.

PENTECOST, A. A note on the colonization of limestone rocks by cyanobacteria. *Arch Hydrobiol*. 1992, **124**, 167-172.

PENTECOST, Allan a Brian WHITTON. Limestones. PENTECOST, Allan a Malcolm POTTS. *The ecology of cyanobacteria: their diversity in space and time*. 1. New York: Kluwer Academic Publishers, 2000, s. 257-275. ISBN 0-306-46855-7.

PENTECOST, Allan a Brian WHITTON. Subaerial Cyanobacteria. WHITTON, Brian. *The ecology of cyanobacteria II: their diversity in space and time*. 2. New York: Springer, 2012, 291 - 316. ISBN 978-9400755987.

PIERRE-ARMAND, Roger. Ricefield cyanobacteria, ecology, contribution to soil fertility and practical utilization. MOROT-GAUDRY, J. F. *Nitrogen assimilation by plants: physiological, biochemical and molecular aspects*. 1. New Hampshire: Science Publishers Inc. Enfield, 2001, 199 - 226. ISBN 2-7380-0716-3.

POTTS, M. Desiccation tolerance of prokaryotes. *Microbiol Rev.* 1994, **58**(4), 755-805.

POULÍČKOVÁ, Aloisie, Petr DVOŘÁK a Petr HAŠLER. *Průvodce mikrosvětlem sinic a řas*. 1. Olomouc: Univerzita Palackého, 2015. ISBN 978-80-244-4408-6.

POULÍČKOVÁ, Aloisie a Petr HAŠLER. Aerophytic diatoms from caves in central Moravia (Czech Republic). *Preslia*. 2007, **79**, 185–204.

RIPPKA, R., R. W. CASTENHOLZ, J. B. WATERBURY a M. HERDMAN. Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria: Form- Cyanothece*. John Wiley, 2015, s. 1-4.

SCHIRRMESTER, Bettina E., Muriel GUGGER a Philip C. J. DONOGHUE. Cyanobacteria and the Great Oxidation Event: Evidence from genes and fossils. *Palaeontology*. The Palaeontological Association, 2015, 1-17.

STANIER, G. *Fine structure of Cyanobacteria. Methods in enzymology, vol. 167*. Academic Press, 1988.

STAUB, Robert. Ernährungsphysiologisch-autökologische Untersuchungen an der planktischen Blaualge *Oscillatoria rubescens* DC. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*. 1961, **23**(1), 82-198.

STORME, Jean-Yves, Stjepko GOLUBIC, Annick WILMOTTE, Julia KLEINTEICH, David VELÁZQUEZ a Emmanuelle JAVAUX. Raman Characterization of the UV-Protective Pigment Gloeocapsin and Its Role in the Survival of Cyanobacteria. *Astrobiology*. Mary Ann Liebert, 2015, **15**(10), 1 - 15.

ŠEJNOHOVÁ, Lenka a Blahoslav MARŠÁLEK. Pohled do mikroskopického světa sinic. *Živa*. 2005, 105-108.

UHER, Bohuslav, Marina ABOAL a Lubomír KOVÁČIK. Epilithic and chasmoendolithic phycoflora of monuments and buildings in South-Eastern Spain. *Cryptogamie Algologie*. 2005, **26**(3), 275-358.

URBAN, Petr, Oldřich KOPECKÝ a Milan VESELÝ. Početnost populace ještěrky zední ve Štramberku. *Živa*. 2006, (6), 269 - 271.

VÁZQUEZ-MARTÍNEZ, Juan a kol. *Nodosilinea chupicuarensis* sp. nov. (Leptolyngbyaceae, Synechococcales) a subaerial cyanobacterium isolated from a stone monument in central Mexico. *Phytotaxa*. 2018, **334**(2), 167-182.

VINCENT, Warwick F. Cyanobacteria. *Elsevier*. Quebec City: The Laval University, 2009, 226-232.

VOLDÁNOVÁ, Pavlína. *Aerofytické sinice chráněných území v okolí Hranic*. Olomouc, 2008. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Petr Hašler, Ph.D.

WHITTON, Brian. Soils and Rice-Fields. WHITTON, Brian a Malcolm POTTS. *The ecology of cyanobacteria: their diversity in space and time*. 1. New York: Kluwer Academic Publishers, 2000, 233 - 255. ISBN 0-306-46855-7.

## 9. Přílohy

### Seznam příloh

Příloha I.: Mapa jeskyně. Podle Sklenáře 1974. (Matoušek a kol. 2005)

- Obrázek 1: Půdorys jeskyně Šipka.

Příloha II.: Zkoumaná lokalita

- Obrázek 2: Hlavní vchod do jeskyně (pohled zevnitř)
- Obrázek 3: Hlavní vchod do jeskyně (pohled zvenku)
- Obrázek 4: Prostor se zborceným stropem
- Obrázek 5: Velká Krápníková chodba
- Obrázek 6: Povlaky sinic na skále
- Obrázek 7: Povlaky sinic na skále

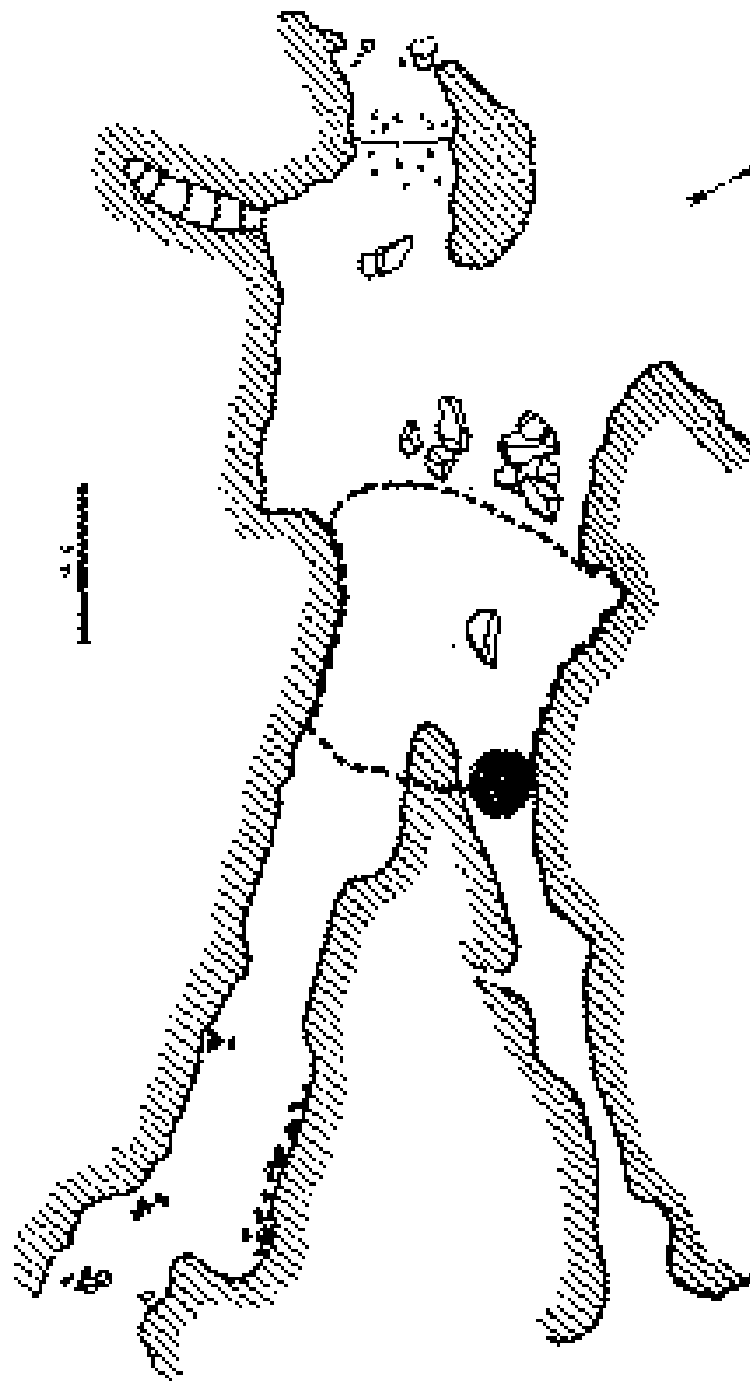
Příloha III.: Práce v laboratoři

- Obrázek 8: Vzorky
- Obrázek 9: Flowbox

Příloha IV.: Zkoumané druhy

- Obrázek 10: *Cyanothece aeruginosa*
- Obrázek 11: *Chroococidiopsis cubana*
- Obrázek 12: *Leptolyngbya* cf. *foveolarum*

Příloha I.: Mapa jeskyně. Podle Sklenáře 1974. (Matoušek a kol. 2005)

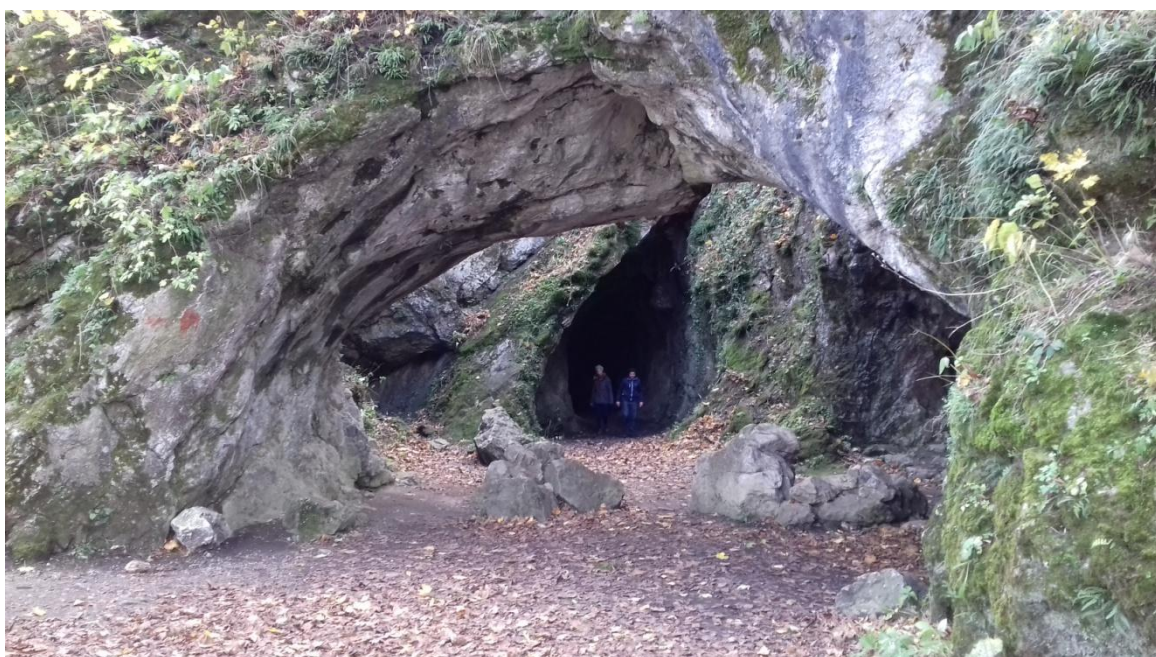


Obrázek 1: Půdorys jeskyně Šipka.

Příloha II.: Zkoumaná lokalita



**Obrázek 2: Hlavní vchod do jeskyně (pohled zevnitř)**



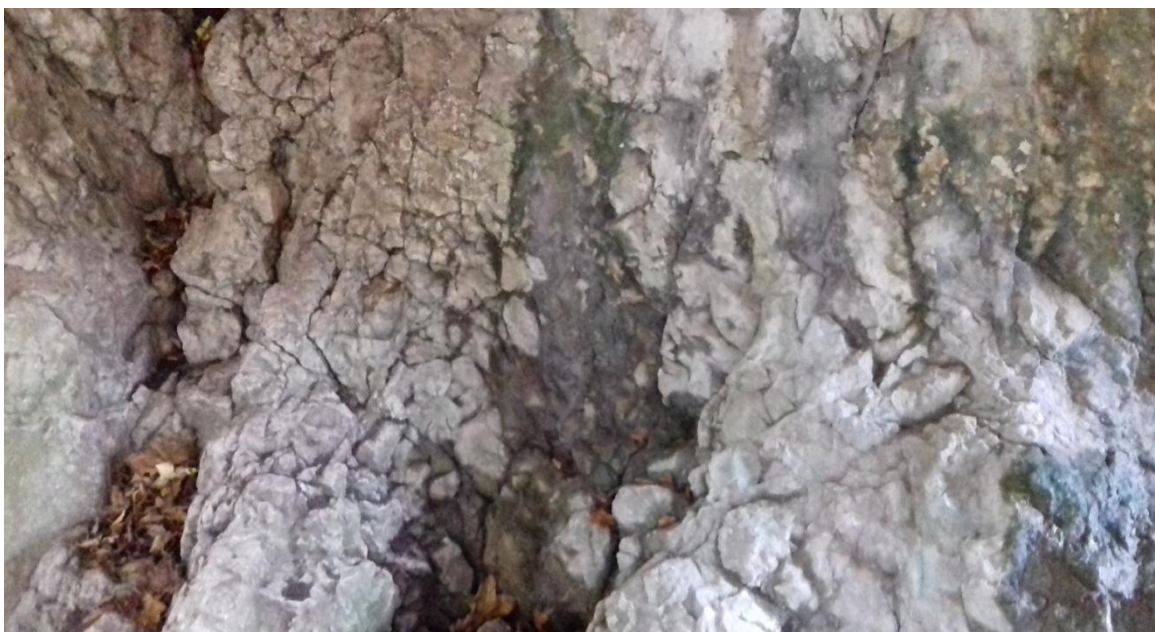
**Obrázek 3: Hlavní vchod do jeskyně (pohled zvenku)**



**Obrázek 4: Prostor se zborceným stropem**



**Obrázek 5: Velká Krápníková chodba**

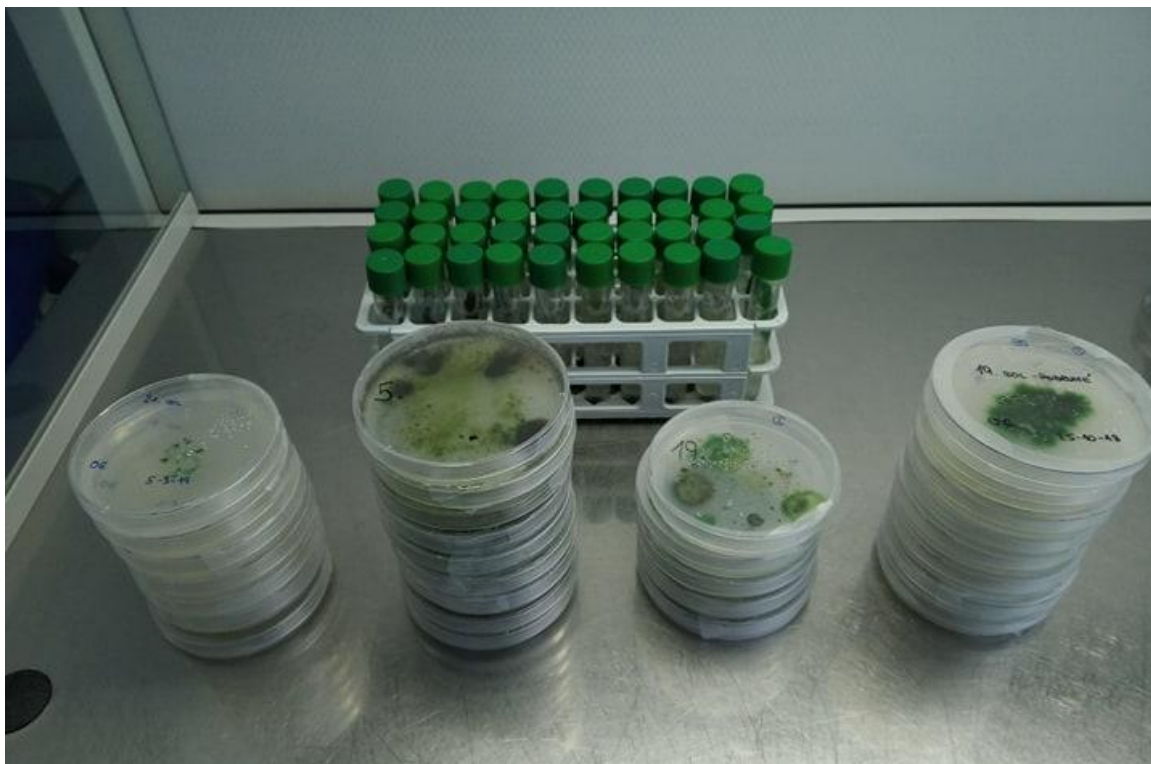


**Obrázek 6: Povlaky sinic na skále**

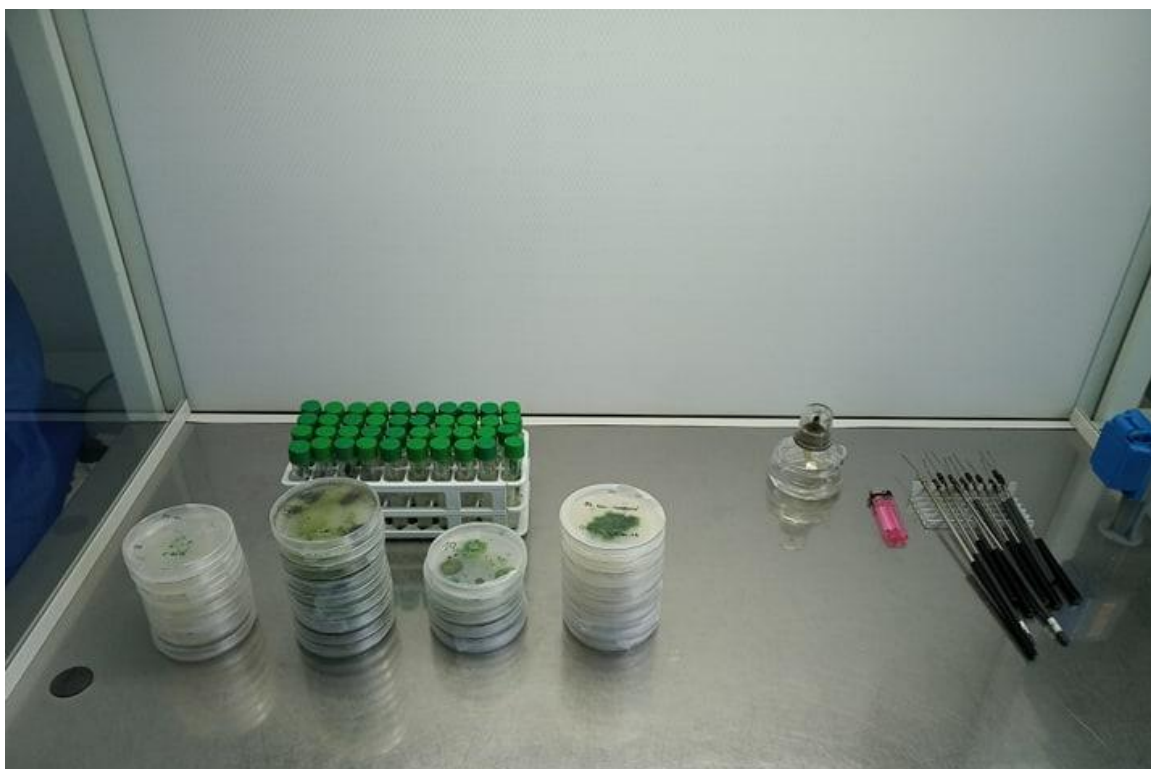


**Obrázek 7: Povlaky sinic na skále**

Příloha III.: Práce v laboratoři

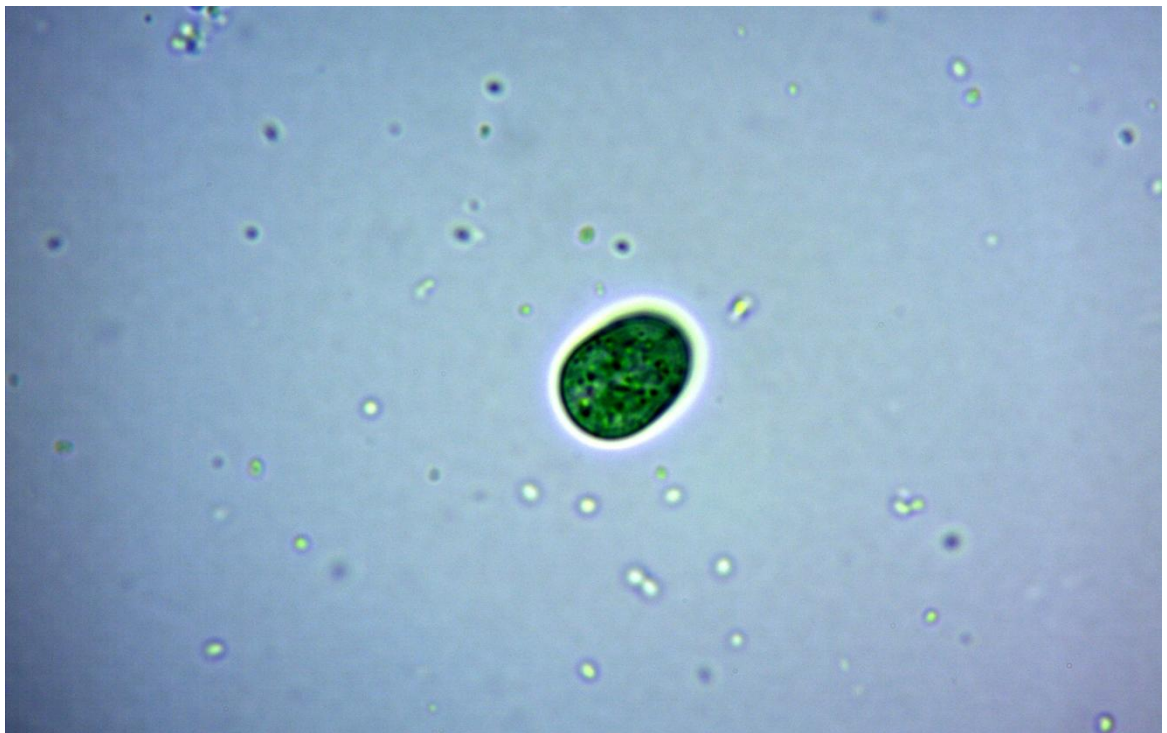


Obrázek 8: Vzorčky

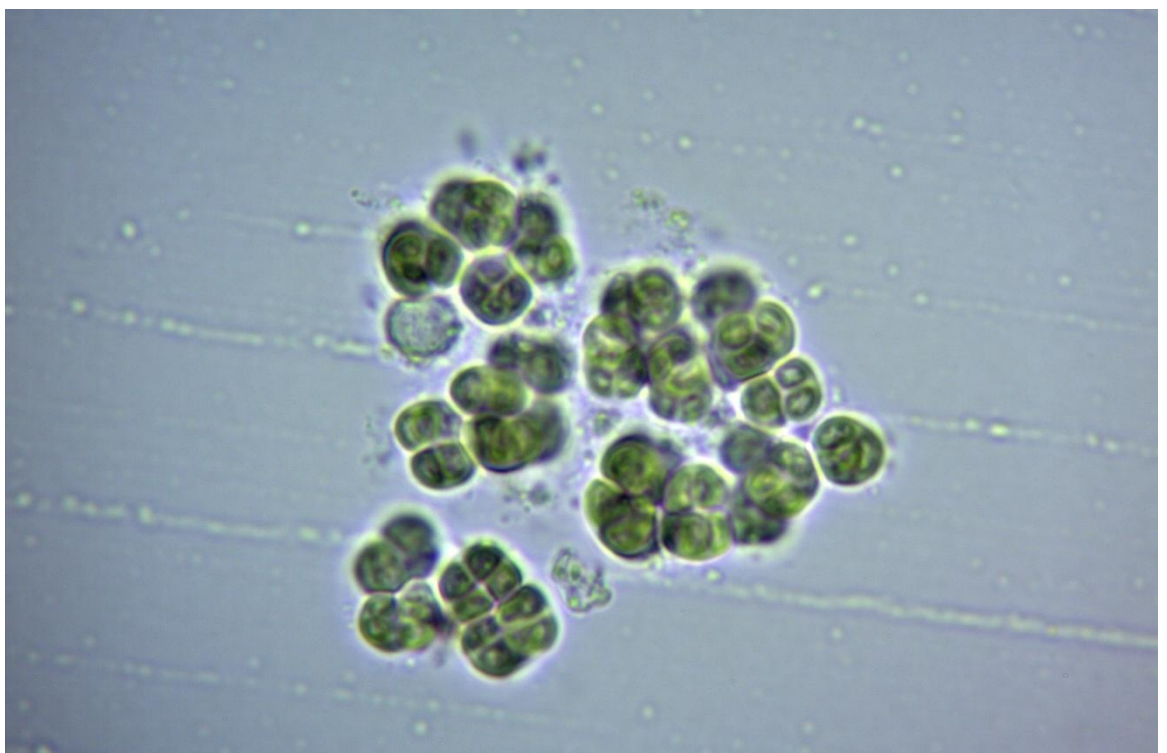


Obrázek 9: Flowbox

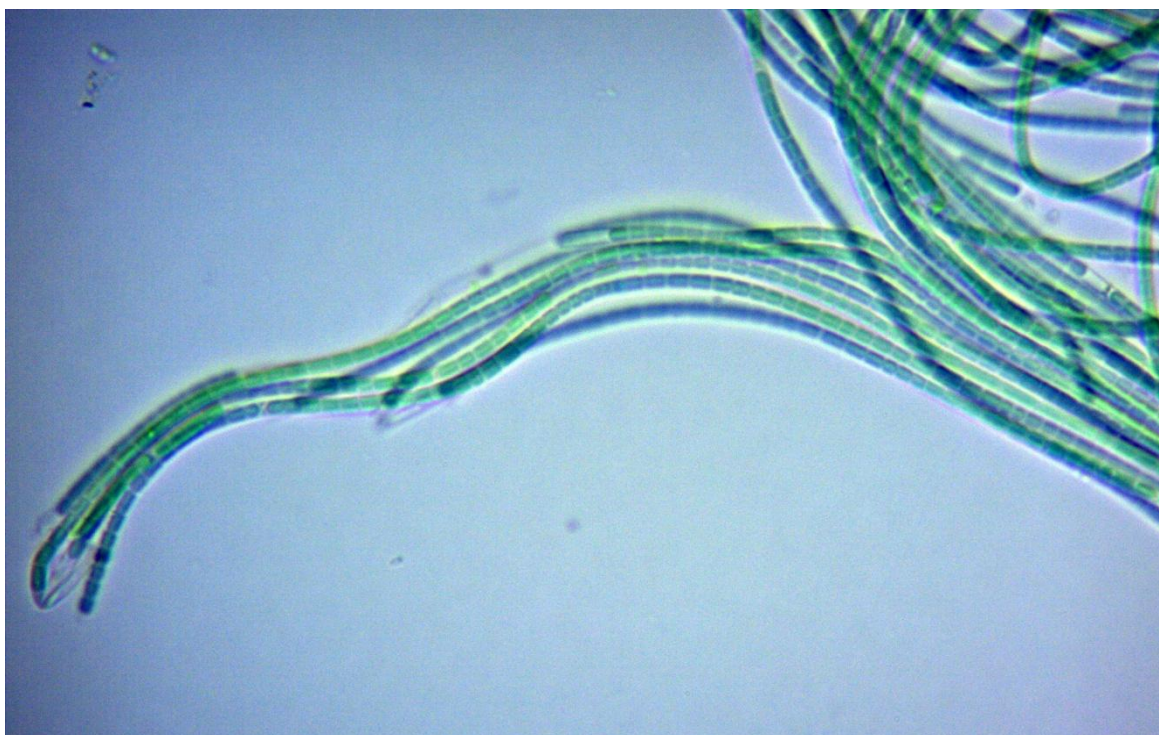
Příloha IV.: Zkoumané druhy



**Obrázek 10:** *Cyanothece aeruginosa* (Zvětšení: 100x)



**Obrázek 11:** *Chroococidiopsis cubana* (Zvětšení: 100x)



Obrázek 12: *Leptolyngbya cf. foveolarum* (Zvětšení: 100x)